REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Propuesta de diseño de pavimento industrial reforzado con fibras de acero en la ciudad de Arequipa

Tesis presentada por el Bachiller:

Pariente Quenta, Yeampier

ORCID: 0009-0001-5555-6116

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor (a):

Dr. Tejada Calderón, Juan Carlos

ORCID: 0000-0001-7300-7412

Arequipa - Perú

2024

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 18 de Diciembre del 2023

Dictamen: 002333-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 002333, presentado por:

2012800801 - **PARIENTE QUENTA YEAMPIER**

Titulado:

PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

29329377 - **NEIRA ARENAS JULY LILIAM**
DICTAMINADOR

41481170 - **GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO**
DICTAMINADOR

41587204 - **GARCIA GODOS PEÑALOZA LUZ MATILDE**
DICTAMINADOR

Propuesta de diseño de pavimento industrial reforzado con fibras de acero en la ciudad de Arequipa

ORIGINALITY REPORT

4%	5%	1%	1%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	idoc.pub Internet Source	1%
2	www.scribd.com Internet Source	1%
3	conconcreto.com Internet Source	1%
4	es.scribd.com Internet Source	1%

Exclude quotes	Off	Exclude matches	< 1%
Exclude bibliography	Off		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dedicatoria

Dedicado a las personas que confiaron en mi incondicionalmente durante todo el proceso de formación profesional y me alentaron a no decaer durante la elaboración de la presente investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Agradecimiento

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional a pesar de todas las adversidades que se presentaron en el camino y a todas esas personas que Dios puso en mi vida en el momento correcto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La presente investigación, realizada en la ciudad de Arequipa, aborda los aspectos necesarios que debe conocer cada una de las partes involucradas en la ejecución de un pavimento industrial, siendo tres los procesos principales involucrados en la ejecución de un pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero: diseño, materiales y construcción.

Como parte elemental del diseño, se elaboró el estudio de mecánica de suelos del área del proyecto, el cual documenta los resultados de la exploración de campo mediante exploración directa (calicatas) los cuales sirvieron para la identificación de las condiciones de soporte de la subrasante. Posteriormente, se realizó la caracterización física y mecánica del material de subbase propuesto.

El diseño de mezclas de concreto se realizó utilizando un enfoque por desempeño, que evalúe y garantice el nivel requerido de calidad del concreto con relación a la durabilidad esperada de la estructura, el cual comprende la evaluación física de los agregados como datos fundamentales para su dosificación en peso y volumen, evaluación de las propiedades de la mezcla de concreto en estado fresco y endurecido en condiciones normales de fraguado y resistencia requerida de diseño con distintas adiciones de fibras de acero Dramix 4D elaboradas por Bekaert. Con el objetivo de maximizar el desempeño de la mezcla, se realizó la evaluación integral de la granulometría, con el fin de facilitar la elección de los porcentajes de cada material que permita una distribución lo más continua y conveniente posible, utilizando las granulometrías individuales de los agregados disponibles para el proyecto mediante dos metodologías: Carta Shilstone y curva de la tarántula.

Con los estudios de ingeniería realizados, se evaluaron distintas metodologías de diseño para dimensionar el espesor de la losa de concreto reforzada con fibras de acero a través de métodos analíticos (Westergaard y Meyerhof & Losberg) y métodos empíricos (PCA, WRI y COE). Posteriormente, se realizó la verificación de la capacidad de corte por punzonamiento y la verificación de transferencia de carga en juntas.

Finalmente, se abordan las especificaciones técnicas que se deben cumplir en cada una de las etapas constructivas del pavimento, con el fin de que se logre un producto final que cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Palabras claves: Pavimento industrial, fibras de acero, concreto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The present investigation, carried out in the city of Arequipa, addresses the necessary aspects that each of the parties involved in the execution of an industrial pavement should know, with three main processes involved in the execution of an industrial fiber-reinforced concrete pavement. steel: design, materials and construction.

As an elementary part of the design, the soil mechanics study of the project area was prepared, which documents the results of the field exploration by means of direct exploration (troughs), which served to identify the support conditions of the subgrade. Subsequently, the physical and mechanical characterization of the proposed subbase material was carried out.

The design of concrete mixtures was carried out using a performance approach, which evaluates and guarantees the required level of quality of the concrete in relation to the expected durability of the structure, which includes the physical evaluation of the aggregates as fundamental data for its dosage. in weight and volume, evaluation of the properties of the concrete mixture in the fresh and hardened state under normal setting conditions and required design resistance with different additions of Dramix 4D steel fibers made by Bekaert. With the objective of maximizing the performance of the mixture, the integral evaluation of the granulometry was carried out, in order to facilitate the choice of the percentages of each material that allows a distribution as continuous and convenient as possible, using the individual granulometries of the aggregates available for the project through two methodologies: Shilstone chart and tarantula curve.

With the engineering studies carried out, different design methodologies were evaluated to dimension the thickness of the concrete slab reinforced with steel fibers through analytical methods (Westergaard and Meyerhof & Losberg) and empirical methods (PCA, WRI and COE). Subsequently, the verification of the cutting capacity by punching and the verification of load transfer in joints were carried out.

Finally, the technical specifications that must be met in each of the construction stages of the pavement are addressed, in order to achieve a final product that meets the required quality standards.

Key words: Industrial flooring, steel fibers, concrete

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

RESUMEN V

ABSTRACT VI

ÍNDICE VII

LISTA DE TABLAS XI

LISTA DE FIGURAS XVIII

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 2

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2.1 Problema General 3

1.2.2 Problema Específicos 3

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.3.1 Objetivo General 3

1.3.2 Objetivos Específicos 3

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 4

1.4.1 Justificación Teórica 4

1.4.2 Justificación Practica 4

1.4.3 Justificación Económica 4

1.4.4 Justificación Social 4

1.4.5 Justificación Investigativa 5

1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN 5

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 5

CAPITULO II 7

2. MARCO TEÓRICO 7

2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES 7

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES 7

2.2.1 Pavimento convencional sin refuerzo 7

2.2.2 Pavimento con refuerzo para disminuir el ancho de las fisuras 7

2.2.3 Pavimento con refuerzo para prevenir fisuras 7

2.2.4 Losas estructurales diseñadas de acuerdo con ACI 318 8

2.3. CONSIDERACIONES EN LA PRESCRIPCIÓN DEL PAVIMENTO 8

2.3.1 Sector Logístico 8

2.3.2 Logística del frio 9

2.3.3 Agroalimentación 9

2.3.4 Producción industrial 10

2.3.5 Industria químico – farmacéutica 11

2.3.6 Otros campos 11

2.4. CONCRETO COMO MATERIAL PARA PAVIMENTOS INDUSTRIALES 11

2.4.1 Definición del concreto 11

2.4.2 Materiales componentes del concreto 12

2.4.3 Propiedades del concreto 18

2.4.4 Concretos especiales para pavimentos industriales 23

2.4.5 Diseño de la mezcla de concreto 31

2.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES DE CONCRETO 41

2.5.1 Factores de seguridad parciales 41

2.5.2 Variables de dimensionamiento 42

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.3 Capacidad de momento 65
2.5.4 Métodos de dimensionamiento 67
2.5.5 Capacidad de punzonamiento 99
2.5.6 Juntas 101
2.5.7 Acabados superficiales 120
2.5.8 Regularidad Superficial 126

CAPITULO III 135

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES 135
3.1. HIPÓTESIS 135
3.1.1 Hipótesis General 135
3.1.2 Hipótesis Especificas 135
3.2. VARIABLES 135
3.2.1 Independiente 135
3.2.2 Dependiente 135
3.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA 136

CAPITULO IV 137

4. METODOLOGÍA 137
4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 137
4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 137
4.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 137
4.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 137
4.5. CAMPO DE VERIFICACIÓN 139
4.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 140
4.6.1 Población 140
4.6.2 Muestra 140
4.6.3 Muestreo 140
4.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 140
4.7.1 Técnicas de verificación 140
4.7.2 Instrumentos de verificación 140
4.7.3 Validez y Confiabilidad de los Instrumentos 144
4.7.4 Técnicas para el Procesamiento y Análisis de los Datos 144
4.7.5 Aspectos éticos 144
4.8. MATERIALES DE VERIFICACIÓN 144

CAPITULO V 146

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 146
5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 146
5.1.1 Condición climática y altitud 146
5.1.2 Topografía 146
5.1.3 Características del proyecto 146
5.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS 147
5.2.1 Exploración de campo 147
5.2.2 Distribución y ejecución de calicatas 148
5.2.3 Ejecución de los ensayos de laboratorio 149
5.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE SUBBASE 177
5.3.1 Ejecución de ensayos de laboratorio 178
5.4. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 194
5.4.1 Materiales componentes 194
5.4.2 Optimización del agregado 231
5.4.3 Resistencia de diseño a compresión 234
5.4.4 Diseño de mezcla 234
5.4.5 Especificaciones para el diseño de mezcla 237
5.4.6 Ensayos en estado fresco 238

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.7 Ensayos en estado endurecido 242
5.5. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO INDUSTRIAL 249
5.5.1 Estudio de cargas 249
5.5.2 Teoría de Westergaard 251
5.5.3 Método “Yield Line Theory” 256
5.5.4 PCA (Portland Cement Association) 270
5.5.5 WRI (Wire Reinforcement Association) 276
5.5.6 COE (Corp of Engineers) 280
5.6. DISEÑO DE JUNTAS 283
5.6.1 Juntas de aislación 283
5.6.2 Juntas de construcción 285
5.6.3 Juntas de dilatación 285
5.6.4 Juntas de contracción 286
5.6.5 Separación entre juntas 292
5.6.6 Sellado de juntas 296
5.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 297
5.7.1 Preparación de la subrasante y sub-base 297
5.7.2 Instalación de plástico 298
5.7.3 Instalación del encofrado 299
5.7.4 Ejecución de juntas 299
5.7.5 Suministro del concreto reforzado con fibras de acero 301
5.7.6 Método de suministro de concreto 302
5.7.7 Consolidación y extendido del material 302
5.7.8 Maquinarias de pulido 303
5.7.9 Curado 303
5.7.10 Ejecución de cortes 305
5.7.11 Sellado de juntas 305
5.7.12 Planicidad 307
5.8. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 307

CAPITULO VI 311

6. RESULTADOS 311
6.1. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS. 311
6.2. EVALUACIÓN DEL MATERIAL DE SUBBASE 314
6.3. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO 319
6.4. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO INDUSTRIAL 329
6.5. DISEÑO DE JUNTAS 335
6.6. SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS 338
6.7. SELLADO DE JUNTAS 338
6.8. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 339

CAPITULO VII 340

7. DISCUSIÓN 340

CONCLUSIONES 349

RECOMENDACIONES 353

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 356

ANEXOS 360

ANEXO A: PANEL FOTOGRAFICO 360

ANEXO B: CONSTANCIA DE ENSAYOS DE LABORATORIO 393

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO 394

ANEXO D: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS 409

ANEXO E: PLANOS 416

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: *Clasificación de cemento portland de acuerdo con ASTM C150* *13*
Tabla 2: *Clasificación de cemento con adiciones de acuerdo con ASTM C595* *13*
Tabla 3: *Clasificación de cemento portland de acuerdo con ASTM C150* *14*
Tabla 4: *Clasificación de los agregados por tamaño* *16*
Tabla 5: *Factores de seguridad parciales* *42*
Tabla 6: *Factores de seguridad parciales para materiales* *42*
Tabla 7: *Factores de seguridad parciales para cargas* *42*
Tabla 8: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta, con carga no uniforme y disposición variable* *88*
Tabla 9: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 50 pci* *89*
Tabla 10: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 100 pci* *90*
Tabla 11: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 200 pci* *91*
Tabla 12: *Categoría de índice de diseño utilizado con el método COE para la selección del espesor de la losa* *97*
Tabla 13: *Dimensiones y longitudes de pasadores para juntas de contracción* *106*
Tabla 14: *Dimensiones de barras de amarre para juntas constructivas* *110*
Tabla 15: *Separación entre juntas máximas recomendadas por la PCA para pavimentos industriales en función del espesor del pavimento y las características de la mezcla de concreto utilizada.* .. *115*
Tabla 16: *Valores recomendados de correlación del coeficiente de contracción del concreto con el valor de resistencia a la tracción indirecta.* *119*
Tabla 17: *Valores típicos de coeficientes de expansión térmica de acuerdo al tipo de agregado utilizado en la mezcla de concreto.* *119*
Tabla 18: *Clasificación de la regularidad superficial en función al valor de los números F* *130*
Tabla 19: *Valores de F_F y F_L mínimos de acuerdo al uso del pavimento industrial* *131*
Tabla 20: *Limites aceptables para las propiedades dZ, dX, d2Z, d2X para zonas de tránsito guiado.* *132*
Tabla 21: *Clasificación de pavimentos industriales con tráfico aleatorio según TR-34* *134*
Tabla 22: *Matriz de consistencia* *136*
Tabla 23: *Toma de datos para el diseño del pavimento industrial reforzado con fibras.* *141*
Tabla 24: *Profundidad recomendada de exploración por debajo del nivel de subrasante* *149*
Tabla 25: *Profundidad de exploración de calicatas* *149*
Tabla 26: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-1.* *151*
Tabla 27: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-2.* *152*
Tabla 28: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-3.* *153*
Tabla 29: *Resultados del ensayo de contenido de humedad de las muestras de subrasante.* *154*
Tabla 30: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-1* *156*
Tabla 31: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-1* ... *156*
Tabla 32: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-2* *157*
Tabla 33: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-2* ... *157*
Tabla 34: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-3* *158*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 35: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-3... 158*
Tabla 36: *Resultados del ensayo de gravedad especifica de los sólidos de las muestras de subrasante.... 160*
Tabla 37: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-1.... 162*
Tabla 38: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-2.... 163*
Tabla 39: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-3.... 164*
Tabla 40: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-1.... 167*
Tabla 41: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-2.... 169*
Tabla 42: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-3.... 171*
Tabla 43: *Resultados del ensayo de contenido de sales solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.... 174*
Tabla 44: *Resultados del ensayo de contenido de sulfatos solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.... 175*
Tabla 45: *Resultados del ensayo de contenido de cloruros solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.... 177*
Tabla 46: *Resultados del ensayo de contenido de humedad de las muestras de subbase 178*
Tabla 47: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida del material de subbase.... 180*
Tabla 48: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra M-1 obtenida del material de subbase.... 181*
Tabla 49: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra M-1 obtenida del material de subbase.... 182*
Tabla 50: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra M-2 obtenida del material de subbase.... 182*
Tabla 51: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra M-2 obtenida del material de subbase.... 182*
Tabla 52: *Resultados del ensayo de equivalente de arena promedio de las muestras de subbase. 183*
Tabla 53: *Muestra mínima a ensayar para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles de acuerdo a la gradación correspondiente.... 184*
Tabla 54: *Numero y masa de esferas a añadir de acuerdo con la gradación correspondiente para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.... 184*
Tabla 55: *Resultados del ensayo de abrasión promedio de las muestras de subbase.... 185*
Tabla 56: *Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas de la muestra de subbase. ... 186*
Tabla 57: *Resultados del contenido de sales solubles de la muestra de subbase.... 187*
Tabla 58: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la muestra de subbase.... 189*
Tabla 59: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra de subbase.... 192*
Tabla 60: *Características técnicas del Cemento Multipropósito Yura Tipo IP 194*
Tabla 61: *Requisitos para el agua de mezcla y curado 195*
Tabla 62: *Tamaño estándares de agregados procesados 197*
Tabla 63: *Limites granulométricos del agregado fino para su uso en la elaboración de concreto. 198*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 64: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra 1 de agregado grueso.* *199*
Tabla 65: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra 2 de agregado grueso.* *200*
Tabla 66: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra de agregado fino.* *201*
Tabla 67: *Masa de muestra mínima retenida en cada tamiz para el ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables* *202*
Tabla 68: *Tamaño del tamiz para eliminar residuos de terrones de arcilla y partículas friables* *203*
Tabla 69: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra 1 de agregado grueso.* *203*
Tabla 70: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra 2 de agregado grueso.* *204*
Tabla 71: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra de agregado fino.* *204*
Tabla 72: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz #200.* *205*
Tabla 73: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de la muestra 1 de agregado grueso.* *206*
Tabla 74: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de la muestra 2 de agregado grueso.* *206*
Tabla 75: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de agregado fino.* *206*
Tabla 76: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de carbón y lignito* *207*
Tabla 77: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras de la muestra 1 de agregado grueso* *208*
Tabla 78: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras de la muestra 2 de agregado grueso* *208*
Tabla 79: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras del agregado fino.* *209*
Tabla 80: *Muestra mínima a ensayar para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles de acuerdo con la gradación correspondiente.* *209*
Tabla 81: *Numero y masa de esferas a añadir de acuerdo con la gradación correspondiente para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles* *210*
Tabla 82: *Resultado del ensayo de abrasión promedio de la muestra 1 de agregado grueso.* *210*
Tabla 83: *Resultado del ensayo de abrasión promedio de la muestra 2 de agregado grueso.* *211*
Tabla 84: *Resultado del ensayo de equivalente de arena promedio del agregado fino.* *213*
Tabla 85: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra 1 de agregado grueso.* *215*
Tabla 86: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra 2 de agregado grueso.* *215*
Tabla 87: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra de agregado fino.* *215*
Tabla 88: *Requisitos para condiciones especiales de exposición del concreto* *216*
Tabla 89: *Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles de la muestra 1 de agregado grueso* *217*
Tabla 90: *Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles de la muestra 2 de agregado grueso* *218*
Tabla 91: *Resultado del ensayo de contenido de cloruros solubles de la muestra de agregado fino.* *218*
Tabla 92: *Capacidad del molde requerido de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.* *219*
Tabla 93: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra 1 de agregado grueso.* ... *220*
Tabla 94: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra 1 de agregado grueso.* *221*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 95: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra 2 de agregado grueso. ... 221*
Tabla 96: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra 2 de agregado grueso. 221*
Tabla 97: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra de agregado fino..... 222*
Tabla 98: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra de agregado fino.. 222*
Tabla 99: *Cantidad mínima requerida de muestra para el ensayo de contenido de humedad..... 223*
Tabla 100: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra 1 de agregado grueso. 223*
Tabla 101: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra 2 de agregado grueso. 224*
Tabla 102: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra de agregado fino. 224*
Tabla 103: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de gravedad especifica y absorción de agregados..... 225*
Tabla 104: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra 1 del agregado grueso..... 228*
Tabla 105: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra 2 del agregado grueso..... 229*
Tabla 106: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra de agregado fino. 229*
Tabla 107: *Porcentaje de participación de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 231*
Tabla 108: *Porcentaje retenido combinado de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 232*
Tabla 109: *Porcentaje pasante acumulado de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 233*
Tabla 110: *Porcentaje retenido combinado de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 233*
Tabla 111: *Constantes físicas de cada uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto. 234*
Tabla 112: *Aporte de volúmenes absolutos de los insumos utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 235*
Tabla 113: *Volumen absoluto de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 235*
Tabla 114: *Cantidad de insumos en peso seco por metro cubico utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 235*
Tabla 115: *Corrección por humedad de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 235*
Tabla 116: *Corrección por absorción de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 236*
Tabla 117: *Cantidad de insumos corregidos en peso húmedo por metro cubico utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto. 236*
Tabla 118: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg 236*
Tabla 119: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg..... 237*
Tabla 120: *Resultados del ensayo de slump de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico. 239*
Tabla 121: *Capacidad del molde requerido de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso..... 239*
Tabla 122: *Resultados del ensayo de peso unitario de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico..... 240*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 123: *Resultados del ensayo de contenido de aire de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.* *241*
Tabla 124: *Tamaño de la varilla a utilizar para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.* *242*
Tabla 125: *Numero de capas y de golpes por capa que se debe aplicar en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando una varilla para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.* *242*
Tabla 126: *Numero de inserciones para diferentes diámetros de cilindro en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando vibrado para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.* *243*
Tabla 127: *Tolerancias permisibles en tiempo para las pruebas de compresión de las muestras curadas en húmedo.* *244*
Tabla 128: *Factor de corrección para los resultados obtenidos de acuerdo a la relación de esbeltez del testigo cilíndrico ensayado.* *244*
Tabla 129: *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto sin adición de fibras obtenida a 3,7 y 28 días.* *245*
Tabla 130: *Numero de capas y de golpes por capa que se debe aplicar en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando una varilla.* *246*
Tabla 131: *Modulo de rotura de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.* *247*
Tabla 132: *Resistencia residual (Re,3) de las muestras de concreto para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.* *249*
Tabla 133: *Tipo de neumáticos de acuerdo con la hoja técnica montacarga Jungheinrich* *251*
Tabla 134: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga para un mismo espesor de losa.* *253*
Tabla 135: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga utilizando distintos espesores de losa.* *253*
Tabla 136: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga sin considerar coeficientes de ponderación dinámica y tráfico.* .. *255*
Tabla 137: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos amplificados por coeficientes de ponderación para el tráfico y vibración producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga.* *256*
Tabla 138: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.* *256*
Tabla 139: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga* *263*
Tabla 140: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.* *263*
Tabla 141: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga* *269*
Tabla 142: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.* *270*
Tabla 143: *Categoría de índice de diseño utilizado con el método COE para la selección del espesor de la losa* *282*
Tabla 144: *Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento* *290*
Tabla 145: *Espaciamiento de juntas recomendado por la PCA para una losa de concreto de espesor h = 15 cm, tamaño máximo de agregado grueso mayor a 19 mm y un asentamiento del concreto entre 10 y 15 cm.* *292*
Tabla 146: *Momento resistente de una malla electrosoldada Q-257 y una sección de concreto con 25 kg/m3 de fibra de acero Dramix 4D 65/60 BG.* *295*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 147: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto f'c = 280 kg/cm² para losas reforzadas con 25 kg/m³ de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG" con un rendimiento de la cuadrilla de 20.00 m³/día.* 308
Tabla 148: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto premezclado f'c = 280 kg/cm² para losas, reforzadas con 25 kg/m³ de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG" con un rendimiento de la cuadrilla de 65.00 m³/día.* 307
Tabla 149: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto simple para losas f'c = 280 kg/cm²" con un rendimiento de la cuadrilla de 20.00 m³/día.* 308
Tabla 150: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de contracción" con un rendimiento de la cuadrilla de 120.00 m/día.* 309
Tabla 151: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de contracción (incluyendo encofrado)" con un rendimiento de la cuadrilla de 100.00 m/día.* 309
Tabla 152: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de construcción (incluyendo encofrado)" con un rendimiento de la cuadrilla de 100.00 m/día.* 309
Tabla 153: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de dilatación" con un rendimiento de la cuadrilla de 80.00 m/día.* 310
Tabla 154: *Análisis de precios unitarios de la partida "Corte y sellado de juntas de contracción" con un rendimiento de la cuadrilla de 80.00 m/día.* 310
Tabla 155: *Valor de soporte promedio de CBR de la subrasante.* 311
Tabla 156: *Resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas de la exploración de campo para el material de subrasante.* 312
Tabla 157: *Requerimientos granulométricos para subbase granular.* 314
Tabla 158: *Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular* 314
Tabla 159: *Valor de soporte promedio de CBR de la subbase* 315
Tabla 160: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida del material de subbase.* 317
Tabla 161: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para el material de subbase.* ... 318
Tabla 162: *Especificaciones estándar para el agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.* 319
Tabla 163: *Especificaciones estándar para el agregado fino a ser utilizado en la elaboración de concreto.* 320
Tabla 164: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra 1 de agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.* 320
Tabla 165: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra 2 de agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.* 321
Tabla 166: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra de agregado fino a ser utilizado en la elaboración de concreto.* 321
Tabla 167: *Constantes físicas de cada uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto.* 322
Tabla 168: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg* 324
Tabla 169: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg* 324
Tabla 170: *Fracción de pasta y fracción de mortero de la mezcla de concreto.* 324
Tabla 171: *Resultados de la evaluación del concreto en estado fresco con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.* 325
Tabla 172: *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto sin adición de fibras obtenida a 3,7 y 28 días.* 325
Tabla 173: *Coeficiente de variación de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a 3,7 y 28 días de las probetas ensayadas sin adición de fibras.* 326

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 174: *Modulo de rotura promedio y coeficiente de variación de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.* *327*
Tabla 175: *Resistencia residual promedio (Re,3) de las muestras de concreto para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.* *328*
Tabla 176: *Diámetros de acero requeridos para los pasadores utilizados en las juntas de contracción.* *336*
Tabla 177: *Diámetros de acero requeridos para los pasadores utilizados en las juntas de contracción.* *336*
Tabla 178: *Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento para un diámetro de acero de 32 mm (1 ¼”).* *337*
Tabla 179: *Capacidad de carga del pasador para carga doble sobre la junta y carga producida por la combinación de esfuerzos de corte y flexión del pasador.* *337*
Tabla 180: *Espaciamiento de juntas en función al tipo de losa y la institución que recomienda el espaciamiento* *338*
Tabla 181: *Precios de las partidas con mayor incidencia en la construcción de pavimentos de concreto reforzados con fibras de acero.* *339*
Tabla 182: *Relación aproximada entre índice de plasticidad, porcentaje de hinchamiento y grado de expansibilidad.* *340*
Tabla 183: *Dimensionamiento del espesor de losa de concreto utilizando métodos empíricos de diseño de pavimentos industriales reforzados con fibras de acero mediante el uso de una correlación obtenida para el MR y f’c.* *347*
Tabla 184: *Costo del concreto requerido de acuerdo con distintos métodos de dimensionamiento del pavimento.* *347*
Tabla 185: *Costo de juntas para el concreto simple de acuerdo con las recomendaciones de la PCA.* *348*
Tabla 186: *Costo de juntas para el concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.* *348*
Tabla 187: *Costo total de la losa de concreto utilizando concreto simple y concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG de acuerdo a distintos métodos de dimensionamiento.* *348*
Tabla 188: *Modulo de rotura y resistencia residual promedio para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG a 28 días.* *351*
Tabla 189: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-20 para distintos desplazamientos* *394*
Tabla 190: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-20 para distintos desplazamientos* *395*
Tabla 191: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-20 para distintos desplazamientos* *396*
Tabla 192: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-25 para distintos desplazamientos* *397*
Tabla 193: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-25 para distintos desplazamientos* *398*
Tabla 194: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-25 para distintos desplazamientos* *399*
Tabla 195: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-30 para distintos desplazamientos* *400*
Tabla 196: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-30 para distintos desplazamientos* *401*
Tabla 197: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-30 para distintos desplazamientos* *402*
Tabla 198: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-35 para distintos desplazamientos* *403*
Tabla 199: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-35 para distintos desplazamientos* *404*
Tabla 200: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-35 para distintos desplazamientos* *405*
Tabla 201: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-40 para distintos desplazamientos* *406*
Tabla 202: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-40 para distintos desplazamientos* *407*
Tabla 203: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-40 para distintos desplazamientos* *408*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: *Efecto de la contracción por secado del concreto sobre el patrón de fisuración de un piso de concreto.* 21
Figura 2: *Efecto del gradiente térmico sobre el alabeo de losas de concreto.* 22
Figura 3: *Alabeo en losas de concreto por diferencial de humedad o de temperatura entre la cara superior e inferior.* 23
Figura 4: *Fibra doblada metálica* 27
Figura 5: *Ejemplo de fibras metálicas con diferentes formas y secciones.* 27
Figura 6: *Dosificación mínima basada en la longitud mínima total* 29
Figura 7: *Concreto de retracción compensada* 30
Figura 8: *Sección estructural de un pavimento de concreto con retracción compensada* 31
Figura 9: *Carta de Shilstone* 36
Figura 10: *Curva de la tarántula* 38
Figura 11: *Estructura de un terraplén* 44
Figura 12: *Relación entre el índice de soporte de california (CBR) y módulo de reacción K* 46
Figura 13: *Capacidad de soporte de distintos tipos de suelos* 47
Figura 14: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base granular.* 49
Figura 15: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base de suelo-cemento.* 50
Figura 16: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base de grava mejorada con cemento.* 51
Figura 17: *Estimación del módulo de reacción compuesto (k_c) con una sola capa (subbase)* 52
Figura 18: *Estimación del módulo de reacción compuesto (k_c) con dos capas (base + subbase)* . 53
Figura 19: *Ensayo de flexión* 54
Figura 20: *Módulo de elasticidad del concreto* 56
Figura 21: *Influencia de la relación de tensiones sobre la cantidad de repeticiones necesarias para producir falla por fatiga del concreto* 61
Figura 22: *Ubicación de cargas de acuerdo al radio de rigidez relativa* 62
Figura 23: *Influencia de la posición relativa de acuerdo al radio de rigidez relativa* 62
Figura 24: *Posición de rueda en el interior de la losa* 63
Figura 25: *Posición de rueda en el borde de la losa* 63
Figura 26: *Posición geométrica de la rueda en la esquina de la losa* 64
Figura 27: *Posición de rueda en la esquina de la losa* 64
Figura 28: *Medida de la resistencia al esfuerzo de tensión por flexión* 66
Figura 29: *Influencia del tipo y dosis de fibra sobre el comportamiento post-pico del concreto* .. 66
Figura 30: *Falla producida por una carga puntual en el método "Yield line Theory"* 72
Figura 31: *Carga en dos puntos* 74
Figura 32: *Carga en cuatro puntos* 75
Figura 33: *Carga distribuida* 77
Figura 34: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 50 pci* 80
Figura 35: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 100 pci* 81
Figura 36: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 200 pci* 82
Figura 37: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva* 83
Figura 38: *Abaco de diseño según la PCA para ejes con ruedas simples* 85
Figura 39: *Abaco de diseño según la PCA para ejes con ruedas dobles* 86
Figura 40: *Abaco para la obtención del radio de rigidez relativa D/k utilizada por el método WRI* 93
Figura 41: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI* 94

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 42: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI* *95*
Figura 43: *Abaco de diseño para carga distribuida utilizada por el método WRI* *96*
Figura 44: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.* *98*
Figura 45: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.* *99*
Figura 46: *Capacidad de punzonamiento para distintas ubicaciones* *99*
Figura 47: *Detalle de junta perimetral de aislamiento* *102*
Figura 48: *Refuerzo de pedestales en esquinas* *102*
Figura 49: *Detalle de junta de contracción con pasadores* *104*
Figura 50: *Dispositivos de traspaso de carga en juntas* *105*
Figura 51: *Esquema de junta machihembrada* *105*
Figura.52: *Detalle tipo de sistema de canastillas para el posicionamiento de pasadores convencionales en juntas de contracción de pavimentos rígidos* *106*
Figura 53: *Detalle de sistema de pasadores de sección cuadrada en juntas de contracción y control en pavimentos industriales* *107*
Figura 54: *Esquema de junta de construcción* *108*
Figura 55: *Detalle del sistema de transferencia de carga de un dowell con forma de diamante* *108*
Figura 56: *Esquema de colocación de refuerzo en forma de ángulo en juntas de construcción.* *109*
Figura 57: *Detalle de junta constructiva preformada Alphajoint* *109*
Figura 58: *Detalle de junta constructiva con barras de acero corrugada para unir paños* *110*
Figura 59: *Distribución de esfuerzos sobre pasadores para carga simple sobre junta y doble carga sobre la junta.* *111*
Figura 60: *Separación entre juntas máximas recomendadas por el ACI para pavimentos industriales en función del espesor del pavimento y el tipo de concreto* *115*
Figura 61: *Esquema de cajeado y sellado para una junta de construcción (izquierda) y junta de contracción (derecha).* *118*
Figura 62: *Esquema situacional del sello de junta sometido a la temperatura mínima y máxima del concreto en servicio.* *120*
Figura 63: *Disposición de líneas para evaluación superficial* *128*
Figura 64: *Medición del desnivel para obtención del parámetro q* *128*
Figura 65: *Medición del desnivel para obtención del parámetro z* *129*
Figura 66: *Propiedades FF y FL medidas en instalaciones con tráfico aleatorio* *133*
Figura 67: *Terreno del proyecto de aplicación* *139*
Figura 68: *Topografía del área de estudio* *146*
Figura 69: *Ubicación de calicatas* *148*
Figura 70: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-1* *151*
Figura 71: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-2* *152*
Figura 72: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-3* *153*
Figura 73: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-1* *156*
Figura 74: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-2* *157*
Figura 75: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-3* *158*
Figura 76: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-1* *162*
Figura 77: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-2* *163*
Figura 78: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-3* *164*
Figura 79: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-1.* *168*
Figura 80: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-1.* *168*
Figura 81: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-2* *170*
Figura 82: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-2* *170*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 83: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-3* *172*
Figura 84: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-3* *172*
Figura 85: *Curva granulométrica de la muestra obtenida del material de subbase.* *180*
Figura 86: *Relación humedad – densidad seca de la muestra de subbase* *189*
Figura 87: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra de subbase* *193*
Figura 88: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra de subbase.* *193*
Figura 89: *Curva granulométrica de la muestra 1 de agregado grueso.* *199*
Figura 90: *Curva granulométrica de la muestra 2 de agregado grueso.* *200*
Figura 91: *Curva granulométrica del agregado fino* *201*
Figura 92: *Sistema de almacenamiento convencional* *250*
Figura 93: *Estantería convencional "back to back"* *260*
Figura 94: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas puntuales con un coeficiente de balasto K de 100 pci.* *272*
Figura 95: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas puntuales con un coeficiente de balasto K de 200 pci.* *273*
Figura 96: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva correspondiente a la placa de apoyo de la estantería.* *273*
Figura 97: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas dinámicas utilizando ejes con ruedas simples.* *275*
Figura 98: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva correspondiente a la rueda del vehículo de diseño.* *276*
Figura 99: *Abaco para la obtención del radio de rigidez relativa D/k utilizada por el método WRI* *278*
Figura 100: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI* *279*
Figura 101: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI* *280*
Figura 102: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.* *283*
Figura 103: *Separación entre juntas máximas recomendadas por el ACI para una losa de concreto simple, con espesor h = 15 cm (6 pulg).* *293*
Figura 104: *Perfil estratigráfico de las muestras obtenidas de la exploración de campo para el material de subrasante.* *313*
Figura 105: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una subbase granular* *316*
Figura 106: *Curva granulométrica de la muestra obtenida del material de subbase dentro de los limites granulométricos definidos por la gradación "B".* *317*
Figura 107: Representación del factor de trabajabilidad y factor de grosor en la carta de Shilstone. 323
Figura 108: *Curva de la tarántula de la combinación de agregados en la proporción propuesta: 30% de la muestra 1 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1", 25% de la muestra 2 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1/2" y 45% de agregado fino.* *323*
Figura 109: *Verificación de esfuerzos para carga puntual y espesores mínimos de losa necesarios para cada una de las condiciones de ubicación de carga, utilizando la teoría de Westergaard.* . *329*
Figura 110: *Verificación de esfuerzos para carga dinámica y espesores mínimos de losa necesarios para cada una de las condiciones de ubicación de carga, utilizando la teoría de Westergaard.* . *330*
Figura 111: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el interior de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 150 mm. reforzado con fibras de acero.* *330*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 112: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el borde de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 190 mm. reforzado con fibras de acero.* *331*
Figura 113: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para carga en un solo punto aplicada en la esquina de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 2000 mm. reforzado con fibras de acero.* *331*
Figura 114: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el interior de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 150 mm. reforzado con fibras de acero* *332*
Figura 115: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el borde de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 190 mm. reforzado con fibras de acero.* *332*
Figura 116: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para carga en un solo punto aplicada en la esquina de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 2000 mm. reforzado con fibras de acero.* *333*
Figura 117: *Espesores de losa mínimos requeridos para diferentes tipos de carga actuante utilizando el método de la PCA.* *333*
Figura 118: *Espesor de losa mínimo requerido para carga dinámica actuante utilizando el método de la WRI.* *334*
Figura 119: *Espesor de losa mínimo requerido para carga dinámica actuante utilizando el método del COE.* *334*
Figura 120: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de carga de corte determinada para un espesor de losa interno h = 150 mm y un espesor de losa en el borde y esquina de h = 200 mm. utilizando apoyos para el rack de 23 cm x 23 cm.* *335*
Figura 121: *Espesores mínimos requeridos de la losa de concreto utilizando distintos métodos de dimensionamiento para distintas ubicaciones de la carga puntual.* *342*
Figura 122: *Espesores mínimos requeridos de la losa de concreto utilizando distintos métodos de dimensionamiento para distintas ubicaciones de la carga dinámica.* *342*
Figura 123: *Exploración de campo para realización del estudio geotécnico.* *360*
Figura 124: *Cuarteo, contenido de humedad y análisis granulométrico del material de subrasante.* *361*
Figura 125: *Análisis granulométrico del material de subrasante.* *362*
Figura 126: *Limites de consistencia del material de subrasante.* *363*
Figura 127: *Gravedad especifica de los sólidos del material de subrasante.* *364*
Figura 128: *Ensayo de Proctor y CBR del material de subrasante.* *365*
Figura 129: *Contenido de sales solubles del material de subrasante.* *366*
Figura 130: *Contenido de cloruros del material de subrasante.* *367*
Figura 131: *Análisis granulométrico del material de subbase.* *368*
Figura 132: *Limites de consistencia del material de subbase.* *369*
Figura 133: *Partículas chatas y alargadas del material de subbase.* *370*
Figura 134: *Abrasión al desgaste del material de subbase.* *371*
Figura 135: *Ensayo de Proctor y CBR del material de subbase* *372*
Figura 136: *Ensayo de equivalente de arena del material de subbase.* *373*
Figura 137: *Ensayo de sales solubles del material de subbase.* *374*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 138: *Análisis granulométrico de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *375*
Figura 139: *Ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *376*
Figura 140: *Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz #200 de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *377*
Figura 141: *Ensayo de carbón y lignito de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *378*
Figura 142: *Ensayo de resistencia mecánica de los agregados – abrasión (método de los ángeles) de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *379*
Figura 143: *Ensayo de equivalente de arena del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.* *380*
Figura 144: *Ensayo de impurezas orgánicas del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.* *381*
Figura 145: *Ensayo de contenido de sulfatos solubles y contenido de cloruros de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *381*
Figura 146: *Ensayo de peso unitario suelto y peso unitario compactado de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.* *382*
Figura 147: *Ensayo de gravedad especifica y absorción del agregado grueso utilizado para la elaboración del concreto.* *383*
Figura 148: *Ensayo de gravedad especifica y absorción del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.* *384*
Figura 149: *Elaboración del concreto y muestreo en probetas cilíndricas utilizando fibras metálicas dramix 4D 65/60 BG.* *385*
Figura 150: *Curado de probetas cilíndricas y probetas prismáticas de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.* *386*
Figura 151: *Curado y rotura de probetas prismáticas de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.* *387*
Figura 152: *Proceso constructivo – Corte y Relleno de la plataforma* *388*
Figura 153: *Proceso constructivo – Densidad de campo, sobreancho de losa, Juntas de borde en pedestales, Acero de parapetos, Juntas de contracción y Junta de dilatación.* *389*
Figura 154: *Proceso constructivo – Vaciado de concreto de losa y acabado superficial.* *390*
Figura 155: *Proceso constructivo – Acabado de losa, corte de juntas y curado de losa,* *391*
Figura 156: *Proceso constructivo – Curado de losa y sellado de juntas,* *392*
Figura 157: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-20* *394*
Figura 158: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-20* *395*
Figura 159: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-20* *396*
Figura 160: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-25* *397*
Figura 161: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-25* *398*
Figura 162: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-25* *399*
Figura 163: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-30* *400*
Figura 164: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-30* *401*
Figura 165: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-30* *402*
Figura 166: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-35* *403*
Figura 167: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-35* *404*
Figura 168: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-35* *405*
Figura 169: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-40* *406*
Figura 170: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-40* *407*
Figura 171: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-40* *408*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos industriales guardan similitudes, pero también marcadas diferencias con otros tipos de pavimentos de concreto (estacionamientos de concreto, calles y carreteras) ya que se construyen para soportar además de vehículos de carga pesada, cargas estáticas como estanterías, muros, pallets, etc. El diseño de un pavimento industrial de concreto debe estar siempre enfocado a que, una vez construido, cuente con unas características finales que le permitan satisfacer las necesidades para las cuales fue proyectado y ejecutado. El éxito de un pavimento industrial está asociado fuertemente al: diseño, materiales y construcción.

Los pavimentos industriales que se apoyan directamente sobre el terreno transmiten los esfuerzos a los que son sometidos al suelo, por lo que, el nivel de información geotécnica disponible debe ser de tal magnitud que propicie al proyectista un nivel de seguridad necesario para que el proyecto mantenga una relación optima entre costo y durabilidad.

El concreto es un material con buenas propiedades características en estado fresco y endurecido que lo hacen atractivo para la construcción de pavimentos industriales entre otros muchos usos. Sin embargo, es un material que presenta variaciones volumétricas, principalmente debido a la retracción hidráulica que experimenta en las primeras semanas de vida y, posteriormente, por las variaciones térmicas que sufre durante su vida útil, causando patologías como agrietamiento y fisuración de la losa, reduciendo la vida útil del pavimento de concreto.

Se busca reforzar el concreto para reducir el agrietamiento y mejorar su tenacidad, ya que es resistente a los esfuerzos de compresión, pero débil frente a los esfuerzos de corte y tracción. El acero es resistente a la tracción y se utiliza como refuerzo para compensar la débil resistencia a la tracción del concreto y prever la fisuración. Sin embargo, hay muchos problemas asociados con el refuerzo de acero mediante barras de acero o mallas electrosoldadas en el concreto, tales como: almacenamiento, transporte y colocación, además, la fijación del acero de refuerzo requiere de mucho tiempo de trabajo, lo cual conlleva a mayores costos en mano de obra.

La finalidad de las fibras de acero es controlar la apertura de fisuras en el concreto y, por tanto, intentar transformar un material frágil en algo más dúctil. El auge de este tipo de refuerzo para el concreto se ha difundido fuertemente en los últimos años por su aporte en la capacidad de carga a través de una mejora en un incremento del momento ultimo y/o de la durabilidad del pavimento a través del mayor desempeño a fatiga.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El mundo de la logística está cambiando con el desarrollo del comercio electrónico. La situación actual de la pandemia global (COVID-19) ha acentuado aún más el desarrollo y necesidad de este tipo de distribución, convirtiéndose en una necesidad fundamental. La rapidez del servicio a domicilio y compras a través de plataformas comerciales, no solo dependen de la automatización de los procesos, del software que lo administra, o de la rapidez de los medios de transporte, también dependen del tipo de construcción de las nuevas edificaciones que soportan todo este nuevo almacenaje, así como de los pavimentos donde se desarrollan las actividades y las operaciones, exigiendo condiciones de durabilidad y servicio.

En la actualidad, en Perú no existe una metodología de diseño normada asociada a los pavimentos industriales y existe un desconocimiento de métodos, el cual lleva a que en varios proyectos los diseños se realicen con métodos que consideran un tráfico vehicular canalizado, como el método PCA o AASHTO 93, lo que ha llevado en algunos casos a fallas prematuras y en otros casos a sobrecostos por sobredimensionamiento del espesor de la losa.

El pavimento de concreto de las instalaciones logísticas es la única parte que se desgasta y se deteriora. Se busca que la losa de concreto apoyada directamente sobre el terreno sea lo suficientemente resistente y su superficie sea lo suficientemente durable para poder mantener el mismo servicio sin ocasionar problemas que afecten a la actividad de la industria, por lo que se requiere un buen dimensionamiento del espesor de la losa, buen proporcionamiento de la mezcla de concreto, una buena práctica constructiva y un buen mantenimiento del pavimento. No tener en cuenta los factores que determinan el diseño del pavimento industrial, no solo afecta la calidad del proceso, sino que afecta considerablemente sobre los costos de operación y mantenimiento, así como, la disponibilidad real de la superficie de almacenamiento prevista.

Utilizar fibras de acero en el diseño de pavimentos de concreto reforzado es una práctica común en la industria de la construcción actual, ya que ayuda a mejorar la resistencia y durabilidad del pavimento industrial. La ciudad de Arequipa es un importante centro industrial en Perú, lo que hace que la demanda de pisos de concreto reforzado sea alta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Qué aspectos se debe tomar en cuenta para diseñar pavimentos de concreto reforzado con fibras de acero para pisos industriales del sector logístico en la ciudad de Arequipa?

1.2.2 Problema Específicos

a) ¿Qué implica diseñar las juntas de un pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero y cómo determinar el espaciamiento?
b) ¿Qué requerimientos debe cumplir el diseño de mezclas de concreto para su uso en pavimentos rígidos?
c) ¿Cuál es la resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG para dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente?
d) ¿Cuál es el impacto económico del uso de fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero para pisos industriales del sector logístico en la ciudad de Arequipa.

1.3.2 Objetivos Específicos

a) Diseñar las juntas del pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero y determinar su espaciamiento.
b) Realizar el diseño de mezclas de concreto optimizando el ensamblaje de agregados y cumpliendo con las especificaciones técnicas para su uso en pavimentos rígidos.
c) Determinar la resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG para dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente.
d) Determinar el impacto económico en el caso de estudio, comparando el costo total de un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG y un pavimento con concreto simple sin refuerzo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Justificación Teórica

El presente proyecto de investigación estudia el diseño de pavimentos de concreto reforzados con fibras de acero en pisos industriales analizando los métodos de diseño propuestos en los documentos técnicos: ACI 360R-10 y TR-34, los cuales son considerados como las guías de referencia para el diseño de pavimentos industriales en todo el mundo, evaluando la validez y eficacia de estos métodos en el contexto de la industria de la construcción, teniendo en cuenta factores como las condiciones de uso, la calidad del suelo, las condiciones climáticas del lugar y el diseño de mezclas del concreto, contribuyendo a la mejora continua y evolución en esta área de constante cambio.

1.4.2 Justificación Practica

En la actualidad, los pisos industriales en Arequipa están sometidos a un alto nivel de carga, debido al traslado de materiales y equipos pesados en las empresas. Esta carga constante sobre el pavimento puede causar la aparición de grietas, fisuras y otros daños que afectan la calidad y la seguridad del piso. La presente investigación puede ser utilizada como material de consulta para profesionales que estén involucrados en el diseño y construcción de pavimentos de concreto para pisos industriales, ya que se basa en la necesidad de contar con pavimentos de concretos resistentes y duraderos para pisos industriales utilizando fibras de acero como refuerzo del concreto, con lo cual se pretende conseguir un impacto significativo en la resistencia y durabilidad del mismo lo que se traduce como una mejora en la calidad y seguridad del piso, así como en la rentabilidad de las empresas.

1.4.3 Justificación Económica

El presente proyecto de investigación justifica su importancia económica al demostrar que utilizar fibras metálicas puede reducir los costos de construcción y mantenimiento a largo plazo en comparación con otros métodos de reforzamiento, generando un impacto positivo en la economía de las empresas. al contar con un pavimento más resistente y duradero, aumentando su rentabilidad.

1.4.4 Justificación Social

El presente proyecto de investigación pretende generar un impacto social positivo, ya que, al contar con pisos más resistentes y durables, se reduce la frecuencia de reparaciones y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mantenimiento, lo que a su vez disminuye el tiempo de parada de las operaciones en las empresas del sector industrial y permite una mayor eficiencia en la producción. También se minimizan los riesgos de accidentes laborales debido a la aparición de grietas o roturas inesperadas en el piso industrial, lo que aumenta la seguridad y reduce la cantidad de accidentes laborales.

1.4.5 Justificación Investigativa

La importancia en la realización de este proyecto de investigación tiene en cuenta que los pavimentos industriales son una parte fundamental de la infraestructura de cualquier industria y su diseño es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia en el transporte y almacenamiento de materiales y productos. La utilización de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG en el presente proyecto de investigación, se debe a las características geométricas de la fibra y su desempeño en la mezcla de concreto, siendo ideal para pavimentos con gran capacidad funcional. Los resultados darán pie a que se continúen los estudios en este campo y se puedan estudiar otras variables de investigación.

1.5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación viable en la medida que se cuenta con disponibilidad de materiales que serán utilizados en el diseño del pavimento industrial como agregados de la cantera Socabaya y fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG. Además, se pudo lograr los permisos y autorizaciones respectivas para la realización del estudio de mecánica de suelos en el área del proyecto, así como la autorización y apoyo técnico de uno de los laboratorios más representativos de la ciudad de Arequipa como es RCF S.R.L, el cual cuenta con los equipos necesarios para los ensayos de laboratorio con el fin de evaluar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero, así como el material de subbase y subrasante del proyecto.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la necesidad de contar con un laboratorio de materiales para la elaboración de la investigación y debido a la coyuntura durante la pandemia ocasionada por el virus COVID-19, se presentan limitaciones de la investigación relacionadas al tiempo de uso de las instalaciones y equipos, así como el de no interrupción con las labores normales del personal del laboratorio, debido a la concurrencia de clientes externos y otros tesistas, siendo la de mayor impacto el curado de testigos de concreto cilíndricos y prismáticos debido al poco

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

espacio de la poza de curado y la alta demanda de uso del mismo. Por otro lado, la obtención de la fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG para ser utilizada en la presente investigación, es vendida en Perú por un solo proveedor, el cual atiende solamente solicitudes de compras a empresas del rubro construcción y no a personas naturales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES

Se define a los pavimentos industriales como superficies apoyadas sobre el terreno capaces de soportar cargas y/o desgastes de gran magnitud.

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES

Existen cuatro opciones básicas de diseño para la construcción de losas apoyadas directamente sobre el suelo, que se describen a continuación:

2.2.1 Pavimento convencional sin refuerzo

Los pavimentos de concreto simple, ya sea con o sin sistemas de transferencia de carga, se diseñan con los siguientes propósitos:

- Dimensionar un espesor de losa apropiado con el fin de prevenir el agrietamiento por fatiga.
- Establecer el espaciado adecuado entre juntas para reducir al mínimo el agrietamiento transversal causado por tensiones de alabeo y contracción.

2.2.2 Pavimento con refuerzo para disminuir el ancho de las fisuras

La premisa fundamental del diseño de este tipo de losas se centra en el control del ancho de las fisuras originadas por el fenómeno de retracción del concreto. Para lograr este control, se utilizan los siguientes refuerzos:

a) Armadura continua, ya sea mediante varillas de acero o mallas de acero electrosoldadas.
b) Fibras metálicas o fibras sintéticas.

2.2.3 Pavimento con refuerzo para prevenir fisuras

La idea principal del diseño de este tipo de losas se basa en controlar la retracción y los efectos térmicos, permitiendo grandes distancias entre las juntas. Estas losas consisten en:

a) Losas con concreto de retracción compensada.
b) Losas Postensadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.4 Losas estructurales diseñadas de acuerdo con ACI 318

El mecanismo previsto para activar el refuerzo en estas losas es la fisuración. Este diseño se realiza mediante procedimientos tradicionales de concreto armado, en el que, para resistir los esfuerzos a flexión, la losa debe reforzarse de forma convencional mediante una red simple o doble de barras de acero o mallas electrosoldadas.

Sin embargo, esta metodología puede producir anchos de grietas inadecuados. Estas losas pueden ser de:

a) Concreto simple
b) Concreto armado

2.3. CONSIDERACIONES EN LA PRESCRIPCIÓN DEL PAVIMENTO

Se debe establecer de forma muy clara las necesidades a cubrir, a fin de poder diseñar el pavimento industrial de forma idónea. Por lo que, las características a determinar en función de las necesidades que traslade el cliente al diseñador, de acuerdo con el sector industrial, son las siguientes:

2.3.1 Sector Logístico

Este es uno de los sectores más importantes y que, hoy en día, acapara el mayor porcentaje de construcciones industriales en el mundo. La velocidad de operación, así como la optimización de espacios, son claves en la nueva forma de entender la logística.

A continuación, se mencionan los elementos condicionantes más importantes para el diseño de pavimentos del sector logístico.

- Estudio de cargas: El análisis se enfoca principalmente en la altura de los estantes y la magnitud de la carga que pueden almacenar.
- Ubicación y tipo de juntas: Ubicar las juntas de forma correcta en función de la linealidad del tráfico, así como elegir el tipo y el diseño de la junta, es un punto clave para la operatividad de la instalación.
- Resistencia superficial: La presencia de muchos montacargas, transpaletas, carretillas y el tránsito de grandes cargas obliga a diseñar revestimientos de gran dureza y durabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Planimetría: La regularidad de la superficie de un pavimento está determinada por la altura de paletización, tipo de montacarga o carretillas elevadoras y la comodidad de manejo para los conductores.
- Mantenimiento: Es fundamental en la operatividad del almacén. Se necesita estudiar las acciones más comprometidas como limpieza, sellos y reparaciones. (Escámez Sánchez, 2020)

2.3.2 Logística del frio

Subsector perteneciente al sector logístico, los condicionantes de diseño son aplicables a los del sector logístico y además se deben atender estos otros:

- Tipo de productos almacenados: Los ácidos presentes en la fruta y la leche, por ejemplo, son muy agresivos con la superficie del concreto. Hay que conocer en que zonas pueden ser derramados para diseñar revestimientos adecuados (resinas) en cada parte del proceso (producción, envasado, almacenamiento)
- Presencia de aislamientos: En logística de congelación, la presencia de aislamientos determina la capacidad portante de la base del pavimento. Hay que conocer muy bien las características mecánicas del aislamiento y elegir el adecuado para cada magnitud de carga.
- Valoración del régimen de temperaturas: No todos los almacenes son de congelación. Hay almacenes de alimentos frescos, cámaras de yogures, frutas. Identificar cada uno de estos regímenes de temperatura implica una solución distinta de pavimento (sobre todo si existen o no aislamientos) o presencia de agua.

2.3.3 Agroalimentación

Este sector es uno de los más complejos para el diseño de pavimentos. Existe gran variedad de productos y de actividades diversas (almacenamiento, lavado, procesado, envasado y distribución) que requieren un conocimiento más profundo de los tipos de acabado apropiados para cada una de ellas. La capacidad portante del pavimento pierde relevancia ante la importancia de la resistencia superficial, la capacidad de resistir los ataques químicos y las altas temperaturas condiciona la elección de los revestimientos de los pavimentos de este sector.

Los condicionantes de diseño de los pavimentos en el sector agroalimentario son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Tipo de producto y necesidades higiénicas: Se debe conocer el tipo de producto utilizado (frutas, leche, carnes, pescados) así como los procesos de limpieza establecidos en el mantenimiento de la instalación.
- Condicionantes higiénico-sanitarios (normativas): En muchas actividades agroalimentarias se prohíbe la presencia de juntas o el uso de revestimientos porosos. Incluso hay que tratar los encuentros de los revestimientos con las paredes una forma especial realizando encuentros de mediacaña. En el caso de condicionantes por el COVID-19, lo que más se condiciona es la facilidad de limpieza y desinfección de la superficie del pavimento.
- Eliminación de aguas: La gran mayoría de las instalaciones agroalimentarias necesitan evacuar aguas (ya provengan de lavado o líquidos vertidos). Eso condiciona la implantación de un sistema de recogida de aguas (sumideros, rejillas) y con las correspondientes pendientes de evacuación.

2.3.4 Producción industrial

En este sector se agrupan a las actividades dedicadas a la producción mecanizada de elementos, maquinas, vehículos. Todas ellas tienen en común la ubicación de grandes líneas de producción donde se instalan grandes maquinas estáticas y líneas móviles de circulación de productos. Las necesidades de los pavimentos de estas industrias son comunes y se puede clasificar sus condicionantes más generales:

- Estudio de cargas: El diseño estructural es el mayor de sus condicionantes, debido a la magnitud de cargas que pueden llegar a ser muy pesadas.
- Presencia de vibraciones: Muchas actividades industriales necesitan maquinas que producen vibraciones y golpeteos, en algunos casos cíclicos, que pueden afectar a otras máquinas y/o instalaciones dentro del edificio.
- Temperaturas altas: Al igual que en el caso del sector agroalimentario, el régimen de temperatura de la instalación puede ser un dato crucial en el diseño de los pavimentos, como por ejemplo la presencia de autoclaves o el proceso de trabajo metalúrgico. Esto determina el tipo de revestimiento a colocar y, en ocasiones, hasta el tipo de concreto a utilizar.
- Conductividad eléctrica: Algunos procesos industriales no permiten la presencia de electricidad estática en los pavimentos de la instalación. Para eliminar esta electricidad estática que produce peligrosas chispas existen revestimientos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

conductivos y disipativos que derivan la electricidad fuera de la instalación. El grado de disipación de la electricidad estática (rango de resistividad) esta normalizado en función de las necesidades de cada actividad.

2.3.5 Industria químico – farmacéutica

En este sector confluyen algunos condicionantes similares a los anteriores:

- Normas higiénico – sanitarias (ausencia de juntas, presencia de medias cañas sanitarias)
- Resistencia química del suelo (tipos de producto a utilizar)
- Limpieza y evacuación de aguas.
- Conductividad eléctrica (eliminación de chispas y electricidad estática)

2.3.6 Otros campos

Existen otros campos donde la elección del pavimento y su prescripción son de gran importancia y no se pueden considerar como campos industriales. Estos sectores se encuadran en el campo residencial y pueden ser: Centros comerciales (retail), salas de exposición, museos, bodegas y residencial o decorativos.

Los condicionantes más importantes que se tienen en cuenta son:

- Condicionantes estéticos: Colores, texturas
- Brillos y/o reflexión de luz: Encaminado al ahorro energético en la iluminación de la instalación.
- Limitantes de mantenimiento: horarios, presencia de público, reposición de mercancías.

2.4. CONCRETO COMO MATERIAL PARA PAVIMENTOS INDUSTRIALES

2.4.1 Definición del concreto

El concreto es un material que se obtiene combinando pasta cementicia (cemento, agua, aire y, en ocasiones, aditivos) y agregados, el cual se mantiene en estado cuasi-liquido durante un corto periodo de tiempo y, a través de reacciones físico-químicas favorecidas por la presencia de humedad endurece progresivamente con buenas propiedades resistentes y durables que lo hacen atractivo para la construcción de pavimentos industriales entre otros muchos usos. (Becker & Chaix, 2019)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.2 Materiales componentes del concreto

El concreto es un material heterogéneo formado por pasta cementicia, el cual supone entre el 25 y el 30% del volumen total, y el resto está formado por agregados, que ocupan un mayor volumen, dependiendo de su forma y distribución granulométrica. A continuación, se expone cada uno de ellos:

2.4.2.1. Cemento y adiciones minerales

El cemento es una sustancia con propiedades cohesivas y adhesivas que se utiliza para unir los agregados y crear un material compacto con su propia resistencia y durabilidad. Es un ingrediente químicamente activo que controlada todas las propiedades de la mezcla. Puede tener reacciones desfavorables con otros ingredientes, poniendo en peligro la durabilidad del concreto (Matallana Rodriguez, 2019). Los cementos más importantes desde el punto de vista de la tecnología del concreto son los cementos hidráulicos, ya que la reacción química entre los dos materiales hace que sus propiedades se desarrollen en presencia de agua.

De acuerdo con la norma NTP 334.001 (2011) se define como cemento hidráulico al "Cemento que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire" (p. 7). Por otro lado, se define al Clinker Portland como producto de la calcinación de materias primas previamente molidas y pulverizadas, el cual es molido junto con el yeso para convertirlo en cemento portland. En esta fase, se puede incorporar alguna adición, como puzolana (natural o artificial) para fabricar el cemento hidráulico.

La industria del cemento también hace uso de ciertas adiciones minerales que son subproductos de otras industrias, como las cenizas volantes (fly ash), la escoria de alto horno (acero) y las micro silice, que debido a sus propiedades puzolánicas y/o hidráulicas, mejoran las características del concreto endurecido cuando se añaden al cemento hidráulico.

Las normas ASTM clasifican al cemento de la siguiente manera:

- ASTM C150: Define cinco tipos de cemento básicos (sin adiciones salvo la eventual incorporación de un minoritario) y los clasifica por desempeño, de acuerdo con la tabla 1.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 1: *Clasificación de cemento portland de acuerdo con ASTM C150*

Tipo de cemento	Descripción
I	Cemento para uso general, cuando no se requieren propiedades especiales
II	Para uso general, especialmente cuando se necesita moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
III	Para usar cuando se requiera alta resistencia inicial
IV	Para usar cuando se requiera un bajo calor de hidratación
V	Para usar cuando se requiera alta resistencia a los sulfatos

Nota. Para los tipos I, II y III existen cementos con aire incorporado denominados IA, IIA y IIIA respectivamente. Reproducido de la norma ASTM C150. *"Especificación Estándar para Cemento Portland"* por *ASTM International, 2000*

- ASTM C595: Regula los cementos con adiciones minerales activas y los clasifica por composición.

Tabla 2: *Clasificación de cemento con adiciones de acuerdo con ASTM C595*

Tipo de cemento	Descripción	Composición (% en masa)	
		Escoria S	Puzolana P
I (SM)	Cemento portland modificado con escoria	< 25	-
IS	Cemento portland con escoria	25 ≤ S ≤ 70	-
S	Cemento de escoria, para usar en combinación con cemento portland para producir concreto o con cal hidratada para elaborar morteros	> 70	-
I (PM)	Cemento portland modificado con puzolana	-	< 15
IP	Cemento portland puzolánico	-	15 ≤ P < 40
P	Cemento portland puzolánico, para usar cuando no se requiera de alta resistencia inicial	-	15 ≤ P < 40

Reproducido de la norma *ASTM C595. "Especificación Estándar para Cementos Adicionados"* por *ASTM International, 2000*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ASTM C1157: Clasifica los cementos por uso y requisitos prestacionales sin preocuparse demasiado por la composición, dejándole al fabricante libertad en el diseño del producto, de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3: *Clasificación de cemento portland de acuerdo con ASTM C150*

Tipo de cemento	Descripción
GU	Cemento de uso general en la construcción. Recomendado para usar cuando no se requieran propiedades especiales.
HE	Cemento de alta resistencia inicial.
MS	Cemento de moderada resistencia a los sulfatos
HS	Cemento de alta resistencia a los sulfatos
MH	Cemento de moderado calor de hidratación
LH	Cemento de bajo calor de hidratación

Nota. Cuando el producto cumple adicionalmente los requerimientos de baja reactividad con agregados álcali-reactivos se adicionará la letra R. Reproducido de la norma *ASTM C1157. "Especificación Estándar de desempeño para Cemento Hidráulico"* por *ASTM International, 2000*

2.4.2.2. Agua

El agua de mezclado es utilizada como parte de la pasta cementicia y, consecuentemente, favorece las reacciones de hidratación, por lo que es necesario limitar la presencia de materia orgánica, que pueda afectar los tiempos de secado y endurecimiento. Muchos reglamentos recomiendan utilizar agua potable o de alta calidad, como agua de mezclado, para evitar excesos de sulfatos, cloruros u otras impurezas que puedan atacar la pasta cementicia, inducir corrosión de armaduras y/o causar eflorescencias, entre otros efectos indeseables. (Becker & Chaix, 2019)

2.4.2.3. Agregados

De acuerdo con la norma técnica peruana NTP 400.037 (2014) las describe como: "Partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas correspondientes". (p. 6). Siendo estos materiales utilizados para ocupar el mayor espacio posible de volumen del concreto con el fin de minimizar el volumen de pasta cementicia y, de esta manera, mejorar la estabilidad dimensional y la economía de la mezcla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El canto rodado y las arenas naturales presentan formas redondeadas que, con distribuciones granulométricas similares, posibilitan utilizar una menor cantidad de pasta de cemento para obtener similar trabajabilidad, sin embargo, en pavimentos industriales se prefiere el uso de agregados triturados debido a la mayor adherencia que se forma entre la pasta y agregados, repercutiendo positivamente sobre la resistencia a la compresión, flexión y desgaste. (Becker & Chaix, 2019)

Los dos métodos de clasificación de agregados para concreto más utilizados son: Su origen o procedencia y la granulometría. En algunos casos concretos se clasifican en función de su peso por unidad de volumen. (Matallana Rodriguez, 2019)

- Clasificación según su origen o procedencia:
    - Agregados naturales

Los agregados naturales consisten en partículas de piedras, gravas, arenas, limos y arcillas que se forman por la acción del clima, la erosión y el movimiento del agua sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. Pueden extraerse directamente de depósitos aluviales, riberas o lechos fluviales y utilizarse en su gradación natural después de limpiarlos a fondo para eliminar cualquier contaminante. Pero como los agregados naturales no siempre tienen el tamaño y la distribución granulométrica adecuada, las rocas más grandes deben triturarse y clasificarse para crear el material "triturado", que luego debe limpiarse para eliminar cualquier contaminante.

    - Agregados artificiales

Los agregados artificiales se producen mediante procesos industriales para usarlos en la fabricación de concretos ligeros, donde se pueden emplear agregados de ladrillo molido, arcilla expandida y escorias de alto horno granuladas; así como, concretos pesados, con agregados que vienen de la limadura del acero. La elaboración de concretos de peso normal se puede realizar utilizando el concreto triturado que proviene de los desechos de la construcción. (Matallana Rodriguez, 2019)

- Clasificación por tamaño

Según el tamaño, se distingue entre el agregado grueso y el agregado fino. De acuerdo con lo que se detalla en la tabla 4, el agregado grueso se puede dividir en piedra, grava o gravilla, mientras que el agregado fino se puede dividir en arena gruesa, arena media o arena fina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 4: *Clasificación de los agregados por tamaño*

Tamaño (mm)	Mayor a 50	Entre 50 y 19	Entre 19 y 4.75	Entre 4.75 y 2.36	Entre 2.36 y 0.42	Entre 0.42 y 0.074	Entre 0.074 y 0.002	Menor a 0.002
Denominación	Piedra	Grava	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Limo	Arcilla
	Agregado grueso			Agregado fino			Fracción muy fina	
Recomendación	Material bueno para producir concreto						Material no recomendable	

Reproducido de *"El concreto fundamentos y nuevas tecnologías (p. 65)"* por *Ricardo Matallana Rodríguez, 2019*

Los factores derivados del análisis granulométrico son los siguientes:

- Tamaño máximo (T.M.): Se utiliza para agregado grueso, y es la abertura del tamiz más pequeño que deja pasar el 100% de la muestra.
- Tamaño máximo nominal (T.M.N.): Es la abertura del tamiz inmediato inferior al T.M., la cual produce el primer retenido entre el 0 al 10%.
- Módulo de finura (M.F.): Valor empírico adimensional utilizado para determinar la finura o aspereza del agregado utilizado.

  Para determinar el módulo de finura del agregado fino, se suman los porcentajes totales retenidos y acumulados en la serie designada de tamices que cumplen la relación 1:2 desde el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) hasta el tamiz de 150 µm (N.º 100) y se dividen por 100.

  El módulo de finura del agregado grueso se determina sumando los porcentajes retenidos en la serie designada de tamices que cumplen la relación 1:2 desde el tamiz de 75 mm (3") hasta el tamiz de 150 µm (N.º 100) y se dividen por 100.

Se consideran dos tipos de agregados: Agregado Fino y Agregado Grueso.

- Agregado Fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas que pasa el tamiz 3/8" (9.51 mm) y queda retenido en el tamiz #200 (75 µm). Sus partículas deben estar exentas de polvo, suciedad, materia orgánica u otras sustancias dañinas que puedan afectar su desempeño; además deben ser duros, compactos y resistentes, idealmente con forma angular.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Agregado grueso: Material procedente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 4), sus fragmentos deben estar libres de partículas excesivamente planas, alargadas, blandas o desintegrables y, al mismo tiempo, ser limpios, resistentes y durables. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar su desempeño.

2.4.2.4. Aditivos

Son productos químicos que generalmente se los utiliza en estado líquido y que se incorporan en pequeñas dosis con el objetivo de modificar alguna propiedad o comportamiento en la mezcla de concreto. Se clasifican en:

- **Aditivos reductores de agua y de control de fraguado**

Los reductores de agua, también conocidos como plastificantes, se utilizan para reducir el contenido de agua entre un 5 y un 10% sin sacrificar la consistencia ni la trabajabilidad. Por otro lado, si se modifica la cantidad de agua utilizada como plastificante, se obtendrán mezclas más manejables.

La cantidad de agua en la mezcla y el contenido de cemento se reducen significativamente mediante reductores de agua de alto rango o superplastificantes, que son superiores a los aditivos reductores de agua comunes. El agua puede disminuir de 12 a 30% en general.

Dependiendo de su composición química, dosificación e interacciones con otros aditivos y materiales cementantes de la mezcla, los reductores de agua pueden acelerar o ralentizar el tiempo de fraguado. Los aceleradores de fraguado son materiales añadidos a la mezcla para acortar el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto durante los primeros siete días de mezclado, mientras que los aditivos retardadores de fraguado son materiales que retrasan el tiempo de fraguado, extendiendo el tiempo de trabajabilidad en la mezcla. El tipo y la dosificación de los aditivos utilizados tienen un gran impacto en las propiedades del concreto. (Matallana Rodriguez, 2019)

- **Aditivos incorporadores de aire**

Los aditivos incorporadores de aire forman pequeñas esferas de aire de tamaño controlado dentro de la mezcla de concreto para lubricarla, permitiendo que se acomode y fluya de una mejor manera. A diferencia del aire atrapado, no se pierden con la vibración, son esferas tan

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

pequeñas que cortan la capilaridad del agua durante el proceso de exudación volviéndose un concreto de baja permeabilidad.

2.4.2.5. Fibras

Son materiales adicionales que se agregan a la mezcla de concreto, se dividen en dos tipos: microfibras y macrofibras. Las microfibras actúan mientras el concreto se encuentra en estado fresco y de transición reduciendo la fisuración plástica, mientras que, las macrofibras convierten un material frágil en uno más dúctil controlando la apertura de las grietas, por lo que se las suele reconocer como "estructurales".

Las propiedades del concreto fibroreforzado dependen fuertemente de las características de la fibra, su dosis, distribución y orientación, pero, además, la habilidad que estas tengan para congeniar con la mezcla de concreto ya que cada tipo de concreto y uso presenta características especiales. (Becker & Chaix, 2019)

2.4.3 Propiedades del concreto

2.4.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco

2.4.3.1.1. Trabajabilidad

Es el grado de facilidad con la que el concreto puede mezclarse, transportarse, colocarse, compactarse y ser acabado sin perder su homogeneidad (es decir, sin segregarse ni exudarse). Se mide la consistencia de la mezcla a través de la prueba de asentamiento, también conocida como prueba de retorno o prueba del cono de Abrams.

2.4.3.1.2. Segregación

El término "segregación" describe el proceso mediante el cual los componentes del concreto se vuelven más dispersos cuando se separan físicamente unos de otros. Se presenta de dos formas: La primera se produce cuando las partículas se separan por falta de cohesión y se produce por el uso de mezclas con escaso contenido de cemento y excesivamente secas. La segunda, en contraste con la primera, provoca la separación entre la pasta y los agregados y sucede en mezclas muy húmedas. (Matallana Rodriguez, 2019)

2.4.3.1.3. Exudación

Durante las primeras horas que siguen a la colocación del concreto, se produce exudación cuando parte del agua de la mezcla asciende por capilaridad hacia la superficie expuesta del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

concreto. Cuando el clima es frío, sin viento y húmedo, el agua es visible en la superficie. En condiciones de calor, sequedad y viento, el agua expulsada se evapora antes de mostrarse, lo que reseca la superficie y provoca fisuras de retracción plástica.

2.4.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

2.4.3.2.1. Resistencia

El esfuerzo necesario para que el concreto se fracture, o el punto en el que la tensión aplicada alcanza su valor máximo, está relacionada directamente con la resistencia del material. El concreto es altamente resistente a los esfuerzos de compresión, mientras que los esfuerzos de tracción y corte son menores en comparación con los de compresión. Numerosos factores influyen en la resistencia del concreto, como la relación agua-cemento, las características de los agregados, el tipo y la calidad del cemento, el agua, los aditivos, el proceso de fraguado, el tiempo de curado, la edad del concreto y la temperatura ambiente.

2.4.3.2.2. Durabilidad

De acuerdo con el American Concrete Institute (ACI) el concreto se considera durable cuando puede resistir a las condiciones del medio donde se desempeña, pudiendo deteriorarse debido a una gran cantidad de factores, siendo los más importantes: La permeabilidad, las variaciones de volumen durante el endurecimiento, el ataque de ácidos y sulfatos, abrasión, carbonatación, los ataques de cloruros y ataque por agentes descongelantes

2.4.3.2.3. Densidad

La densidad o peso unitario del concreto depende de la masa y de la proporción en que participa cada uno de los diferentes elementos que forman parte de la mezcla de concreto. La densidad normal del concreto puede oscilar entre 2000 y 2600 kg/m^3. Debido a que parte del agua de mezclado se evapora al pasar de estado fresco ha endurecido, existe una diferencia de densidad de aproximadamente 7% entre ambos estados del concreto. (Matallana Rodriguez, 2019)

2.4.3.3. Propiedades contractivas del concreto

Cuando el agua se evapora del concreto después de que se ha secado, el material sufre un proceso conocido como "contracción" o "retracción", que es la pérdida de volumen provocada por la propia contracción interna del hormigón. Los dos tipos de retracción que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

más afectan a los pavimentos industriales y que pueden derivar en problemas son la retracción plástica para concreto fresco y retracción hidráulica por secado o fraguado para concreto endurecido.

2.4.3.3.1. Retracción Plástica

Esto sucede cuando la superficie del pavimento está expuesta al sol y al aire seco. La superficie del concreto se seca rápidamente con una notable pérdida de volumen superficial dado que el agua superficial se evapora rápidamente. Esto sucede cuando el concreto aún se encuentra en estado plástico y en las primeras horas después de su colocación. (Escámez Sánchez, 2020)

La contracción plástica del concreto produce una red de fisuras finas, antiestéticas, poco profundas, sin un patrón definido que se extienden solo en la parte superior de la losa, sin embargo, no comprometen la resistencia y durabilidad de los pavimentos industriales. No obstante, si a través de éstas ingresan sustancias perjudiciales pueden afectar el desempeño de la estructura y disminuir su durabilidad.

2.4.3.3.2. Retracción hidráulica por secado

La retracción hidráulica por secado es un proceso lento al que se somete el concreto. La pérdida del agua retenida en los poros en forma de gel (agua + cemento) es la que reduce significativamente el volumen del solido de concreto. Bajo condiciones de secado, el agua retenida en los poros se pierde progresivamente a lo largo del tiempo, en tanto el sólido de concreto permanezca en dicho estado.

La pasta de cemento retrae más que el mortero y el mortero retrae más que el concreto. El concreto fabricado con agregados de tamaño pequeño retrae más que los concretos fabricados con agregados de tamaño grande ya que el número de poros y de gel contenido en ellos es mayor. La magnitud de la perdida de volumen será por tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de gel formado. (Escámez Sánchez, 2020)

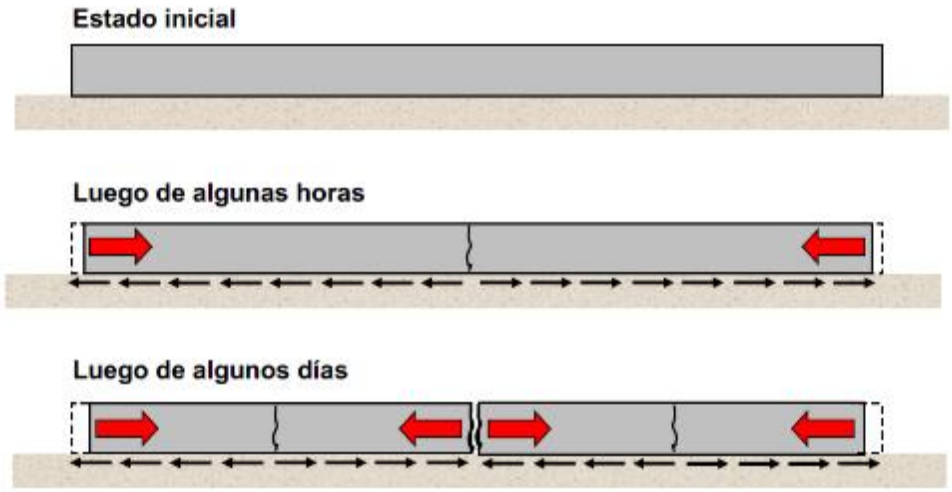
La patología más típica que aparece en el proceso de secado son las fisuras, originadas por la restricción del movimiento de la losa a la perdida de volumen del concreto, produciendo tensiones que conducen a la aparición de fisuras. Estas aparecen en las edades más tempranas del concreto y en ocasiones representan un problema para los usuarios de las instalaciones industriales, pues se rompen y se desportillan al paso de los montacargas y carretillas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 1: *Efecto de la contracción por secado del concreto sobre el patrón de fisuración de un piso de concreto.*



Reproducido de *"Seminario sobre pisos industriales"* por *E. Becker, 2008*

Otro fenómeno muy importante asociado a la retracción por secado es el efecto "curling" o efecto de alabeo de las losas, el cual es la curvatura permanente hacia arriba o hacia abajo de las losas de concreto producido durante el fraguado y endurecimiento del concreto. Este fenómeno aparece siempre en elementos de concreto de gran superficie y poco espesor.

Existe un efecto del gradiente hidráulico importante entre la parte que está expuesta a la intemperie y la parte donde se apoya la losa sobre el terreno, esta diferencia de humedad se traduce también en una diferencia de volumen, dándose dos condiciones de diseño:

a) Condición diurna: La zona superior se retrae más que la inferior, formándose un par de fuerzas opuestas que elevan los bordes de la losa, dando lugar a un alabeo convexo.

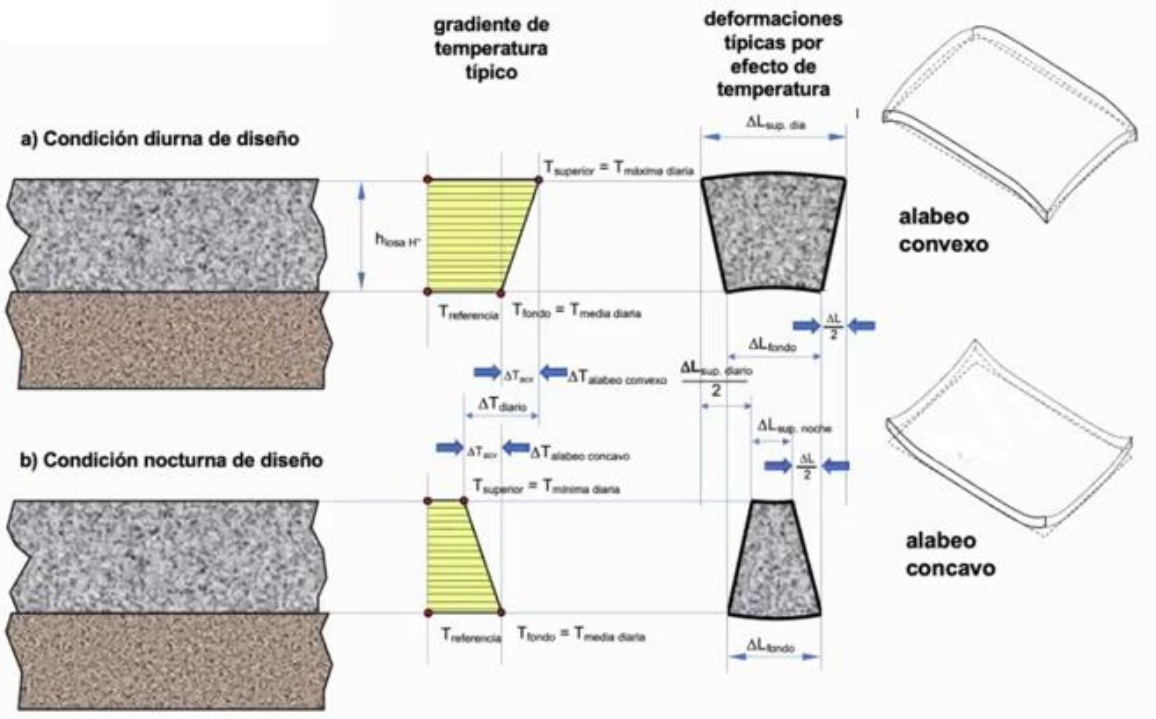
b) Condición nocturna: La zona superior se retrae menos que la inferior, formándose un par de fuerzas opuestas que elevan las esquinas de la losa, dando lugar a un alabeo cóncavo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 2: *Efecto del gradiente térmico sobre el alabeo de losas de concreto.*



Adaptado de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix 2019*

Este fenómeno ocurre en mayor o menor grado en función de distintos factores y se convierte en patológico cuando es demasiado evidente o altera el tránsito de los vehículos, montacargas o carretillas por encima de las juntas que en ocasiones se corresponde por un mal diseño o control de la mezcla de concreto (con excesiva relación agua-cemento o excesivo mortero) o en otras, se corresponde con un excesivo gradiente hidráulico entre las dos caras de la losa, o también por un exceso de esbeltez (relación superficie/espesor).

En el caso de alabeo convexo (positivo) se presenta fisuración por tracción de abajo hacia arriba y en el caso de alabeo cóncavo (negativo) se presenta fisuración por tracción de arriba hacia abajo, en ambos casos en el centro de la losa.

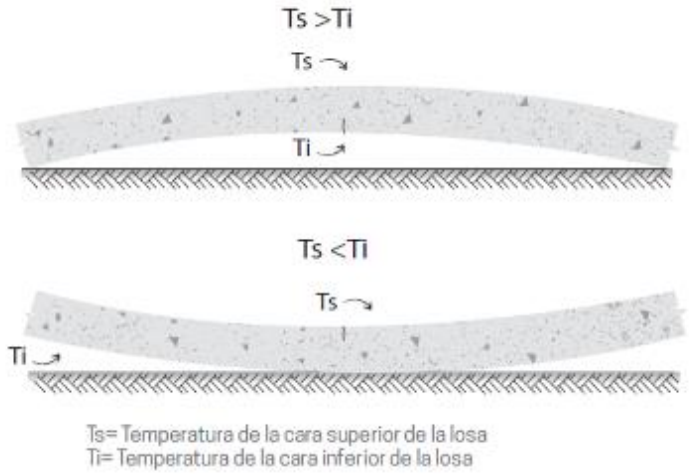
El alabeo cóncavo origina una pérdida de contacto entre la losa y la base, que, al ser sometida a carga con dos ruedas en el borde, en el sentido longitudinal o transversal, produce un momento flector significativo en el centro de la losa provocando una fisura longitudinal en el centro de la losa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 3: *Alabeo en losas de concreto por diferencial de humedad o de temperatura entre la cara superior e inferior.*



Adaptado de *"El concreto – Fundamentos y nuevas tecnologías"* por *R. Matallana, 2019*

2.4.4 Concretos especiales para pavimentos industriales

Dependiendo de las necesidades del proyecto, la metodología constructiva, la experiencia del constructor, la disponibilidad local de materias primas y el grado de desarrollo de la industria del concreto premezclado local es posible especificar el uso de concretos especiales que permitan construir pavimentos industriales de mayor calidad y mínima cantidad de juntas garantizando el cumplimiento de requerimientos adicionales a los de resistencia, asentamiento y otros requisitos básicos exigidos a los concretos convencionales.

2.4.4.1. Concreto reforzado con fibras

El auge de este tipo de refuerzo para el concreto se ha difundido fuertemente en los últimos años por su aporte en la capacidad de carga a través de una mejora de un incremento del momento ultimo y/o de la durabilidad de la losa de piso a través del mayor desempeño a fatiga.

2.4.4.1.1. Reseña histórica de la aplicación de las fibras

El uso de fibras para reforzar materiales frágiles comenzó hace mucho tiempo, cuando los materiales de construcción eran elementos naturales sin ningún tipo de reproceso químico. Los antiguos egipcios introducían paja en la arcilla para hacer ladrillos, lo que les daba más resistencia y, por lo tanto, mejor manejabilidad (Maccaferri, 2014) obteniéndose materiales de mayor calidad y durabilidad para la aplicación en las construcciones de aquella época.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Durante la década de 1940, y especialmente durante la Segunda Guerra Mundial, los estadounidenses comenzaron a utilizar subproductos del proceso de fundición del acero como refuerzo del concreto utilizado en los pavimentos aeroportuarios para aumentar su resistencia a la tracción, buscando una mayor resistencia al desgaste causado por los aviones.

Hacia la década de 1960, aparece el proceso de trefilado del alambre de acero utilizándose en neumáticos y diversas soluciones hasta la actualidad. De esta manera se comenzó a utilizar fibras de acero o pedacitos cortados de estos alambres como complemento a la mezcla de concreto con el propósito de mejorar algunas de sus propiedades físicas y mecánicas.

El Comité ACI 544 (Concreto reforzado con fibras) fue creado en 1965 con el objetivo de establecer recomendaciones para el uso de fibra y dar directrices para la industria. Desde entonces, los avances se han centrado en el desarrollo de fibras con desempeño en el control de esfuerzos a tensión en estado plástico, en sus propiedades mecánicas y, en ciertos casos, como refuerzo estructural. En un principio las fibras de acero eran alambres rectos, pero al ser elementos lisos, la adherencia o la fuerza resistente necesaria para extraerlos era muy baja porque no había ningún tipo de anclaje más allá de la longitud del elemento y el coeficiente de fricción que se pudiese formar entre la interfaz del cemento y la fibra de acero.

Luego, a partir de la década de 1970, uno de los grandes fabricantes de fibras de acero en Europa, empezó a experimentar con diferentes formas geométricas y fue el primero que logro presentar y patentar el gancho en las fibras de acero, ubicándolos en los extremos de la fibra con la función de mantener un control en el proceso de arrancamiento. Después se desarrollaron otras formas como las fibras onduladas colocando el gancho en toda la longitud de la fibra aumentando su resistencia al arrancamiento y las fibras encoladas para facilitar el proceso de dispersión dentro de la mezcla de concreto.

A comienzos de la década de 1980 empezaron a aparecer los polímeros como una alternativa dentro de los concretos. Los fabricantes de fibras empezaron a investigar con microfibras de polipropileno, encontrando algunos aportes interesantes en el proceso de fabricación y producción del concreto. Los polímeros siguieron avanzando y en la década de 1990 empezaron a aparecer las primeras macrofibras sintéticas como elementos de longitudes similares y equivalentes que buscaban de alguna u otra manera reemplazar las fibras de acero con materiales alternativos, buscando otorgarle algunos beneficios que el acero no era capaz de ofrecer. (Espinosa, 2021)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.4.1.2. Concepto de refuerzo del concreto con fibras

Las fibras son un sistema de refuerzo multidireccional que se mezcla con hormigón y luego se extiende mediante su adhesivo. No se consideran aditivos ni agregados, sin embargo, si se consideran adiciones que son químicamente inertes para que no vayan a tener ningún tipo de reacción adversa con ninguno de los materiales constituyentes del concreto y por el contrario lo que hagan es un aporte beneficioso a sus propiedades.

La capacidad de carga adicional, también conocida como capacidad residual, después de que el concreto ha comenzado a fallar debido al agrietamiento, es la mejora más significativa del concreto fibroreforzado.

La capacidad de armar una red multidireccional y no continua es la responsable de que el concreto reforzado con fibras tenga unas características diferentes al concreto convencional, que se puede resumir en:

- Minimizar la presencia de fisuras erráticas permitiendo la continuidad de esfuerzos y, consecuentemente, el trabajo en conjunto de la losa de piso.
- Minimizar los anchos de fisura cuando estos se producen, ya que, una vez producida la fisura, esta queda cosida por la presencia de las fibras en el interior de la masa del concreto.
- Mejorar la ductilidad y/o tenacidad del concreto permitiendo un aprovechamiento estructural de la mayor capacidad de carga de la sección, lo que significa que el material es capaz de soportar distintas deformaciones tras la aparición de la fisura.
- Mejorar la resistencia al impacto a través del llamado “efecto red” y la adherencia, el concreto reforzado con fibras presenta un comportamiento ante cargas de impacto muy superior respecto al concreto simple.
- Aumenta la resistencia a fatiga ya que al controlar la apertura de fisura permite controlar el deterioro por fatiga del concreto ante cargas dinámicas.
- Mejora la resistencia al corte (Becker & Chaix, 2019)

En la actualidad, los soportes de excavación con concreto proyectado (subterráneos y en superficie), los pavimentos industriales, los elementos prefabricados monolíticos y los vaciados in situ para túneles son algunas de las aplicaciones de concreto armado reforzado con fibras en la industria de la construcción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.4.4.1.3. Tipos de fibras

Las fibras de refuerzo para concreto incluyen una amplia gama de tamaños y formas que están hechas de una variedad de materiales. La guía ACI-544 y la norma ASTM C1116 son algunos documentos de referencia para clasificar las fibras en base a su composición: acero, polietileno, vidrio, nylon y naturales.

Las más utilizadas como refuerzo en la industria de la construcción son las fibras metálicas y sintéticas. Se dividen en "microfibras" y "macrofibras" según su tamaño y funcionalidad.

En primer lugar, es habitual utilizar microfibras para controlar la fisuración cuando el concreto pasa de un estado plástico a uno endurecido, sin añadir capacidad estructural a una sección concreta. Estas fibras son relativamente finas, su diámetro varía entre 0.03 a 0.05 mm. y su longitud tiene intervalos típicos de 12 a 19 mm. Como propiedades adicionales las microfibras ayudan a controlar el proceso de exudación volviéndolo más homogéneo y en caso de incendios le da más tiempo al concreto antes de empezar a estallar ya que la fibra sintética se derrite a 160 °C dejando espacios libres para que ingrese el vapor.

Por otro lado, las macrofibras, bien sean de acero o sintéticas, se dispersan dentro de la mezcla formando un efecto red para que funcione de manera adecuada dentro del concreto y se utilizan para controlar las grietas por contracción y/o temperatura, también para brindar capacidad de carga post-fisuración de los elementos de concreto sometidos a flexión y tensión. Tales fibras son relativamente gruesas, de diámetros de 0,5 a 0,7 mm y longitud en un intervalo típico de 19 a 50 mm.

2.4.4.1.4. Tipos de fibras de acero

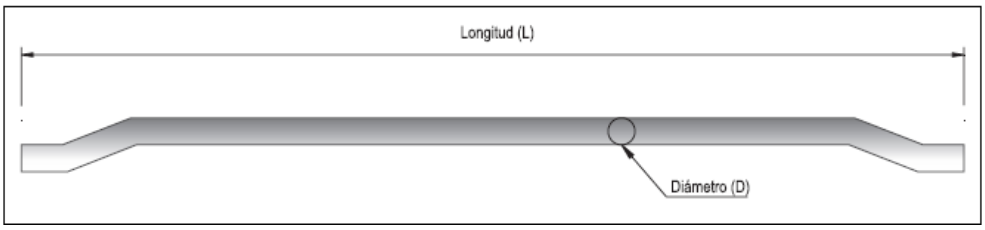
Las fibras de acero se caracterizan geométricamente por su longitud, forma y diámetro o diámetro equivalente (D_e), de forma rectilínea o doblada, para asegurar que estén distribuidas uniformemente por toda la masa de concreto sin comprometer sus cualidades geométricas (Maccaferri, 2014).

La relación de aspecto o relación de esbeltez (λ) es un indicador de desempeño de la fibra y se obtiene de la relación entre la longitud (L) y el diámetro equivalente (D_e).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

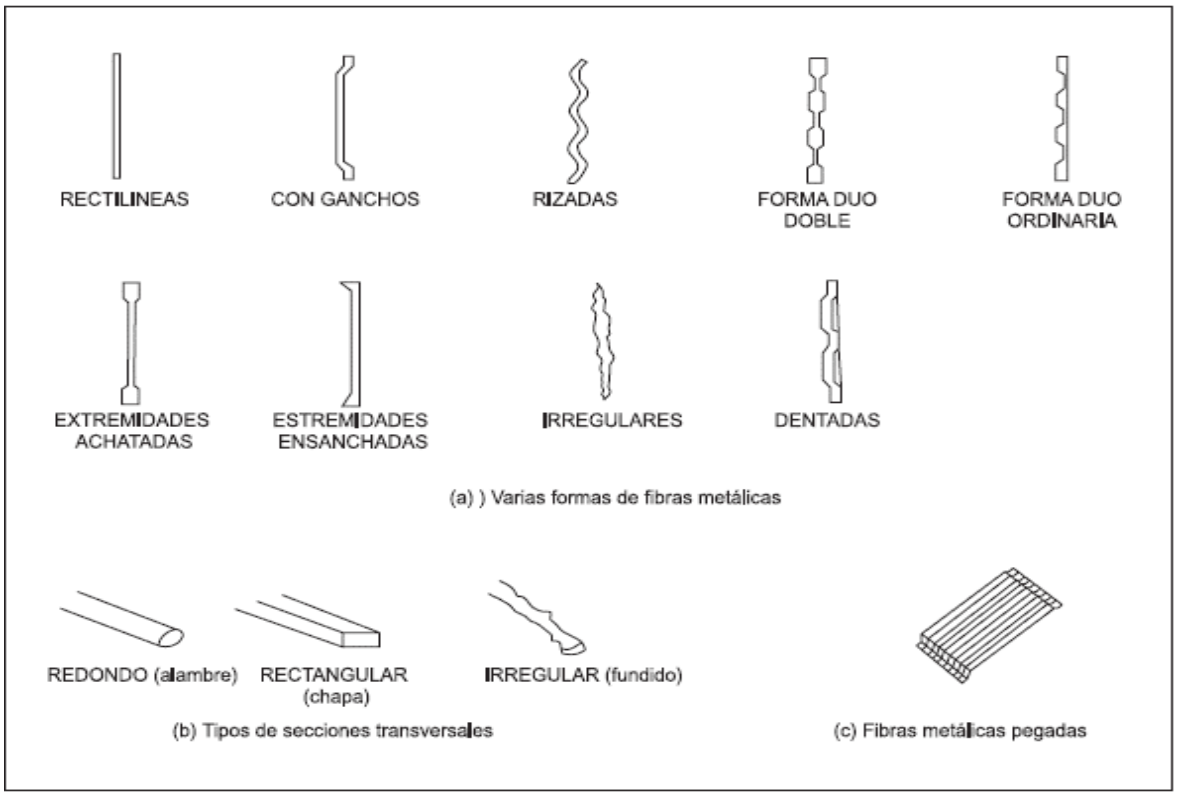
Figura 4: *Fibra doblada metálica*



Adaptado de *"Manual técnico de fibras"* por *Maccaferri, 2014.*

Desde una perspectiva axial, la forma puede ser rectilínea o perfilada, y desde una perspectiva transversal, la fibra puede tener una sección circular, rectangular o variada.

Figura 5: *Ejemplo de fibras metálicas con diferentes formas y secciones.*



Adaptado de *"Manual técnico de fibras"* por *Maccaferri,2014.*

Se utilizan varios métodos para definir el diámetro equivalente (De), dependiendo de la forma de la sección transversal y del proceso de producción.

- Método directo: Utilizado para fibras obtenidas de alambre, independiente de su forma longitudinal, el diámetro equivalente (D_e) es igual al diámetro nominal del alambre de salida o de la fibra acabada.

$$D_e = D_n$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Método indirecto geométrico: Utilizado para fibras de laminado metálico de cualquier forma longitudinal, el diámetro equivalente (De) es igual al diámetro de una circunferencia con un área igual a la de la sección transversal de la fibra y viene dado por la siguiente fórmula:

$$D_e = (4 * \frac{A}{\pi})^{1/2}$$

Donde A es el área de la sección transversal de la fibra (mm^2)

$$A = w.t$$

Siendo w = ancho; t = espesor

- Método gravimétrico: Para fibras obtenidas por otros métodos productivos, de sección variable, cualquiera que sea la forma longitudinal, el diámetro equivalente se calcula a partir de la longitud media de la fibra (L) y del peso medio de un determinado número de fibras (m), en base a una masa volumétrica $\rho = 7.85\ g/cm^3$, según la siguiente fórmula:

$$D_e = 12.74 * \left(\frac{m}{L}\right)^{1/2}$$

De acuerdo con su proceso productivo, los tipos de fibras de acero están definidas por la norma ASTM A820 de la siguiente manera:

- Tipo 1: Son fibras trefiladas que normalmente tienen una sección cilíndrica o redonda.
- Tipo 2: Son fibras cortadas que normalmente tienen una sección cuadrada o rectangular.
- Tipo 3: Son fibras extraídas por un proceso complejo de fundición que no son ni trefiladas ni cortadas.
- Tipo 4: Son fibras maquinadas de sección semi-ovalada obtenidas como subproductos de la fabricación de esponjillas metálicas y son de bajo desempeño en comparación con las fibras trefiladas.
- Tipo 5: Son fibras trefiladas modificadas con una mayor resistencia a la tracción que las fibras de tipo 1.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

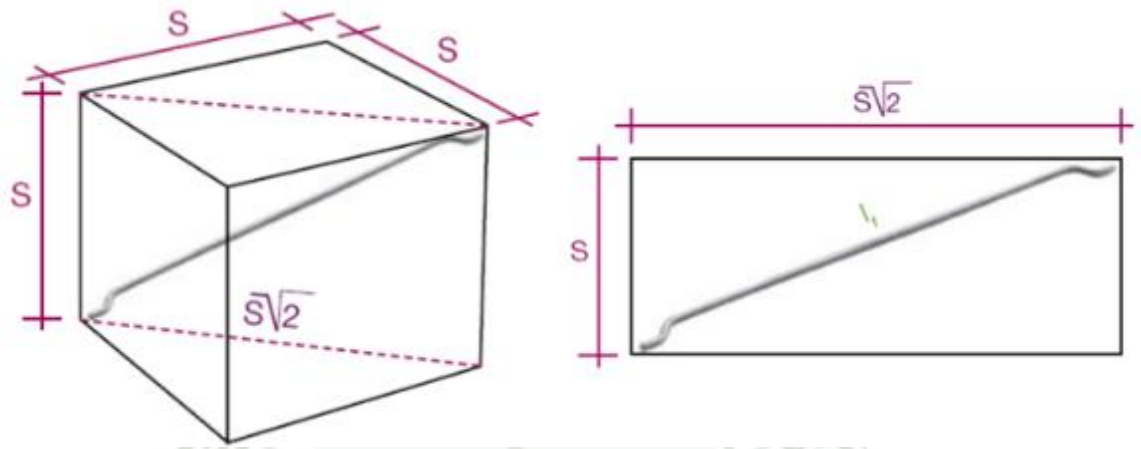
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.4.1.5. Dosificación de fibras de acero

La teoría del espaciamiento de McKee permite calcular la dosificación mínima necesaria de fibra metálica dentro de la mezcla de concreto para que funcione correctamente en función de su diámetro (d_f) y longitud (l_f).

Figura 6: *Dosificación mínima basada en la longitud mínima total*



Adaptado de *"Uso de Concreto Lanzado Reforzado con fibras metálicas"* por *C.Frutos, 2018.*

De acuerdo con las características de la fibra, se tiene:

- Peso de una fibra: $P_f = \gamma * V_f = \gamma * \left(\frac{\pi * {d_f}^2}{4}\right) * l_f$
- Volumen de concreto que ocupa una fibra: $V_c = s^3 = (\frac{l_f}{\sqrt{3}})^3$
- Factor de seguridad = 1.5
- Factor de traslape: $t \leq \frac{s}{1.5} = \frac{\frac{l_f}{\sqrt{3}}}{1.5} \approx 0.4 * l_f$
- Volumen efectivo de concreto: $V_e = t^3 \leq (0.4 * l_f)^3 = 0.064 * {l_f}^3$
- Dosificación mínima de la fibra metálica = $\frac{\text{Peso de una fibra}}{\text{Volumen efectivo de concreto}} = \frac{P_f}{V_e}$

$$D_m \geq \frac{\gamma * \left(\frac{\pi * {d_f}^2}{4}\right) * l_f}{0.064 * {l_f}^3} = \frac{\gamma * \pi * {d_f}^2}{0.256 * {l_f}^2} = \frac{\gamma * \pi}{0.256 * \lambda^2}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

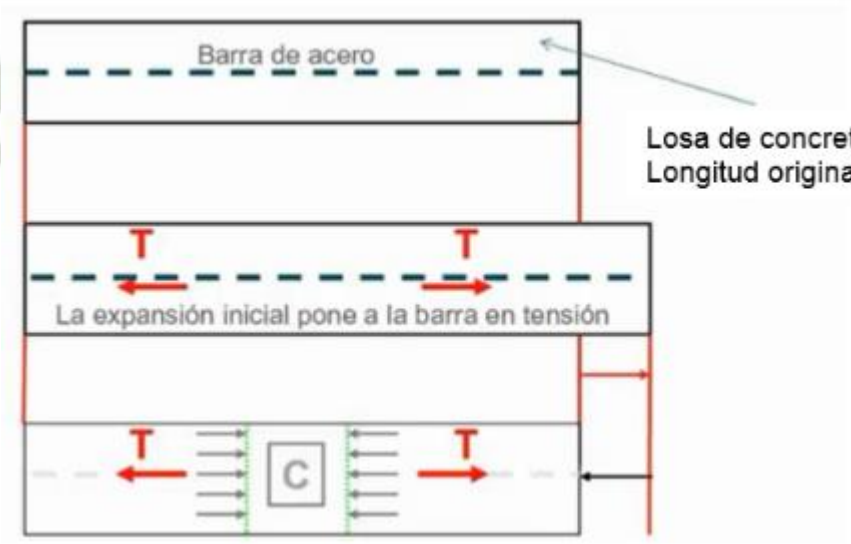
Finalmente se reemplaza en la ecuación el peso específico de la fibra de acero ($\gamma = 7840\ \frac{kg}{m^3}$) y su relación de esbeltez para obtener la dosificación mínima de fibra de acero a ser utilizada en la mezcla de concreto.

2.4.4.2. Concreto de retracción compensada

Su uso para pavimentos industriales es una solución cuya característica principal es que no llevan juntas de contracción dentro del paño y solo requieren de juntas de construcción entre paños construidos.

Este concreto tiene la particularidad de tener un componente expansor por lo que requiere de una enfierradura para expandirse de una manera controlada, ya que durante los primeros 7 días se expande poniendo a la barra de acero en tensión, para luego contraerse produciendo una pérdida de esfuerzo que es compensada con el esfuerzo de tensión aportado por la barra de acero, haciendo de esta manera que no sean necesarias las juntas de contracción.

Figura 7: *Concreto de retracción compensada*



Adaptado de *"Webinar: Pisos de retracción compensada para logística y E-commerce"* por *Katemu,2021*.

Para que la expansión no presente restricciones, se hace necesaria la colocación de una capa de polietileno cuya función es facilitar el movimiento entre el pavimento de concreto y la base permitiendo el desplazamiento de este.

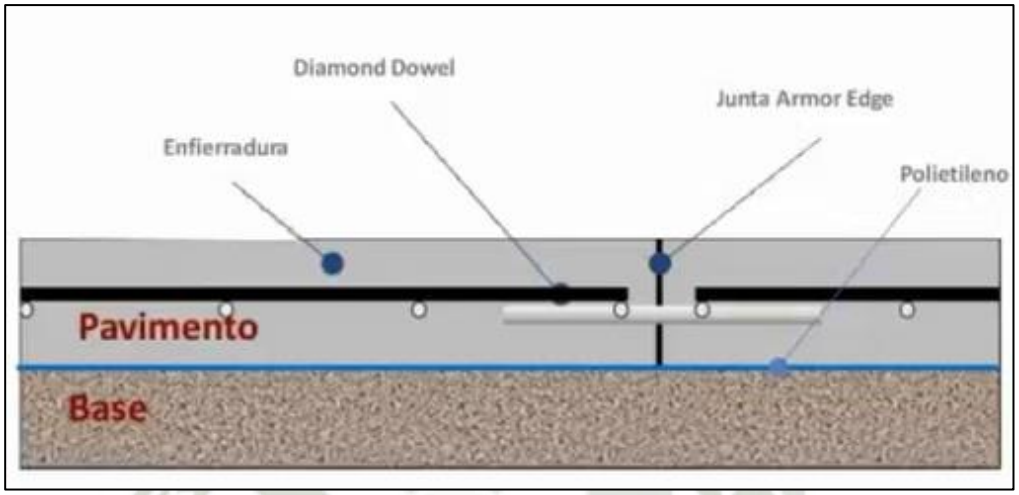
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este tipo de concreto debido a su componente expansor tiende a ser más denso logrando una resistencia superficial entre un 30 y 40% superior respecto a un concreto con cemento portland convencional.

Figura 8: *Sección estructural de un pavimento de concreto con retracción compensada*



Adaptado de *"Webinar: Pisos de retracción compensada para logística y E-commerce"* por *Katemu,2021*.

2.4.4.3. Concreto de baja contracción

Es un concreto diseñado para presentar una menor contracción que un concreto convencional mostrando un desempeño que lo limita a 600 millonésimas a los 28 días de secado (ASTM C157). El empleo de este concreto permite obtener losas en donde se eliminan los problemas de fisuración, reduciendo así los costos de mantenimiento y extendiendo la vida útil de la estructura, el cual se logra mediante el uso de aditivos y/o fibras.

2.4.5 Diseño de la mezcla de concreto

El proceso de calcular las cantidades de insumos del concreto (cemento, agregados, agua y aditivos) para conseguir unas características determinadas, satisfaciendo al mismo tiempo las especificaciones de diseño y logrando un equilibrio entre los siguientes factores: economía, constructibilidad, resistencia, durabilidad y sostenibilidad, se conoce como diseño de la mezcla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.5.1. Especificaciones técnicas del diseño de mezclas de concreto

Los concretos utilizados en pavimentos no son los mismos que se utilizan en otras aplicaciones, ya que los insumos que componen el concreto están ajustados a la función que específicamente van a cumplir.

A diferencia del concreto convencional cuya aplicación se realiza en elementos que tienden a tener dimensiones proporcionales evitando elementos esbeltos, el concreto para pavimentos industriales tiene una superficie muy grande de exposición respecto al espesor que lo compone, determinando los procesos en los cuales se va pasar de un estado plástico a un estado endurecido, en el cual, la perdida de agua va estar bien definida en una dirección y va causar perdidas mayores que otros tipos de aplicaciones con exposiciones diferentes, quedando más expuestos a fenómenos como retracción o alabeo frente a otras aplicaciones exigiendo que el concreto sea diferente en sus propiedades características. (Espinosa, 2021)

La vigilancia y control de las mezclas de concreto es uno de los pilares fundamentales de los especialistas en diseño y construcción de pavimentos, ya que es la materia prima que conforma este, y del que depende en gran medida el éxito o fracaso tanto del resultado estético y superficial como del rendimiento en el futuro. (Escámez Sánchez, 2020)

Las especificaciones técnicas de construcción presentan dos enfoques:

- Enfoque prescriptivo: Exige el cumplimiento de uno o varios parámetros del concreto que no necesariamente aseguran un óptimo desempeño.
- Enfoque por desempeño: Evalúa y garantiza el nivel requerido de calidad del concreto con relación a la durabilidad esperada de la estructura, bajo el entorno en el que estará construida.

Las propiedades que deben tener los concretos destinados a pavimentación son: Resistencia, trabajabilidad y homogeneidad. Se describen a continuación:

2.4.5.1.1. Trabajabilidad

El concreto debe permitir la buena puesta en obra y la relativa comodidad de los operarios en el manejo del material. Según el valor de asentamiento, tenemos la siguiente clasificación: Consistencia seca: entre 0 y 2 cm; consistencia plástica: entre 3 y 5 cm; consistencia blanda: entre 6 y 9 cm; consistencia fluida: entre 10 y 15 cm; consistencia líquida: entre 16 y 20 cm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De forma general y en el caso de manejo manual del concreto, el asentamiento aceptable y que reúne estos requisitos es el asentamiento clasificado como consistencia fluida.

2.4.5.1.2. Resistencia

La norma técnica de edificación CE.010 "Pavimentos Urbanos" del RNE, se limita el uso de concretos con un módulo de rotura mayor igual a 34 kg/cm^2, el cual, de acuerdo con el espectro de cargas, cubre un gran abanico de actividades industriales.

El módulo de rotura (M_R) del concreto se correlaciona con la resistencia a la compresión (f'c) del concreto mediante la siguiente regresión de acuerdo con el documento técnico ACI 363:

$$M_R = a\sqrt{f'c}$$

Donde los valores de "a" varían entre 1.99 y 3.18

Entonces, según la correlación propuesta, la resistencia a la compresión que cumple con el módulo mínimo requerido es de 280 kg/cm^2.

2.4.5.1.3. Homogeneidad

La homogeneidad en el concreto es una característica que influye en varios aspectos:

- Homogeneidad en la consistencia: El concreto debe llegar a obra con una consistencia constante ya que es garantía de homogeneidad en el comportamiento posterior (endurecimiento) y también es garantía de que la nivelación y planeidad del concreto será la adecuada.
- Homogeneidad en el fraguado: El concreto debe comportarse de forma uniforme en el momento de su endurecimiento, para no afectar la planicidad ni la estética del pavimento, ya que la calidad del acabado no solo depende la pericia del operario, sino también de la calidad del concreto sobre el que se trabaja.
- Homogeneidad en el suministro: El suministro de camiones ha de ser de frecuencia constante y sin interrupciones para evitar la formación de juntas frías.

Para tener garantía de homogeneidad en la mezcla es necesario limitar las siguientes características:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Contenido de cemento:

Los limites recomendables en el contenido en cemento de un concreto para pavimentos son: máximo: 360 kg/m^3; mínimo: 275 kg/m^3. Contenidos por debajo del mínimo no garantizan un buen fraguado ni acabado superficial. Contenidos por encima del máximo provocan un endurecimiento muy rápido además de un excesivo calor de hidratación que puede derivar en microfisuración superficial.

- Contenido en aditivos plastificantes y/o fluidificantes:

Los límites del contenido de aditivos de un concreto para pavimentos industriales son:

  - Plastificantes (reductores de agua): 0.4% del peso del cemento empleado.
  - Fluidificante (aumento de cohesión): 0.6% del peso del cemento empleado.

Cuando ambos se combinan, el total de adiciones no debe superar el 1% del peso del cemento empleado. Un exceso de adiciones provoca el fraguado desigual del concreto y el peligro de que el revenimiento no sea constante durante el suministro.

2.4.5.1.4. Relación agua/cemento

Se define como el cociente entre el contenido de cemento y el contenido de agua (a/c). Se limita esta relación máxima a 0.50 para un encofrado fijo y 0.45 para un encofrado deslizante.

Cuando se exceden estos límites de relación agua cemento existe el riesgo de que un exceso de agua que no se hidrate con el cemento, y por lo tanto que esa agua libre ascienda a la superficie en forma de exudación alterando las propiedades superficiales del pavimento otorgando menor dureza y perdida de nivel lo cual ocasiona acabados desiguales y problemas en la superficie (excesiva microfisuración y posibles despegues de la capa superficial).

Según el ACI (American Concrete Institute) para evitar problemas en la ejecución y el comportamiento posterior, garantizando un buen acabado, se deben limitar los siguientes aspectos del concreto:

- Fracción de pasta: Es la fracción en porcentaje que define la suma del cemento, aditivos y agua respecto del resto de componentes. No debe ser superior al 35% ya que se producen despegues superficiales, generando fisuras superficiales por exceso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de finura. Por debajo del 25% se tiene muy pocos finos y el acabado se dificulta mucho, quedando oquedades en la superficie.

- Fracción de mortero: Cantidad porcentual de arena que pasa a través del tamiz N° 8 (2.36 mm) respecto del total de la mezcla en volumen, según la siguiente formula:

$$FM = \frac{\frac{Cc}{PEc} + \frac{\frac{\%\text{ de arena que pasa el tamiz N°8}}{100} * \text{PA total}}{Dsss} + \text{Agua libre} + \text{Aditivo} + \%\text{Aire}}{1000\ (L)} \text{ x } 100$$

Donde, para un metro cubico de concreto:

- Cc : Cemento (kg)
- PEc : Peso específico del cemento (kg/l)
- PA total : Peso del agregado total (kg)
- Dsss : Densidad real arena en condición saturada superficialmente seca (kg/l)
- Agua libre, aditivo y % aire se deben considerar en litros.

Un exceso de mortero ocasiona problemas a nivel de contracción del concreto. Para agregado triturado está limitado entre el 55% - 58% y para agregado de canto rodado entre el 53% - 55%. Cuanto más redonda sea la grava, más se limita la fracción de mortero.

2.4.5.2. Optimización de la gradación de los agregados

Hasta la fecha, las especificaciones técnicas sobre la gradación de los agregados están dirigidas a fracciones individuales, típicamente agregado grueso y agregado fino. El inconveniente de este enfoque es que no se aborda la gradación del sistema general, el cual es crítico en el desempeño de la mezcla. Aunque es sensato apilar la fracción gruesa y fina por separado para evitar la segregación, es el sistema combinado el que es crítico en la mezcla final. (Shilstone, 1990)

Controlar la granulometría integral de una combinación de agregados ayuda a lograr la trabajabilidad deseada y reducir la cantidad de pasta requerida para lograr el desempeño requerido, ya que se reduce el espacio entre las partículas que tienen que ser llenados con pasta cementicia reduciendo la demanda de agua y mejorando la resistencia.

Los distintos métodos para evaluar la granulometría integral de una combinación de agregados buscan facilitar la elección de los porcentajes de cada material que permita una distribución lo más continua y conveniente posible, utilizando las granulometrías

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

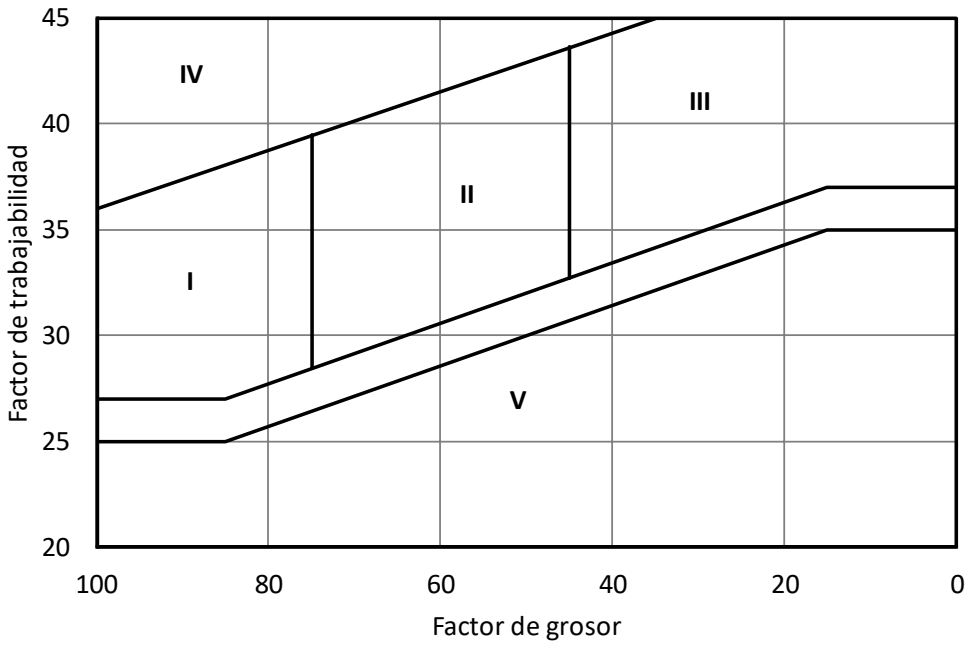
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

individuales de los agregados disponibles en obra. Las herramientas disponibles para optimizar la gradación de los agregados se describen a continuación:

2.4.5.2.1. Carta Shilstone

El enfoque propuesto por Shilstone consiste en analizar la granulometría integral de una combinación de agregados utilizando la carta de Shilstone la cual está dividida en zonas que nos indican las características del concreto de la siguiente manera:

Figura 9: *Carta de Shilstone*



Adaptado del manual "*Materiales integrados y prácticas de construcción para pavimento de concreto"* por *National Concrete Pavement Technology Center, 2019.*

- Zona I: La mezcla de concreto presenta una granulometría discontinua, alta potencialidad de segregación y problemas de delaminación.
- Zona II: Ideal para concretos a ser utilizados en pavimentos. Área óptima para agregados mayores a ¾"
- Zona III: Ideal para concretos a ser utilizados en pavimentos. Área óptima para para agregados menores a ¾"
- Zona IV: Mezcla de concreto sumamente arenoso, pastoso, se pega en las herramientas y es difícil de manejar. Gran dispersión de resultados en las pruebas de resistencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Zona V: Mezcla de concreto, gruesa con poca cohesión, presenta problemas para realizar la prueba de revenimiento.

El área que se encuentra entre la zona optima y la zona gruesa es un área denominada barra límite y representa la barra de tendencia de la gráfica, donde el concreto es aceptado, pero con reservas.

El ensamblaje de los agregados se separa en tres grupos:

- Partículas gruesas: Son las retenidas en la malla 3/8" y proporcionan el cuerpo primario de la mezcla.
- Partículas intermedias: Son las que pasan la malla 3/8" y son retenidas en la malla #8. Estas partículas llenan la mayoría de los vacíos entre las partículas gruesas.
- Partículas finas: Son las que pasan la malla #8

Las fracciones de masa del agregado combinado que caen en cada uno de los grupos son usadas para calcular el factor de grosor y el factor de trabajabilidad.

- Factor de grosor:

Indica si la mezcla es con granulometría continua o discontinua. Debe estar comprendido entre el 55% - 75%. Siendo el 65% ± 5% el ideal para pavimentar.

$$\text{Factor de grosor} = \frac{\%\ \text{Particulas gruesas}}{\%\ \text{Particulas gruesas} + \%\ \text{Particulas intermedias}} * 100$$

- Factor de trabajabilidad:

Indica si la muestra es gruesa o fina. Es el porcentaje del agregado combinado que pasa por el tamiz de 2.36 mm (N° 8) más un ajuste por la cantidad de material cementicio en la mezcla.

La base de contenido de material cementicio es de 335 kg/m^3. El factor de trabajabilidad se incrementa 2.5 puntos por cada 56 kg/m^3 de variación a partir del contenido base de material cementicio. Este porcentaje debe estar entre el 32% - 40%, siendo ideal el 35% ± 2%.

$$\text{Factor de trabajibilidad} = \%\ \text{Particulas finas} + \left[\left(\frac{\text{M. Cementicio} - 335}{56}\right) * 2.5\right]$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Estos dos factores se representan y combinan en la Gráfica de Shilstone que sirve para optimizar las dosificaciones de los concretos destinados a pavimentos, ya que combina el cuerpo o estructura del concreto con el factor que define su trabajabilidad.

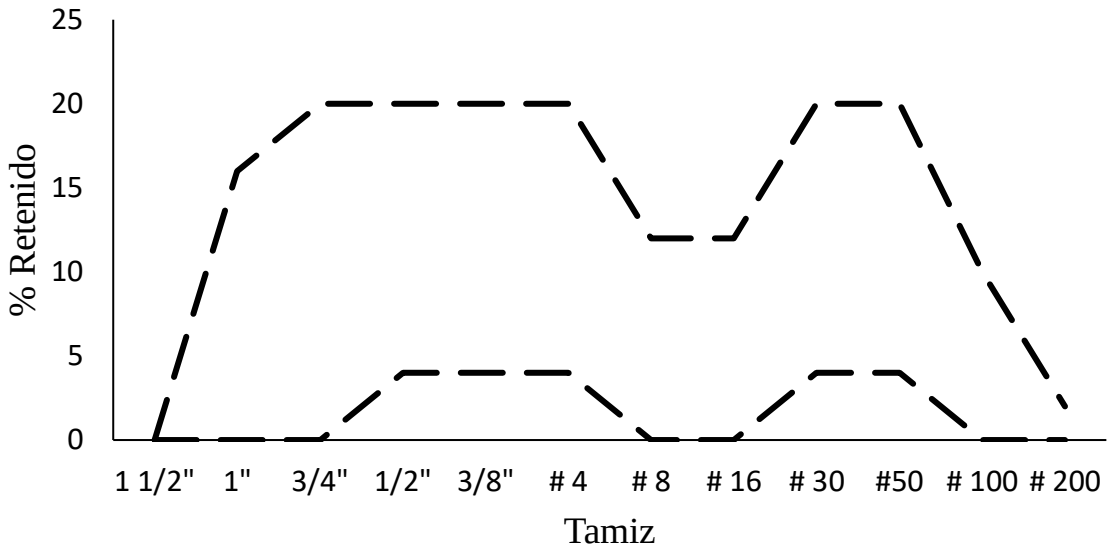
Estudiar las curvas granulométricas de los agregados combinados de una mezcla nos permite ver en qué zona de la gráfica de Shilstone nos encontramos. Eso nos faculta para poder añadir o reducir el contenido de cada agregado hasta colocar el punto en la zona correcta (o aproximarlo).

2.4.5.2.2. Curva de la tarántula

Taylor Ley presento la gráfica "La tarántula" como una herramienta para optimizar la granulometría integral de una combinación de agregados con un enfoque que consiste en ajustar las proporciones del agregado disponible para lograr la combinación deseada con el desempeño esperado. (National Concrete Pavement Technology Center, 2019)

La gráfica de la tarántula presenta porcentajes de retenidos recomendados para concretos a ser utilizados en Pavimentos, permitiendo que uno o hasta tres puntos se encuentren fuera o en las inmediaciones de sus límites.

Figura 10: *Curva de la tarántula*



Adaptado del manual "*Materiales integrados y prácticas de construcción para pavimento de concreto"* por *National Concrete Pavement Technology Center, 2019.*

De acuerdo con el ensamblaje de agregados que se debe cumplir, se observa lo siguiente:

- El tamaño máximo nominal de la mezcla de concreto no debe ser mayor a 1 ½".

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- La zona comprendida entre los tamaños de 1 ½" a N°4 debe estar, en lo posible, dentro de los limites propuestos ya que cantidades excesivas, promueven la segregación, decrementan la trabajabilidad y ocasionan problemas de acabados en los bordes.

- La zona comprendida entre el tamiz N°8 y N°16, se considera una zona critica ya que es un tamaño poco conveniente para darle trabajabilidad al concreto provocando problemas de acabados.

- La zona comprendida entre el tamiz N°30 y N°50 por el contrario, pone unos límites buscando enfatizar el porcentaje retenido entre estos tamices ya que le van a dar mayor trabajabilidad y fluidez al mortero facilitando el proceso de exudación el cual facilitara las actividades de acabados como rayado y texturizado.

- Cuando la sumatoria de porcentaje retenido entre el tamiz N°30 y N°200 se encuentra entre 24% a 34% ocurrirán problemas de acabados por cantidades excesivas de material fino.

2.4.5.3. Cálculo de las proporciones de la mezcla

Determinadas cada una de las características físicas de los insumos, se procede a realizar los siguientes pasos:

a) Dependiendo de los requerimientos de trabajabilidad, tamaño máximo del agregado y tipo de cemento, se determina la cantidad de agua por metro cúbico de concreto.

b) Determinar la relación agua/cemento según la resistencia a la compresión solicitada o los requisitos de durabilidad.

c) Cálculo de la cantidad de cemento en peso a partir de la relación agua/cemento y la cantidad de agua definida anteriormente.

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{\text{Peso del agua (kg)}}{\text{Relacion a/c}}$$

d) Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento

$$\text{Vol. Abs. Cemento } (m^3) = \frac{\text{Peso del cemento (kg)}}{\text{Peso Especifico del Cemento } (kg/m^3)}$$

$$\text{Vol. Abs. Agua } (m^3) = \frac{\text{Peso del agua (kg)}}{\text{Peso Especifico del agua } (kg/m^3)}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e) Cálculo de los volúmenes absolutos de los aditivos

$$\text{Volumen aditivo } (m^3) = \frac{\text{Peso del aditivo (kg)}}{\text{Peso especifico del aditivo } (kg/m^3)}$$

$$\text{Peso aditivo (kg)} = \frac{\text{Dosis en \% x Peso cemento (kg)}}{100}$$

f) Según el tamaño máximo nominal de los agregados, se estima el porcentaje de aire por m^3 y el volumen absoluto que atrapara al concreto.

g) Determinación de la proporción volumétrica absoluta en que intervendrán en la mezcla el árido grueso y los finos.

- Volumen absoluto de agregados = $1m^3$ – Vol. Abs. Cemento (m^3) – Vol. Abs. Agua (m^3) – Vol. Aire (m^3) – Vol. de aditivo (m^3).

h) Definición de la proporción en volumen absoluto en que intervendrán el agregado grueso y el fino en la mezcla.

- K_1 = Porcentaje en que interviene la piedra
- K_2 = Porcentaje en que interviene la arena

i) Distribución del volumen absoluto de agregados en la proporción definida en el punto anterior

- Volumen absoluto de grava (m^3) = K_1 x Volumen absoluto de agregados (m^3)
- Volumen absoluto de arena (m^3) = K_2 x Volumen absoluto de agregados (m^3)

j) Cálculo de los pesos que corresponden a los volúmenes de agregados obtenidos en el punto anterior utilizando los pesos secos específicos.

- Peso de grava (kg) = Vol. Abs. de piedra (m^3) x Peso específico de la grava (kg/m^3)
- Peso de arena (kg) = Vol. Abs. de arena (m^3) x Peso específico de la arena (kg/m^3)

k) Corrección por humedad y absorción del diseño

- Peso de la grava húmeda (kg) = Peso seco grava (kg) x (1 + Humedad de grava)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Peso de la arena húmeda (kg) = Peso seco arena (kg) x (1 + Humedad de arena)
- Balance de agua en la grava = Humedad de grava – Absorción de grava
- Balance de agua en la arena = Humedad de arena – Absorción de arena
- Contribución de agua por la grava (kg) = Balance de agua en la grava x Peso de la piedra húmeda (kg)
- Contribución de agua por la arena (kg) = Balance de agua en la arena x Peso de la arena húmeda (kg)
- Agua final en el diseño = Agua (kg) – Contribución agua por la grava (kg) – Contribución de agua por la arena (kg)

l) Determinar la cantidad de fibra metálica que se utilizara por m^3 utilizando la teoría del espaciamiento de McKee.

m) Diseño final: Agua final (kg), peso húmedo de grava (kg), peso húmedo de arena (kg), peso de cemento (kg), peso de fibra (kg).

n) Elaboración del diseño final en laboratorio para realizar la verificación de las propiedades requeridas. (Pasquel Carbajal, 1998)

2.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES DE CONCRETO

2.5.1 Factores de seguridad parciales

Los pavimentos industriales internos no utilizan estrictamente coeficientes de seguridad con el objeto de evitar un eventual colapso que ponga en riesgo la seguridad de las personas. No obstante, es recomendable utilizar factores que consideren posibles cambios respecto de las magnitudes de las cargas y, sobre todo, los efectos dinámicos de los equipos móviles al realizar maniobras bruscas (freno, arranque, giro, etc.) o eventuales cargas accidentales.

Los valores recomendados por el ACI 360 “Diseño de losas apoyadas en el terreno” son los indicados en la tabla 5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 5: *Factores de seguridad parciales*

Tipo de carga	Factores de seguridad comúnmente utilizados
Cargas de rueda en movimiento	1.7 a 2.0
Cargas concentradas (racks y parantes)	1.7 a 2.0
Cargas uniformes	1.7 a 2.0
Cargas lineales	1.7
Cargas de construcción	1.4 a 2.0

Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix 2019*

El Reporte Técnico N° 34 (TR-34) presentado por la sociedad del concreto (Concrete Society) recomiendas otros valores y criterios diferentes igualmente validos que también pueden ser utilizados, los cuales son mostrados en la tabla 6 y tabla 7.

Tabla 6: *Factores de seguridad parciales para materiales*

Materiales	Factor de seguridad
Concreto	1.5
Concreto con fibra	1.5
Refuerzo (barra o malla)	1.15

Nota. Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

Tabla 7: *Factores de seguridad parciales para cargas*

Cargas	Factor de seguridad
Estantería definida	1.2
Carga dinámica	1.6
Otro	1.5

Nota. Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

2.5.2 Variables de dimensionamiento

Antes de comenzar con el diseño y proyecto del pavimento propiamente dicho, se deben realizar varias tareas de investigación (estudio de cargas, estudio geotécnico, etc.) que permitan al diseñador obtener una serie de datos que le serán imprescindibles para abarcar dicho diseño y proyecto.

A continuación, se desglosan las variables clave que deben tenerse en cuenta a la hora de dimensionar un pavimento:

- Capacidad de soporte de la estructura del pavimento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Módulo de reacción del soporte (k)

- Características mecánicas del concreto
  - Resistencia a la compresión
  - Módulo de rotura
  - Módulo de elasticidad
  - Coeficiente de Poisson
- Tipo de cargas actuantes
  - Carga estática
  - Carga dinámica
- Ubicación de cargas
  - Carga interior
  - Carga de borde
  - Carga de esquina

2.5.2.1. Capacidad de soporte de la estructura del pavimento

El comportamiento estructural del pavimento depende en gran medida de la capacidad de soporte de los materiales de subrasante. Para definir los criterios básicos y caracterizar la estructura del pavimento es necesario distinguir entre:

- Terraplén o relleno
- Subrasante o explanada
- Plataforma

2.5.2.1.1. Terraplén

El relleno o terraplén es una estructura que se construye con materiales producto de cortes o procedentes de bancos de materiales, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto. Está conformado de la siguiente manera:

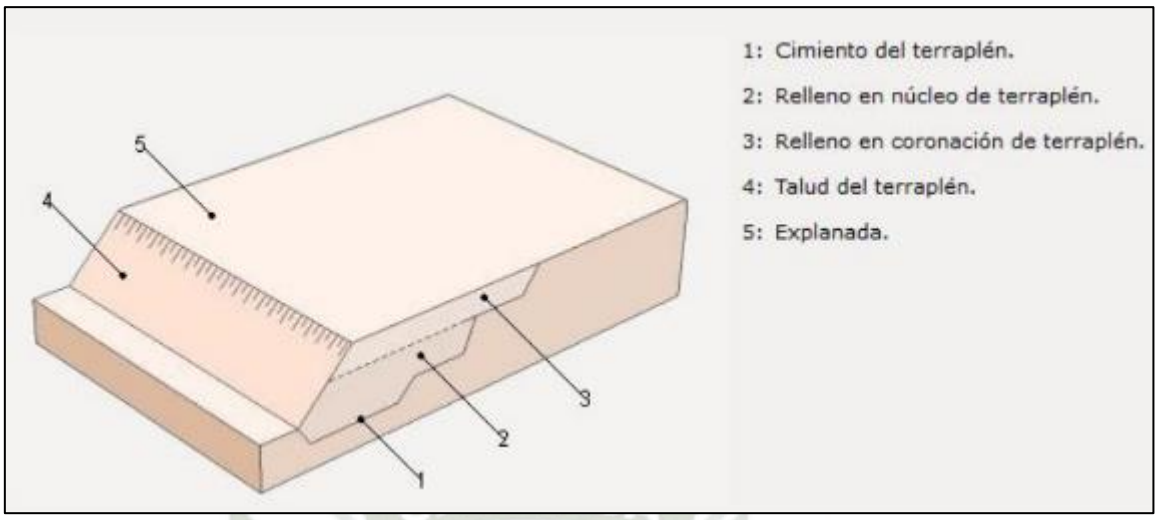
En primer lugar, se tiene el cimiento del terraplén que es la parte que sustituye a la excavación previa que se hace sobre el terreno. A continuación, se presenta el relleno o cuerpo del terraplén, que está compuesto por las distintas capas de material hasta llegar a una determinada cota. Por último, está la coronación del terraplén que es la parte sobre la que se apoya la estructura del pavimento y a la que se le exige una serie de características (nivelación, compactación, elasticidad) que influyen directamente en el comportamiento y el diseño de las losas. (Escámez Sánchez, 2020)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 11: *Estructura de un terraplén*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *Cype Ingenieros, 2020*

Los materiales que se utilizan en cada una de las partes del terraplén son diferentes, siendo de mejor calidad los utilizados en la zona de coronación. Los materiales por utilizar deben ser uniformes para cada parte del terraplén con el fin de garantizar un comportamiento regular.

De acuerdo con los materiales utilizados, se pueden distinguir los siguientes tipos de rellenos:

- Rellenos buenos: Tienen menos del 10% de material fino. Como condición de puesta de obra se establecen valores de CBR igual o mayor al 5%.
- Rellenos regulares granulares: Tienen entre el 10% y 35% de material fino. Como condición de puesta en obra se establecen valores de CBR entre 3% y 4%.
- Rellenos regulares finos: Tienen entre el 35% y 50% de material fino. Como condición de puesta en obra se establecen valores de CBR entre 3% y 4%.
- Rellenos malos: Tienen más del 50% de material fino. Como condición de puesta en obra se establecen valor de CBR entre 1% y 2%. (Puertos del estado, 2019)

El valor de CBR en todos los casos se estima al 95% de la máxima densidad seca.

Se considera que un relleno está consolidado cuando su asiento remanente (asiento no recuperable que se produce al descargar, al finalizar una prueba de carga) estimado, sea

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

admisible para el uso al que se destine. Como criterio general, y a falta de otra información, puede adoptarse el criterio de que el asiento esperable, durante los 10 primeros años después de la ejecución de la coronación, sea inferior a 10 cm (Escámez Sánchez, 2020). Cuando el relleno no está consolidado no es admisible su utilización para apoyo de un pavimento definitivo.

2.5.2.1.2. Subrasante

La subrasante o explanada, que soporta la estructura del pavimento, es la capa superior de un terraplén o el fondo de una excavación en suelo natural. Se compone de suelos elegidos por sus cualidades aceptables y compactados en capas para crear un cuerpo estable en condiciones ideales.

La subrasante tiene dos claras funciones, la primera es ofrecer una base con un comportamiento uniforme y definido ante las cargas (elasticidad o módulo de deformación constante), la segunda es la nivelación de la superficie para asegurar la regularidad en el espesor de la losa que conforme el pavimento. (Escámez Sánchez, 2020).

La calidad de la explanada, en cuanto a su capacidad de soporte, depende en gran medida de los materiales empleados en la capa de coronación del terraplén y del grado de compactación obtenido en su puesta en obra. (Puertos del estado, 2019)

El uso del modelo de Westergaard es la base de las técnicas de diseño de pavimentos industriales en los Estados Unidos. En este modelo, la losa de concreto se asemeja a una placa delgada soportada por una serie de muelles y se confirma que la tensión transmitida es proporcional a la deformación vertical, expresada como $\sigma = k.x$, donde k es el módulo de proporcionalidad, a veces denominado módulo de reacción o módulo de Winkler. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones). Sus unidades están expresadas en kg/cm^3 ya que mide la presión (kg/cm^2) respecto a la profundidad (cm) y se obtiene realizando el ensayo normalizado de carga con placa.

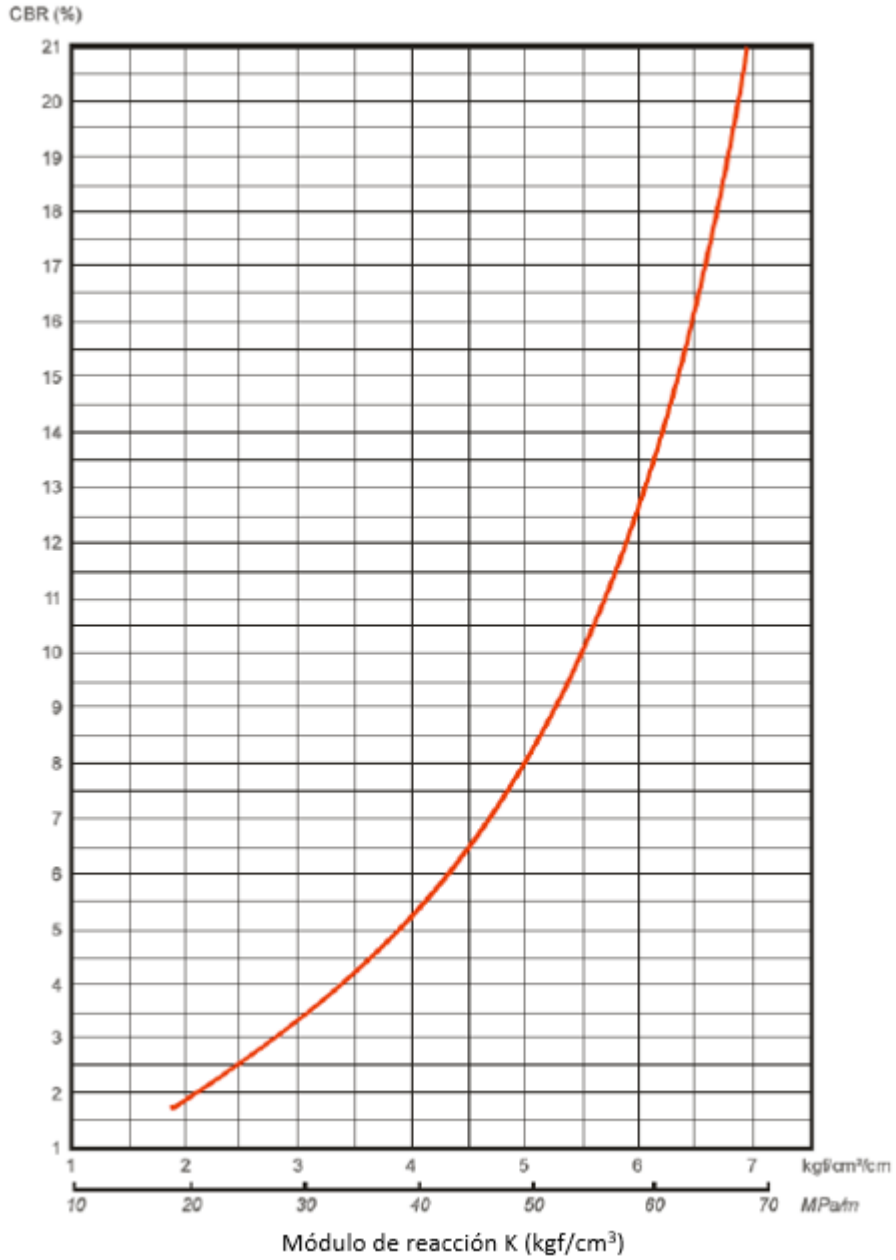
Es posible obtener el valor del módulo de balasto mediante el ensayo de carga con placa, o correlacionándolo con otras características del terreno como el CBR o incluso a partir de la clasificación del tipo de suelo existente.

El método de dimensionamiento de pavimentos de concreto PCA 1984 incluye tablas de correlación para el valor CBR y el módulo de reacción K.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 12: *Relación entre el índice de soporte de california (CBR) y módulo de reacción K*



Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

De acuerdo con la gráfica, se obtiene la siguiente ecuación de correlación del valor de CBR y el módulo de reacción K (MPa/m).

$$k = 20.67 \ln CBR + 1.26$$

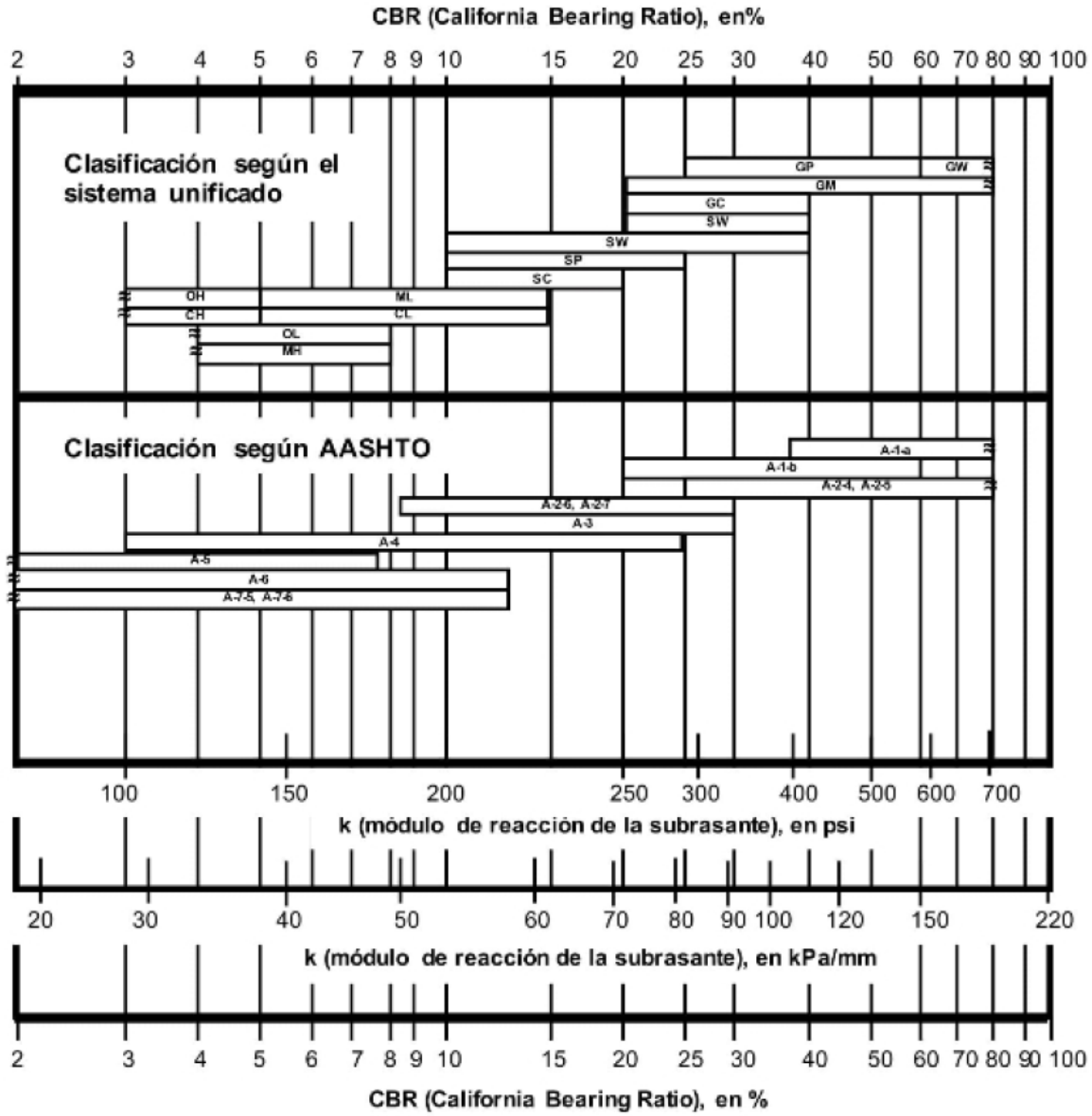
La Portland Cement Association (Asociacion del cemento Portland) también presenta en su reporte PCA 1988 un ábaco que interrelaciona el módulo de reacción K a partir de la clasificación del tipo de suelo existente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 13: *Capacidad de soporte de distintos tipos de suelos*



Reproducido de *"Manual de pavimentos industriales"* por *Instituto Español del cemento y sus aplicaciones 2000*

Para los casos donde el valor de soporte de la explanada no satisface las condiciones del proyecto, se puede proceder de la siguiente manera:

- La primera de ellas es utilizar técnicas de mejora de terrenos más intensas y sofisticadas, a la vez que se usan materiales de coronación en el terraplén de mayor calidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Otra forma de alcanzar explanadas de mayor calidad, si no cumplen con las exigencias del proyecto, será mediante el recrecido (entre 10 y 60 cm) con capas de grava triturada, en intervalos de espesores de 5 cm.

En caso de encontrar nivel freatico, la cota de la subrasante debe quedar al menos 60 cm por encima del nivel mas alto previsible, donde el macizo de apoyo este formado por suelos seleccionados o estabilizados; a 80 cm donde este formado por suelos adecuados; a 100 cm donde sean tolerables; y a 120 cm donde sean marginales o inadecuados. A tal fin, se adoptaran medidas como la elevacion de la cota de la explanada, la colocacion de drenes subterraneos, la interposicion de geotextiles o de una capa drenante, etc, asegurando ademas la evacuacion del agua que se pueda infiltrar a traves de la superficie del pavimento. (Puertos del estado, 2019)

2.5.2.1.3. Plataforma

Generalmente se coloca una subbase para que cumpla las siguientes funciones:

- Dar soporte uniforme y constante para la colocación del concreto.
- Control de la perdida de soporte por erosión debido al bombeo de los finos.
- Controlar las variaciones volumétricas de la subrasante.
- Aumentar el valor de soporte de la fundación.

Dicha capa de subbase puede ejecutarse mediante grava triturada, suelo – cemento o grava mejorada con cemento. Los materiales deben cumplir las especificaciones técnicas correspondientes sobre espesores de compactación, así como métodos y formas de colocación en obra. Las capas que componen el soporte son incorporadas al cálculo como una sola capa compuesta y equivalente.

El valor mínimo de cálculo o diseño exigible a una plataforma sobre la cual se va a construir un pavimento industrial se traduce en un $5 \leq K \leq 7$ o bien $10 < CBR \leq 20$. Plataformas más deformables dan diseños de gran espesor y armado, y explanadas menos deformables suponen o pueden suponer un gran sobrecosto económico de ejecución. (Escámez Sánchez, Experto en diseño y ejecucion de soleras de edificaciones industriales, 2020).

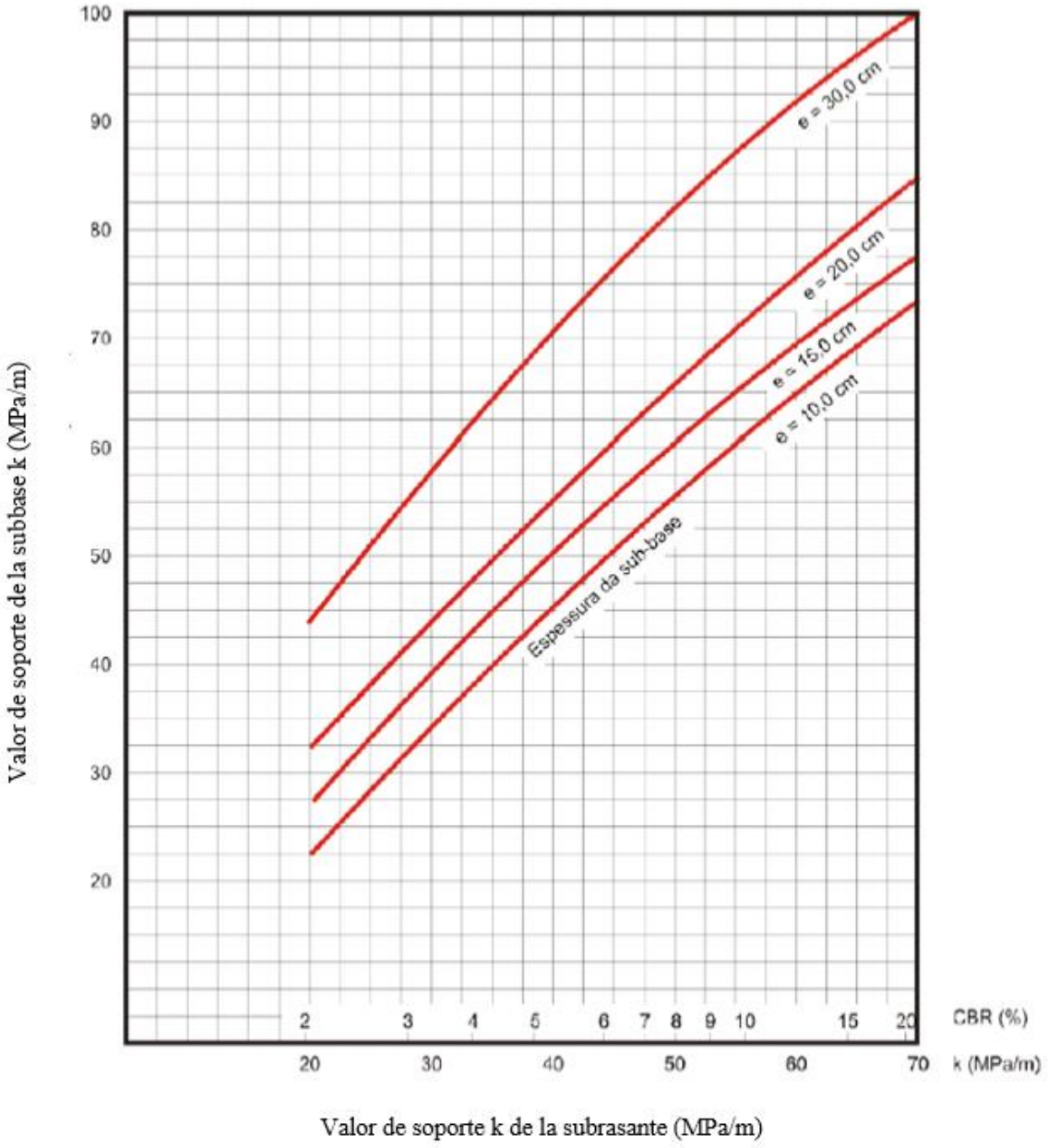
El módulo de reacción K de la capa de apoyo del pavimento en función del material a utilizar apoyado directamente sobre la explanada, también puede ser determinado por ábacos propuestos por la PCA (Portland Cement Association) para diferentes espesores de capa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base granular.*



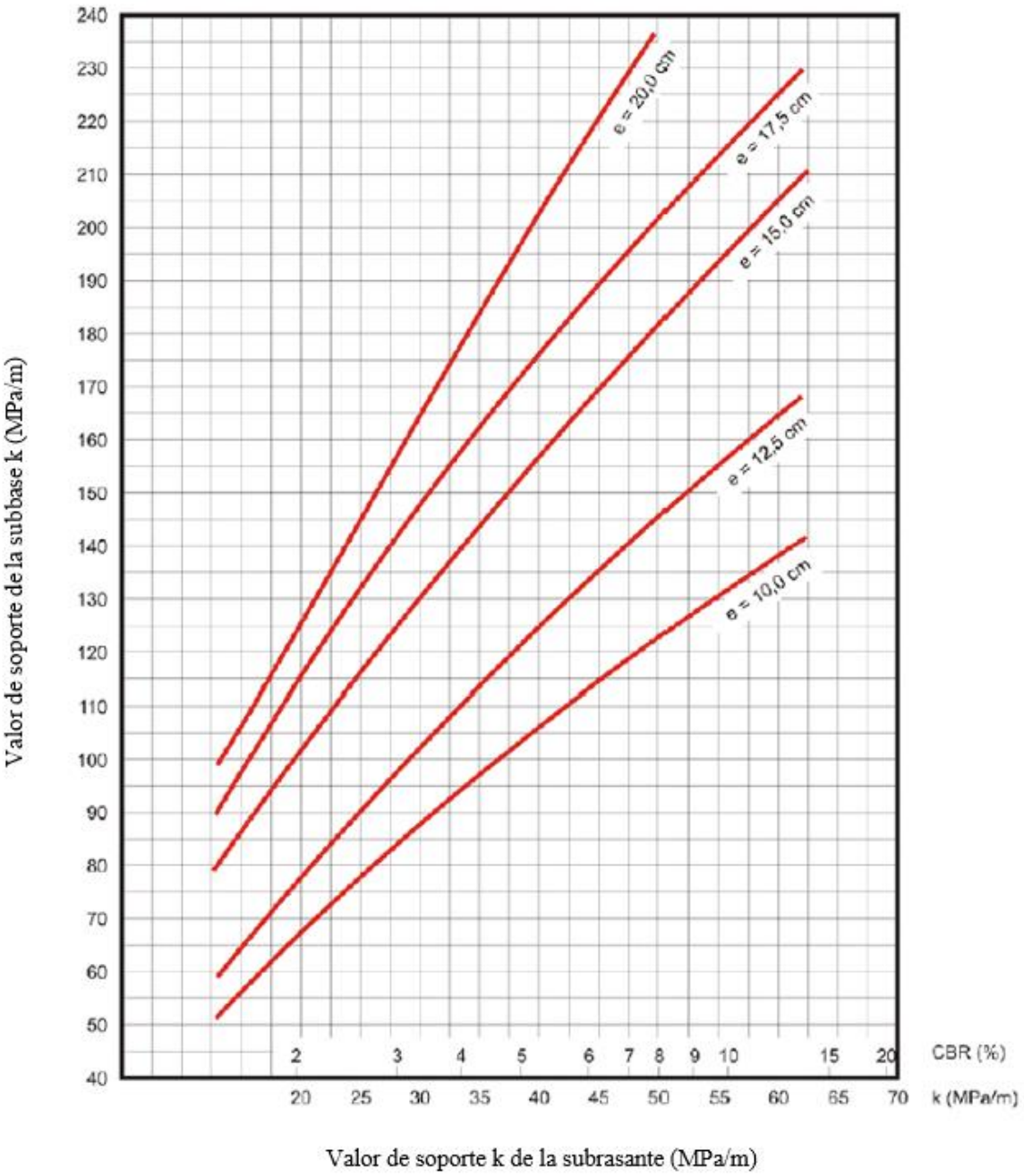
Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 15: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base de suelo-cemento.*



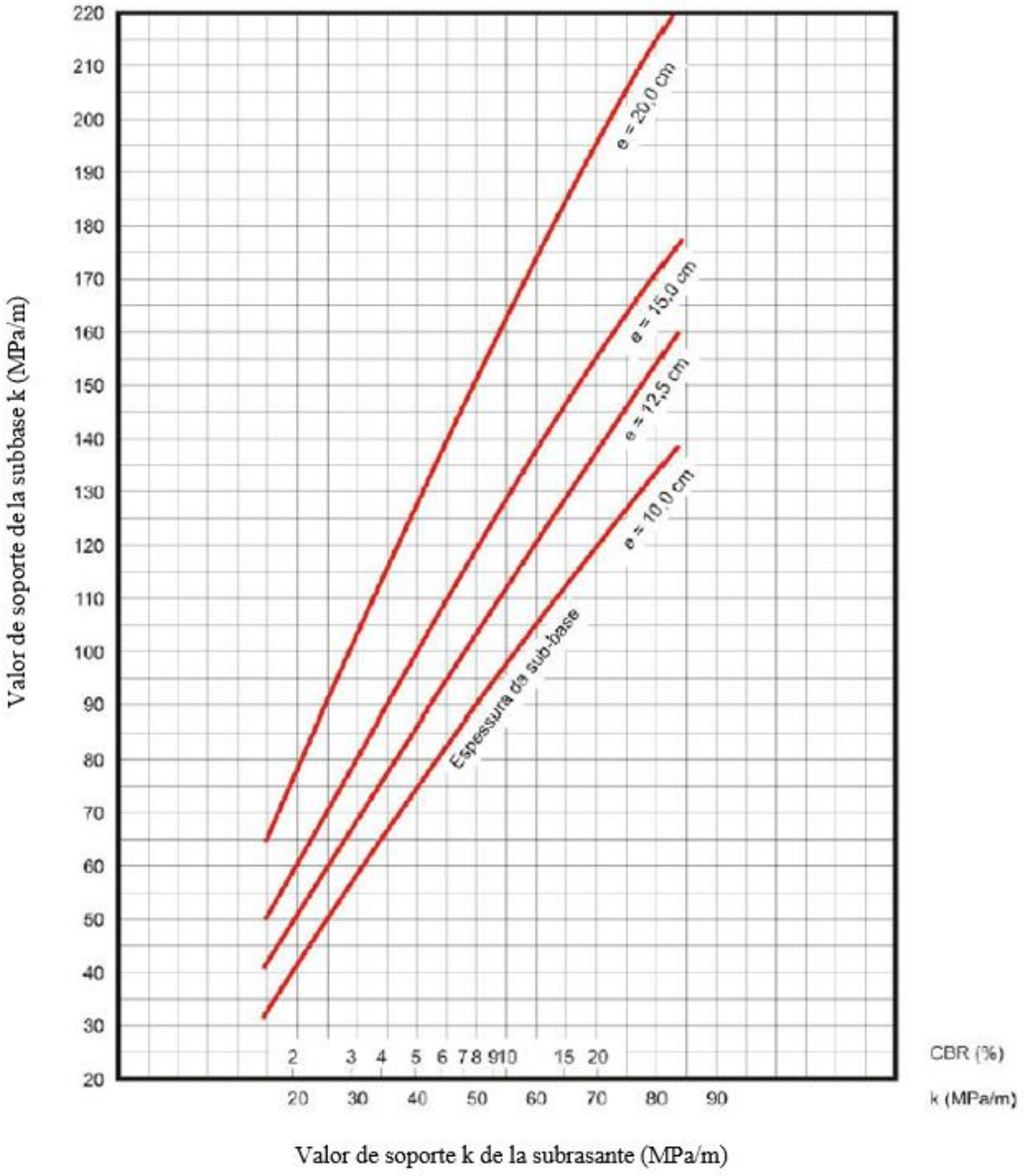
Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 16: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una sub-base de grava mejorada con cemento.*



Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

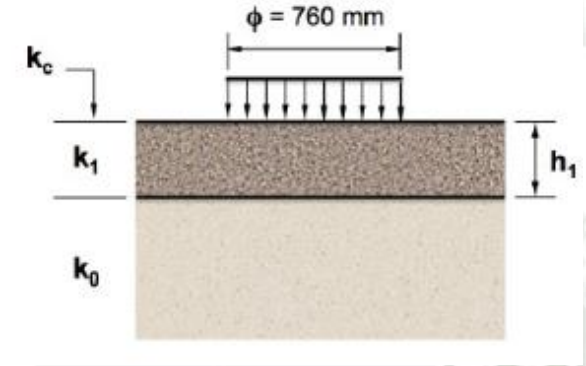
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El procedimiento indicado por el MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú) para estimar el valor del módulo de reacción compuesto del suelo (k_c) en función de los valores de módulos de reacción k de los suelos que componen cada una de las capas y sus espesores, se obtienen a partir de la aplicación de la siguiente ecuación:

- Para el caso de una sola capa (subbase)

Figura 17: *Estimación del módulo de reacción compuesto (k_c) con una sola capa (subbase)*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix 2019*

$$k_c = \left[1 + \left[\frac{h_1}{A}\right]^2 . \left[\frac{k_1}{k_0}\right]^{2/3}\right]^{1/2} . k_0$$

Donde:

A = 15 (pci)

A = 38 (kg/cm3)

A = 380 (MPa/mm)

- Para el caso de dos capas (base + subbase)

$$k_c = \left[1 + \left[\frac{h_2}{A}\right]^2 . \left[\frac{k_2}{k_{c1}}\right]^{2/3}\right]^{1/2} . k_{c1}$$

Donde:

$$k_{c1} = \left[1 + \left[\frac{h_1}{A}\right]^2 . \left[\frac{k_1}{k_0}\right]^{2/3}\right]^{1/2} . k_0$$

A = 15 (pci)

A = 38 (kg/cm3)

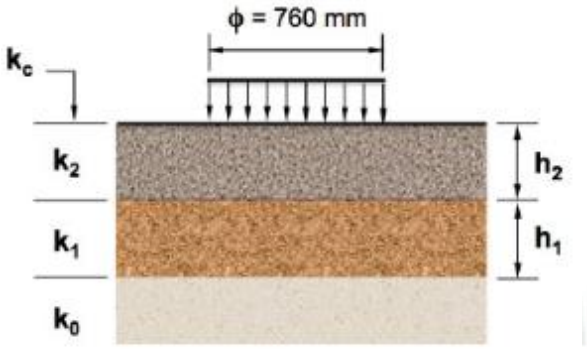
A = 380 (MPa/mm)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 18: *Estimación del módulo de reacción compuesto (k_c) con dos capas (base + subbase)*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

2.5.2.2. Caracterización mecánica del concreto

2.5.2.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es el requisito básico más utilizado en la especificación de un concreto ya que es aceptada de forma universal como una medida de la calidad y durabilidad del concreto. (Instituto Boliviano del cemento y el hormigon, 2018) En el caso de pisos industriales, suele utilizarse típicamente una resistencia a la compresión a los 28 días que varía entre 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 el cual, depende de la carga a la que va a ser sometido. Se determina a través de una probeta cilíndrica de dimensiones normalizadas y condiciones controladas de humedad, llevada hasta la rotura mediante carga incrementada a una velocidad constante siguiendo las normativas de la ASTM C39.

Este parámetro es útil para estimar la resistencia a la flexión media y el módulo de elasticidad mediante relaciones empíricas cuando no se tienen mediciones hechas en laboratorio de dichos parámetros.

2.5.2.2.2. Módulo de rotura

Se define como el esfuerzo máximo en la fibra extrema que se produce cuando una viga se somete a flexión. (Instituto Boliviano del cemento y el hormigon, 2018)

Se puede determinar mediante cualquiera de las siguientes pruebas:

- AASHTO T 97 y ASTM C 78: Resistencia a la flexión del concreto (Usando una probeta prismática, cargada en el tercio medio).

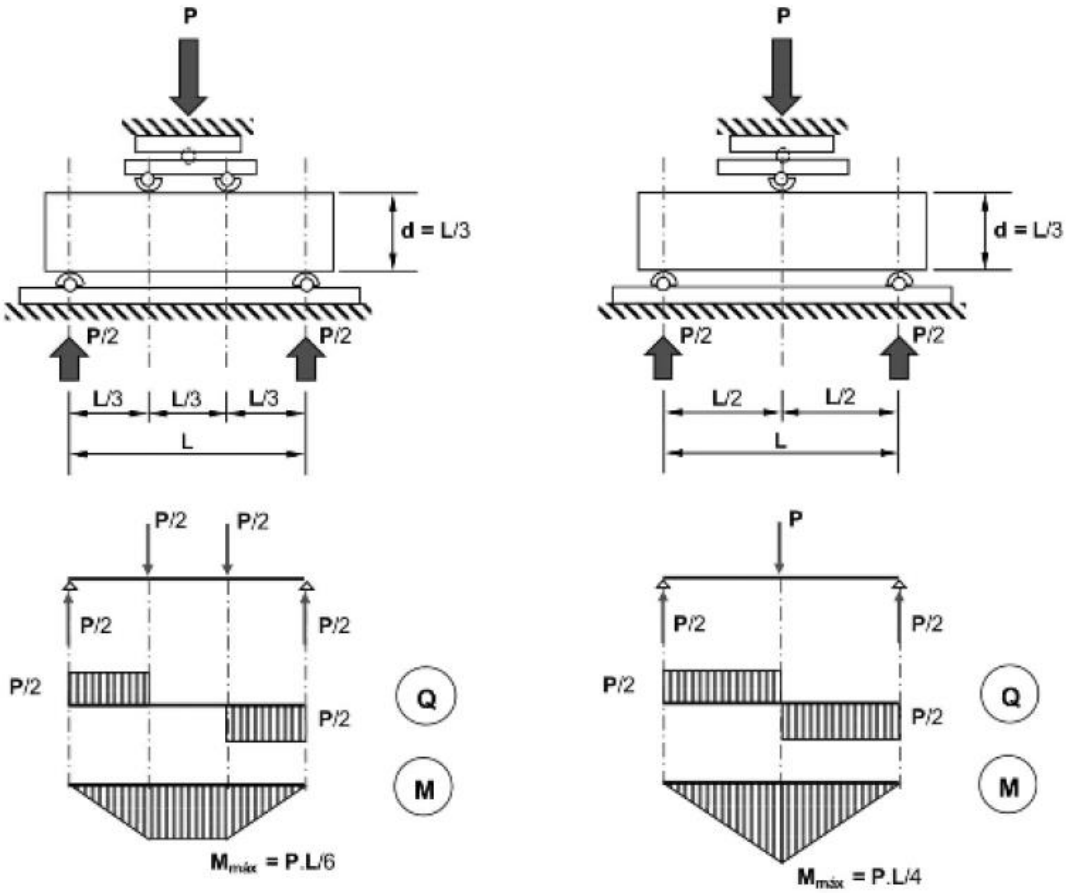
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- AASHTO T 177 y ASTM C 293: Resistencia a la flexión del concreto (Usando una probeta prismática, cargada en punto medio).

En general, se recomienda utilizar el ensayo de resistencia a la flexión del concreto utilizando una probeta prismática cargada en el tercio central, ya que en el mismo queda una zona central con corte nulo donde se produce flexión pura y un área de falla algo mayor, respecto al ensayo de carga en el punto medio. En este último, la rotura se producirá siempre en el punto medio, cuando el momento flector y el esfuerzo cortante alcanzan su máxima magnitud.(Becker & Chaix, 2019)

Figura 19: *Ensayo de flexión*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

Se calcula de la siguiente manera:

$$f_r = \frac{MC}{I}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- f_r: módulo de rotura
- M: momento flector en el instante de rotura $\left(\frac{PL}{6}\right)$ o $\left(\frac{PL}{4}\right)$ dependiendo del método empleado.
- C: distancia desde el eje neutro al punto de interés $\left(\frac{h}{2}\right)$
- I: momento de inercia de la sección transversal de la probeta $\left(\frac{bh^3}{12}\right)$

Reemplazando se tiene que:

- Para el ensayo con cargas a los tercios de la luz

$$f_r = \frac{P_{rotura} L}{bd^2}$$

- Para el ensayo con carga en el punto medio

$$f_r = \frac{1.5 P_{rotura} L}{bd^2}$$

El módulo de rotura a partir del ensayo de compresión simple, también se puede calcular a través de la siguiente correlación de acuerdo con el tipo de agregado utilizado:

- Agregados redondeados

$$f_r = 8\sqrt{f'c}\ (\text{psi})$$

$$f_r = 0.7\sqrt{f'c}\ (\text{kg/cm}^2)$$

- Agregados triturados

$$f_r = 10\sqrt{f'c}\ (\text{psi})$$

$$f_r = 0.8\sqrt{f'c}\ (\text{kg/cm}^2)$$

2.5.2.2.3. Módulo de elasticidad

La relación entre el esfuerzo que experimenta el concreto y su deformación unitaria, que corresponde al rango lineal, se conoce como módulo de elasticidad. Representa la rigidez del material bajo carga aplicada y es un parámetro complejo en el que influyen mucho los parámetros del diseño de mezclas del concreto.

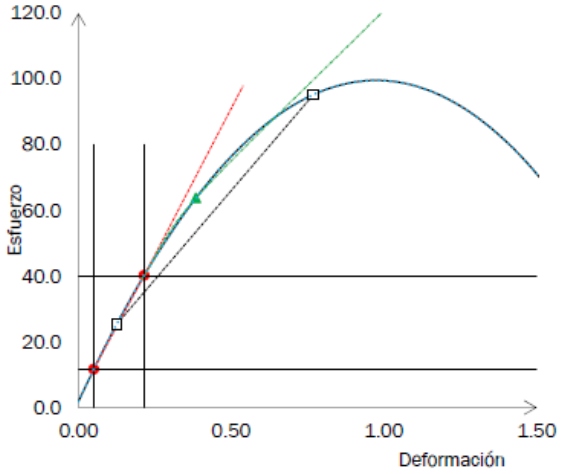
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Puede determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM C469, la cual, para efectos prácticos, considera la deformación por la aplicación del esfuerzo de diseño en la zona de deformación elástica y el subsecuente incremento como flujo plástico (modulo secante). (R. Menéndez, 2021)

Figura 20: *Módulo de elasticidad del concreto*



Reproducido de *"Diseño de Pavimentos Rígidos"* por *R. Menéndez, 2021*

$$E_C = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

El módulo de elasticidad también puede obtenerse a través de correlaciones que vinculan la resistencia a la compresión.

- Para el caso del módulo de elasticidad del concreto diferido para cargas de larga duración (mayor a 24 horas de aplicación) se calcula mediante cualquiera de las siguientes correlaciones:

$$E_C = 57000\sqrt{f'c}\ (\text{psi})$$

$$E_c = 33x\rho_c{}^{1.5}\ x\ \sqrt{f'c}\ (\text{psi})$$

$$E_C = 4730\sqrt{f'c}\ (\text{MPa})$$

Donde:

E_C: Modulo de elasticidad secante

ρ_c : peso unitario

f'c: resistencia a la compresión del concreto a 28 días.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Para el caso del módulo de elasticidad del concreto instantáneo para cargas de corta duración (menor a 24 horas de aplicación) se calcula con la siguiente correlación:

$$E_c = 11000 \text{ x } \sqrt[3]{f'c} \text{ (MPa)}$$

Donde:

f'c: resistencia a la compresión del concreto a 28 días.

2.5.2.2.4. Coeficiente de Poisson del concreto

Se define como el cociente entre la deformación lateral y la deformación axial medida en una prueba uniaxial de concreto.

Para el concreto, el valor estático de la relación de Poisson está entre 0,15 y 0,20, mientras que los valores dinámicos están entre 0,20 y 0,25.

$$\mu = \frac{\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

Donde:

$\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}$: Deformaciones transversales correspondientes a los esfuerzos σ_2 y σ_1

ϵ_2: Deformación longitudinal correspondiente al nivel de esfuerzo σ_2

2.5.2.3. Tipo de cargas actuantes

Los tipos de cargas pueden clasificarse como estáticas y dinámicas.

2.5.2.3.1. Carga estática

Las cargas pueden clasificarse como estáticas cuando son aproximadamente estables en cuanto a intensidad y ubicación. La carga estática puede clasificarse como carga distribuida, carga lineal y carga concentrada.

Carga distribuida: Es aquella que se aplica en grandes áreas y de forma continua o variable en el tiempo. En áreas de almacenamiento por racks se define un área de armado o recepción de mercadería donde se apoyan los pallets y/o cajas directamente en el piso. Por ejemplo, la mercadería embolsada que no necesita una clasificación individualizada sino más bien una identificación por lote, puede almacenarse en grandes áreas sin la necesidad de utilizar sistemas de almacenamientos por racks; también la asignación de áreas específicas para almacenar productos a granel puede ser considerada como una carga distribuida. Las cargas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de almacén son estimadas partiendo de la suposición que cada pallet pesa como máximo 1000 kg en la mayor parte de la logística actual. En el caso de cargas repartidas se estima una máxima colocación de 3 o 4 alturas de pallets sobre el suelo, ya que es muy complicado el manejo de pallets apoyados unos sobre otros. Por lo tanto, es muy común considerar en la fase de proyecto una carga repartida de 3000 a 4000 kg/m^2 para almacenes logísticos. (Escámez Sánchez, 2020)

Carga lineal: Es aquella que se desarrolla sobre una extensa longitud. La construcción de muros divisorios que se apoyan directamente sobre el piso es considerada una carga lineal. Otro caso habitual son las cargas que se apoyan sobre perfiles, y a su vez, estos sobre el piso.

Carga concentrada: Es aquella que se aplica de forma puntual en un punto de aplicación muy pequeño y de forma continua en el tiempo. Las cargas más habituales son los parantes de sistemas de racks. También, en ocasiones, las patas de apoyo de equipos o estabilizadores de las grúas para mantenimiento de la nave industrial genera cargas concentradas. En el caso específico de naves de almacenamiento, suelen utilizarse sistemas de racks cuyas configuraciones habituales son las siguientes:

- **Estanterías convencionales (Back to back):** Las estanterías convencionales son aquellas que se colocan por parejas o en posición “back to back” (espalda con espalda) y son las más comunes. Para el manejo de los pallets en estos estantes se utilizan montacargas retractiles de gran capacidad de elevación del mástil y pasillos de tráfico libre.

- **Estanterías drive-in o paletización compacta:** Las estanterías drive-in son aquellas donde el montacargas retráctil circula por el interior de la estantería. Este tipo de carretilla reduce los volúmenes de almacenaje.

- **Estanterías móviles:** Las estanterías se separan de forma automática desplazándose sobre rieles, formando un pasillo de acceso entre ellas que permiten el paso de una carretilla o montacargas. Una vez depositada o cargada la mercancía, estas se cierran de nuevo, permaneciendo juntas el resto del tiempo, reduciendo el volumen de espacio de almacenamiento.

- **Estanterías dinámicas:** Son estanterías que aprovechan la gravedad para tener un flujo continuo de mercancías. El desplazamiento de la carga se consigue, partiendo de la misma estructura que una estantería tradicional, pero con niveles ligeramente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

inclinados respecto al suelo (entre un 3 y un 4%), y le incorporan unos rodillos sobre los que se desplaza la mercancía. Los pallets entran por la parte más alta y se desplazan por la gravedad hasta el extremo inferior, acumulándose y quedando a disposición del vehículo de recogida.

- **Almacén autoportante:** Las estanterías de los almacenes autoportantes sustituyen la estructura tradicional de columnas y vigas por una estructura de estantes que sostiene la carga y el propio almacén. Son de una gran complejidad de cálculo, ya que son solicitados por los empujes del viento, sismos, cargas de cubierta, y por todos los estados de carga posibles dentro del almacén.

2.5.2.3.2. Carga dinámica

Se crean por el movimiento de los vehículos, que se identifican por el peso sobre cada eje, la cantidad de repeticiones de carga, la superficie de contacto de los neumáticos o la presión de inflado, y la separación entre ruedas y ejes. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2000)

En el caso específico de naves industriales de almacenamiento, son habituales el uso de los siguientes vehículos y maquinarias:

- **Transpaletas:** Se trata de vehículos conducidos, y en ocasiones empujados, por un operador humano a pie. Transporte cargas ligeras, normalmente menos de 600 kg por rueda. Los almacenes con gran número de transpaletas necesitan capas de rodadura muy resistentes y la colocación de juntas especiales (juntas blindadas y juntas anti-impactos).
- **Carretillas elevadoras:** Estos vehículos autopropulsados, cuyas horquillas se deslizan a lo largo de un mástil vertical situado en la parte delantera, son útiles para desplazar mercancías por fábricas y almacenes. Se distinguen por las cargas que transportan los ejes delantero y trasero, siendo el eje delantero el que arrastra dos tercios de la carga total. Estos vehículos suelen llevar ruedas neumáticas, que tienen un impacto mucho menor en el pavimento que las ruedas macizas compuestas de plástico rígido o caucho. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2000)

- **Carretillas retractiles:** Este tipo específico de carretilla elevadora tiene la capacidad de extenderse y retraerse horizontalmente, lo que permite al conjunto del mástil y las horquillas moverse en espacios más pequeños, de unos 2,5 metros de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ancho. También suele estar equipada con pequeñas ruedas macizas de poliuretano. Este equipo suele tener una capacidad de carga inferior a 3 toneladas y puede alcanzar una altura máxima de carga de unos 9 metros. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2000)

Dado que el concreto sometido a cargas variables sufre a largo plazo un deterioro por fatiga y es un material frágil de baja resistencia a tracción, el diseño básico de pavimentos industriales consiste en dimensionar los espesores necesarios que permitan mantener las tensiones de tracción por flexión en los niveles adecuados, por lo que es necesario conocer la magnitud y frecuencia de las cargas previstas.

En el caso de pavimentos rígidos, existen diversos estudios que establecen para diferentes tensiones de trabajo la cantidad de repeticiones necesarias para alcanzar la falla según diferentes criterios. Uno de los más utilizados en pavimentos industriales es el criterio de la PCA (Portland Cement Association) basado en estudios realizados por distintos investigadores (Fordyce 1969, Kesler 1970, Ballinger 1971 y Klaiber 1979) que establece la cantidad de repeticiones admisibles.

En la figura 21 se observa que se establecen básicamente tres zonas: una con la relación de tensiones de trabajo respecto de la rotura entre 1 y 0.55, otra entre 0.55 a 0.45 y la tercera por debajo de 0.45 donde teóricamente no se produce falla por fatiga.

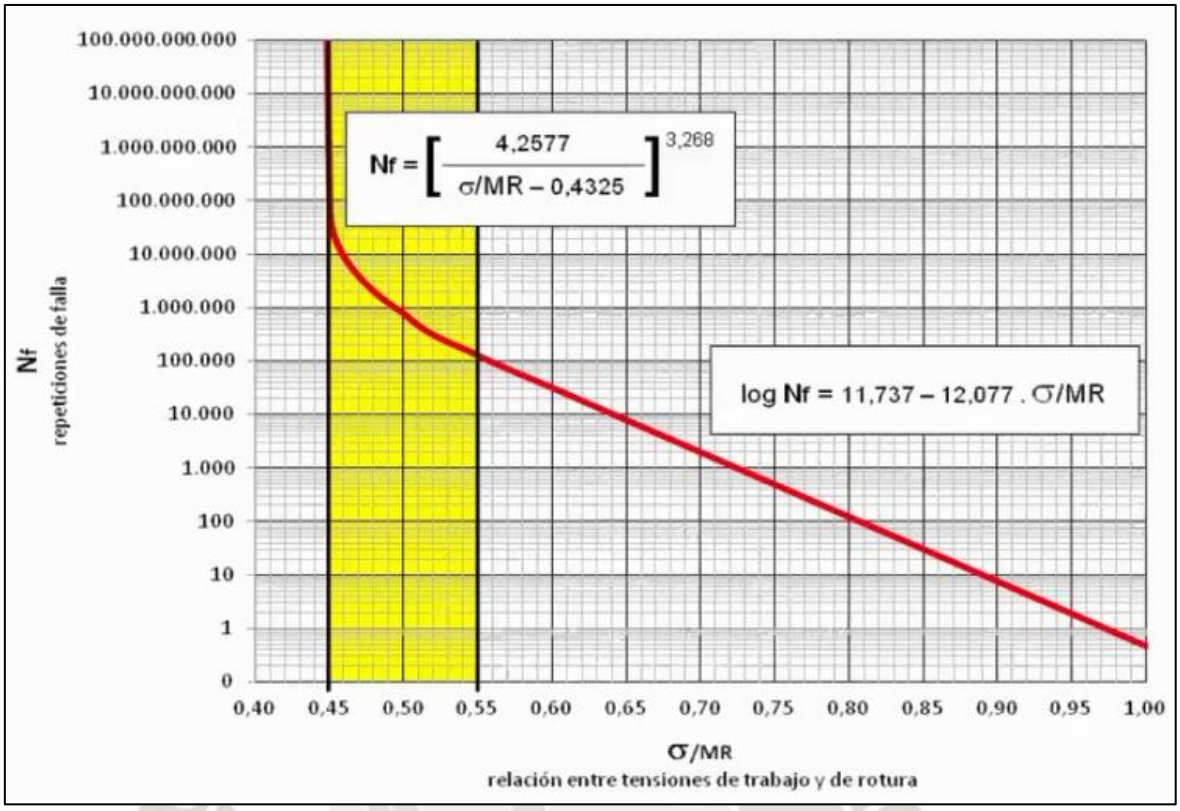
Cuando se desconoce la frecuencia de paso de carga sobre una sección determinada, es una práctica común diseñar un espesor de losa de concreto, de modo tal, que se mantenga una relación de tensiones $\left(\frac{\sigma}{MR}\right)$ por debajo de 0.45, es decir, la tensión máxima de trabajo prevista no debe exceder el 45% del módulo de rotura especificado para el concreto. (Becker & Chaix, 2019)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 21: *Influencia de la relación de tensiones sobre la cantidad de repeticiones necesarias para producir falla por fatiga del concreto*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

2.5.2.4. Ubicación de cargas

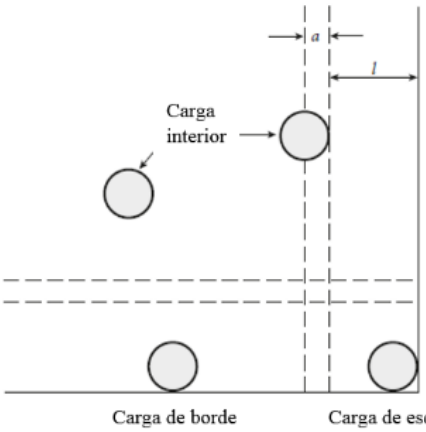
En una losa de concreto, ocurren tres situaciones distintas para la carga aplicada de acuerdo con la ubicación de la aplicación y están definidos por el concepto de radio de rigidez relativa, el cual es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez del soporte del pavimento y la rigidez de la losa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

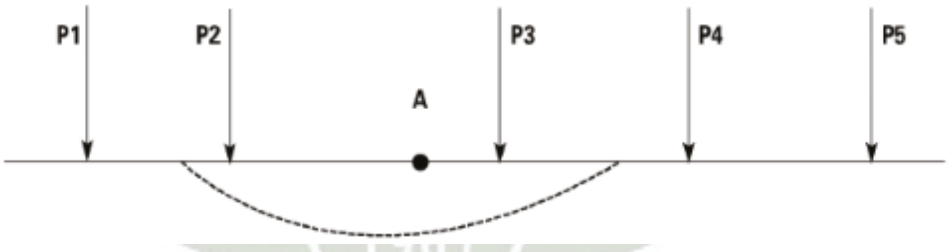
Figura 22: *Ubicación de cargas de acuerdo al radio de rigidez relativa*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

El concepto de rigidez relativa se asocia a la carga contribuyente situada a una determinada distancia del punto de interés, la cual produce un esfuerzo que está en función directa de su posición relativa.

Figura 23: *Influencia de la posición relativa de acuerdo con el radio de rigidez relativa*



Reproducido de *"Nuevos criterios para pavimentos industriales de concreto armado"* por *Instituto brasilero de mallas electrosoldadas, 2015*

En la figura 23, se representa un círculo de influencia donde el centro es el punto A y dentro del cual cualquier carga produce un incremento en el esfuerzo. El diámetro de ese círculo es función del radio de rigidez relativa, que es determinado a través de la siguiente expresión:

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

Donde:

- l: radio de rigidez relativa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

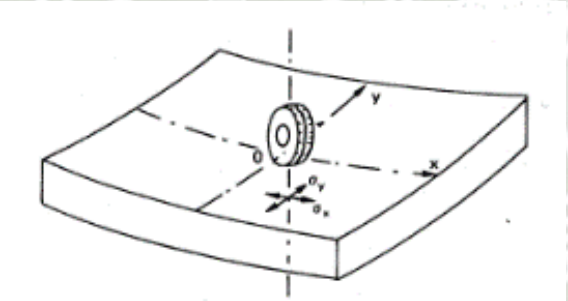
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- E: módulo de elasticidad del concreto
- h: espesor de la losa
- μ: coeficiente de Poisson del concreto
- k: módulo de reacción del suelo de apoyo.

2.5.2.4.1. Carga Interior

Se considera que la carga esta aplicada en el interior de la losa cuando se produce a una distancia mayor que la suma del radio de rigidez relativa y el radio equivalente del área de contacto de la carga (a + l) desde el borde de la losa, entonces la tensión critica en el concreto se producirá en la fibra inferior de la losa y debajo del área cargada.

Figura 24: *Posición de rueda en el interior de la losa*

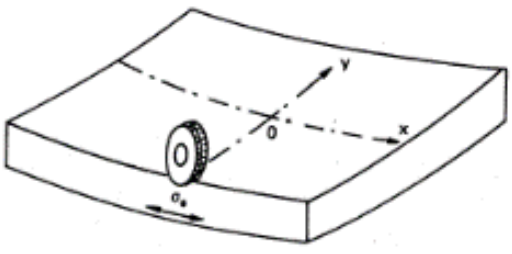


Reproducido de *"Dimensionamiento y diseño de juntas en los pavimentos industriales de hormigón"* por *Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2016*

2.5.2.4.2. Carga de borde

Se considera que la carga esta aplicada en el borde cuando se produce a una distancia igual o menor al radio de rigidez relativa desde el perímetro de la losa, la tensión de tracción es máxima en la fibra inferior de la losa y directamente debajo de la carga.

Figura 25: *Posición de rueda en el borde de la losa*



Reproducido de *"Dimensionamiento y diseño de juntas en los pavimentos industriales de hormigón"* por *Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2016*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

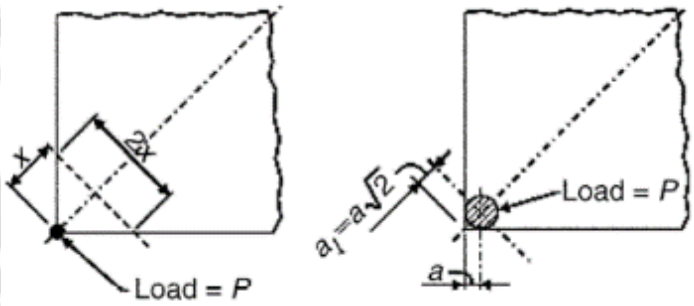
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.2.4.3. Carga de esquina

Se considera que la carga esta aplicada en la esquina cuando el centro de aplicación de la carga se ubica a una distancia x de dos bordes o juntas que forman un ángulo recto, la cual se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$x = 2\left(a\sqrt{2}L\right)^{0.5}$$

Figura 26: *Posición geométrica de la rueda en la esquina de la losa*



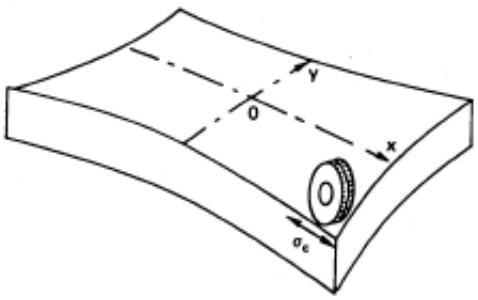
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Donde:

- a: radio equivalente del área de contacto de la carga.
- L: radio de rigidez relativa.

En esta condición de carga, la tensión crítica en el concreto es el esfuerzo de tracción que se produce en la fibra superior de la losa.

Figura 27: *Posición de rueda en la esquina de la losa*



Reproducido de *"Dimensionamiento y diseño de juntas en los pavimentos industriales de hormigón"* por *Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2016*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.3 Capacidad de momento

2.5.3.1. Concreto sin refuerzo

La capacidad resistente a momento del concreto simple por unidad de ancho de losa viene dada por:

$$M_n = \frac{f_{ctd,fl}}{\gamma_m}\left(\frac{h^2}{6}\right)$$

Donde:

- $f_{ctd,fl}$ = Resistencia a la tracción por flexión del concreto de diseño

Cuando los límites de diseño requeridos son el inicio de la fisuración, la capacidad de momento debe derivarse sobre la base del concreto sin refuerzo, ya que las fibras no aumentan la resistencia a la tracción por flexión del concreto de diseño.

2.5.3.2. Concreto reforzado con fibras de acero

Las fibras metálicas aportan en la capacidad de carga a través de una mejora de un incremento del momento ultimo y/o de la durabilidad de la losa de piso a través del mayor desempeño a fatiga. Para que esta mejora pueda ser aprovechada en el diseño, es fundamental utilizar las fibras adecuadas en la dosis necesaria determinándose en pruebas de laboratorio los parámetros característicos de las mezclas de concreto fibroreforzado. (Becker & Chaix, 2019).

Los posibles ensayos para utilizar en la caracterización de las mezclas de concreto fibroreforzado, son los siguientes:

- EN 14651 “Método de ensayo para fibra metálica. Medición de la resistencia a la tracción por flexión”
- ASTM C1609-07 “Método de prueba estándar para desempeño a la flexión del concreto reforzado con fibra (Usando una viga con carga a los tercios)”

El ensayo europeo mide la evolución de la tensión de la flexión a través del momento que se genera por una carga aplicada en la mitad de la luz sobre una viga de 15 cm. de lado x 50 cm. de longitud y se va midiendo la apertura de un corte de 2.5 cm de profundidad realizada en la cara inferior de la viga. Los parámetros característicos en este ensayo son la resistencia a la rotura donde hay una manifestación evidente de fisuras a la carga F_L y las cargas F_1, F_2,

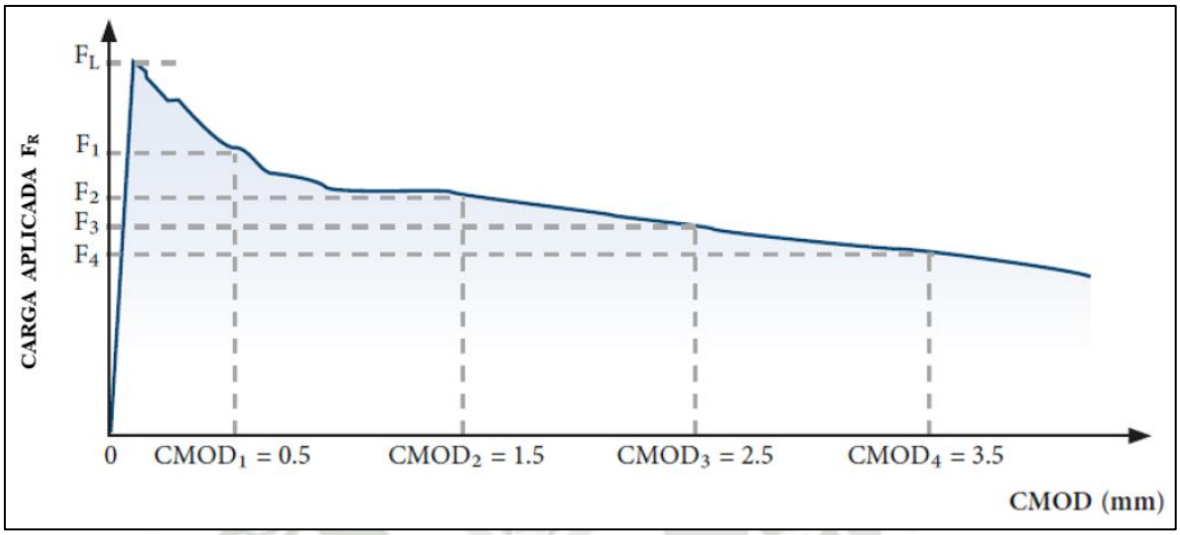
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

F_3 y F_4 que se manifiestan cuando las aperturas del corte en la viga de ensayo (CMOD) son de 0.5 mm, 1.5 mm, 2.5 mm y 3.5 mm respectivamente.

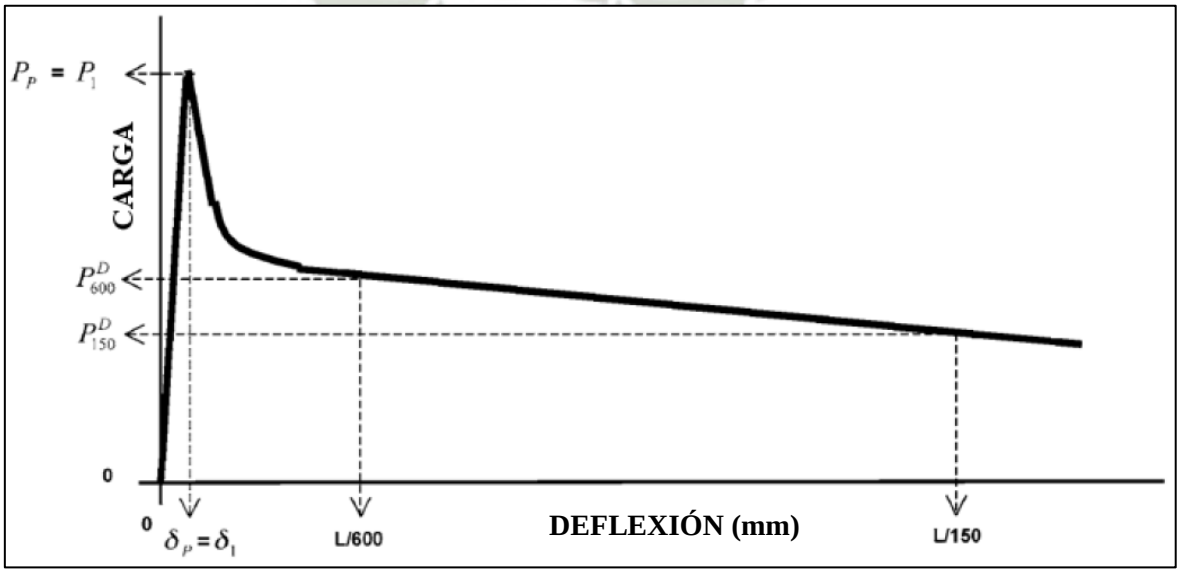
Figura 28: *Medida de la resistencia al esfuerzo de tensión por flexión*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

En el método americano, la carga es aplicada en forma repartida a los tercios de la luz y la deformación se mide como la flecha central en la viga sin corte. Se mide la deflexión a 0.47 mm, 1.32 mm, 2.17 mm y 3.02 mm (equivalente a CMOD de 0.5, 1.5, 2.5 y 3.5 mm) y se registra la carga respectivamente.

Figura 29: *Influencia del tipo y dosis de fibra sobre el comportamiento post-pico del concreto*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El cálculo del valor de la resistencia a flexotracción (f_{ct}, fl) y los valores de resistencia residual a flexotracción correspondientes (f_{R1} y f_{R3}) se realiza asumiendo una distribución elástico – lineal de tensiones en la sección de rotura. Esto quiere decir que cuanto mayor es el área de la gráfica, mayor es la carga que soporta una vez producida la fisura.

De acuerdo con el código modelo para estructuras de concreto 2010 (Model code for concrete structures, 2010), para que las fibras sean consideradas de uso estructural, debe cumplirse que:

$$F_1\ (f_{R1,k}) \geq 40\%\ F_L$$

$$F_3\ (f_{R3,k}) \geq 20\%\ F_L$$

El método de cálculo de la capacidad de momento se explica en el documento RILEM TC 162-TDF (2002). Se consideran las resistencias axiales medias para cada uno de los dos anchos de fisura. Estos son σ_{r1} y σ_{r4} correspondiente a CMOD de 0.5 mm y 3.5 mm (o deflexiones de 0.47 y 3.02 mm). Las profundidades de las grietas se toman como 0,66 y 0,90 de la profundidad de la viga. Se obtienen las siguientes formulas:

$$\sigma_{r1} = 0.45 f_{R1}$$

$$\sigma_{r4} = 0.37 f_{R4}$$

Donde:

- f_{R1}= resistencia a la flexión residual en CMOD 0.5 mm
- f_{R4}= resistencia a la flexión residual en CMOD 3.5 mm

Utilizando el factor de seguridad parcial para el material γ_m, la capacidad de momento positivo último de una sección de concreto reforzado con fibra se puede calcular usando la fórmula simplificada a continuación:

$$M_p = \frac{h^2}{\gamma_m} x(0.29\ \sigma_{r4} + 0.16\ \sigma_{r1})$$

2.5.4 Métodos de dimensionamiento

Los métodos de diseño presentados a continuación son aplicables a losas totalmente apoyadas en el suelo y se supone que no hay acceso por debajo de la losa, ya sea al finalizar o en el futuro. por lo que la losa permanece totalmente apoyada. (Concrete Society, 2016)

El dimensionamiento de un pavimento industrial interior se puede abordar de acuerdo a dos métodos diferentes: Métodos analíticos y empíricos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La guía de diseño ACI 360R-10 del instituto americano del concreto (American Concrete Institute) presenta información sobre diseño de losas apoyadas en el terreno aplicando la teoría de Westergaard, así como métodos que provienen de organizaciones externas, tales como: PCA (Portland Cement Association), WRI (Wire Reinforcement Institute) y COE (United States Army Corps of Engineers) cuyos métodos de dimensionamiento trabajan esencialmente con concreto simple, analizando las cargas que van a actuar sobre el pavimento de tal manera que la sección diseñada sea lo suficientemente capaz de resistir las cargas de operación previstas evitando asentamientos excesivos debido a la consolidación de la subrasante, sin necesidad de que se presente alguna fisura superficial en los pasadizos sin carga, mientras que el enfoque de dimensionamiento europeo se basa en los trabajos desarrollados por Lösberg y Meyerhof, los cuales se presentan en el reporte técnico N°34 (TR-34) "Guía de diseño y construcción de pisos industriales de concreto apoyados en el terreno" publicado por la sociedad del concreto (Concrete Society), cuyo método de dimensionamiento considera un comportamiento elasto-plástico de los materiales a la rotura.

2.5.4.1. Métodos Analíticos

Los métodos analíticos de dimensionamiento requieren la realización directa de cálculos considerando factores básicos de dimensionamiento (capacidad de soporte, cargas y características de los materiales) con el objetivo de determinar tensiones y deformaciones producidas por las solicitaciones que se tengan en cuenta, comparando estos resultados con los valores admisibles del material.

Los métodos analíticos pueden clasificarse según las ecuaciones constitutivas de los materiales: modelos mecánicos elásticos y elasto-plásticos.

El desarrollo practico de los métodos analíticos comprende las siguientes etapas:

a) Evaluación de las solicitaciones de carga (estática y dinámica).

b) Modelación de la sección estructural del pavimento mediante la hipótesis de Westergaard.

c) Selección de los materiales a emplear en las capas subyacentes de la losa de concreto y estimación de los espesores necesarios.

d) Determinar las tensiones y deformaciones máximas que se pueden producir.

e) Comparar los resultados obtenidos con los admisibles para cada material.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f) Si el valor obtenido es mayor al admisible, es necesario efectuar un nuevo cálculo modificando los espesores o las características resistentes de los materiales de cada capa, de tal manera que se alcance un deterioro admisible. (Puertos del estado, 2019)

2.5.4.1.1. Teoría de Westergaard

En el año 1927, el Dr. Harold M. Westergaard publico las primeras expresiones que permitieron estimar las tensiones y deformaciones generadas por cargas de rueda sobre la losa de un pavimento de concreto. Estas expresiones, contribuyeron en la creación de las bases teóricas de dimensionamiento de losas apoyadas en un medio elástico, en el que se asume que el concreto estará sometido a cargas, solamente en la región elástica del material. Cualquier grieta que ocurra es considerada como una falla en la losa.

La teoría desarrollada por Westergaard y luego modificada por Packard permite estimar las máximas tensiones y deformaciones producidas por una carga "P" en un área de contacto circular con radio "a", para cargas posicionadas en el pavimento, asumiendo que el concreto se encuentra totalmente apoyado sobre una fundación elástica con una rigidez igual al módulo de reacción de la subrasante o la subbase, siendo la constante el coeficiente de balasto K. De acuerdo con esta teoría, las tensiones máximas se producen con la carga en el borde libre y las mayores deformaciones con la carga en la esquina. (Becker & Chaix, 2019). La hipótesis de Westergaard, aplicada en pavimentos de concreto, asume lo siguiente:

- El espesor de la losa es uniforme y se comporta como un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y continuo, caracterizado mecánicamente por su módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson.
- La losa está en equilibrio bajo la acción de las cargas de tráfico, su propio peso, las reacciones de las losas contiguas y la del apoyo.
- La reacción del apoyo se considera proporcional en cada punto, al desplazamiento vertical del mismo, con una constante de proporcionalidad denominada módulo de reacción o de balasto.

Este método es de aplicación directa. Cada una de las fórmulas define una condición del pavimento y permite determinar con facilidad las tensiones provocadas por las cargas aplicadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La siguiente expresión basada en la teoría de Westergaard aplicada a pavimentos de concreto reforzados con fibras metálicas considera que la tensión admisible del concreto es igual a la resistencia a la flexión equivalente del material compuesto:

$$f_b = \frac{R_3}{100} x f_r$$

Donde:

- f_b: esfuerzo de tensión a flexión admisible, MPa
- f_r: módulo de ruptura del concreto, MPa
- $R_{e,3}$: factor de esfuerzo residual, %

Las ecuaciones desarrolladas por Westergaard y modificadas por Packard pueden ser utilizadas para determinar el esfuerzo máximo producido por una carga puntual o dinámica ocurrida en una región interna, borde o esquina de la losa, según sea el caso.

Estas fórmulas solo son válidas en los casos donde el radio del círculo equivalente a la superficie de apoyo de la carga puntual sea menor al radio de rigidez relativa y además menor a 20 cm. Si no se cumple esta condición, se debe utilizar otros métodos de cálculo apropiados, ya que la carga deja de considerarse puntual y pasa a ser repartida, o de naturaleza similar.

a) Para una condición de carga en el interior de la losa del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{0.275(1+\mu)}{h^2} P \log\left(\frac{0.36 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

b) Para una condición de carga en el borde de la losa del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = 0.529(1+0.54\mu)\frac{P}{h^2}\log\left(\frac{0.20 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

c) Para una condición de carga sobre la esquina de la losa del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right]$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde, para todos los casos:

- σ_{max}: máxima tensión de flexión, en MPa
- P: carga puntual (N)
- E_c: módulo de elasticidad del concreto, en MPa
- k: módulo de reacción de la subrasante, en N/mm^3.
- μ: relación de Poisson del concreto
- h: espesor de la losa de concreto, en mm.
- l: radio de rigidez relativa, en mm.
- ρ: presión de contacto entre la rueda y el piso, en MPa
- $a = \sqrt{\frac{Area}{\pi}}$: radio del círculo equivalente a la superficie de apoyo de la carga puntual, en mm.
- $a = \sqrt{\frac{P}{\pi.\rho}}$: radio del área de contacto de la rueda de la carga dinámica, en mm.

Finalmente, para la tensión de flexión máxima obtenida por carga dinámica, el esfuerzo máximo obtenido puede ser adecuado al número de pasos a través de las juntas y a la velocidad de la carga dinámica aplicando coeficientes de ponderación sobre esta tensión. Estos coeficientes, en función del tráfico y la velocidad son:

- Coeficiente de ponderación para el tráfico:

$$\log\left(10 + \frac{\text{N°de pasos a traves de la junta por dia}}{16}\right)$$

- Coeficiente de ponderación dinámica:

$$1 + \frac{0.3 \text{ x } (\text{velocidad})^2}{\text{velocidad}^2 + 200}$$

2.5.4.1.2. Método "Yield line theory"

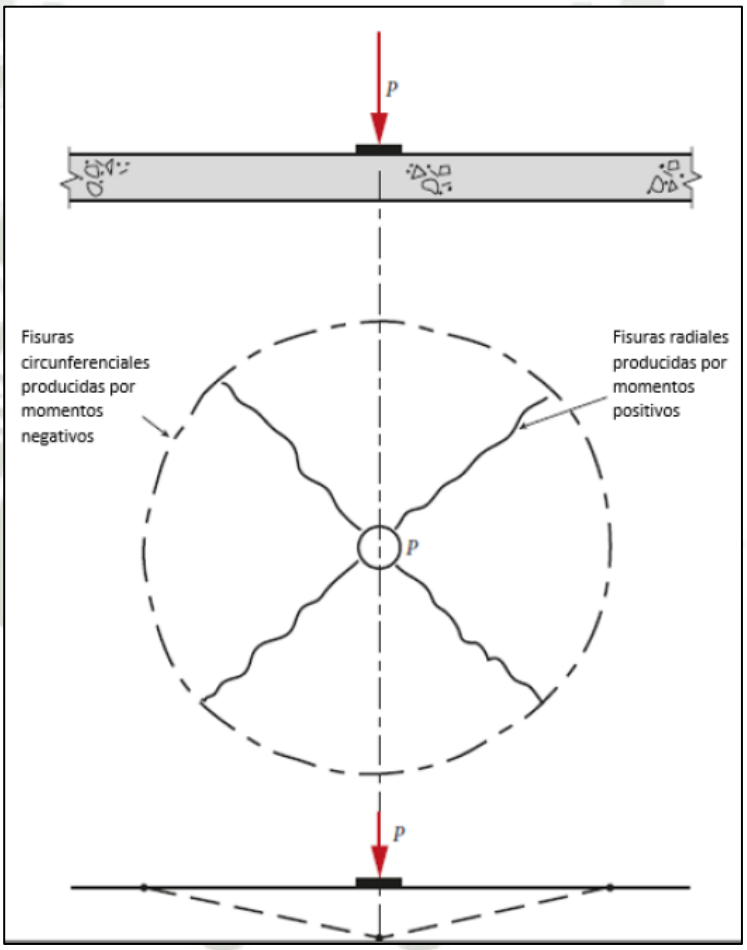
En 1962, Meyerhof utilizó un análisis de resistencia última de las losas basado en el análisis plástico (teoría de la línea de fluencia) y obtuvo fórmulas de diseño para cargas aplicadas en el interior, borde y esquina para carga en un solo punto, también consideró combinaciones de dos y cuatro cargas para cada ubicación. Este método originalmente utilizado en losas convencionales se ha aplicado a losas apoyadas sobre el terreno tanto para fundaciones como para pavimentos industriales y considera que la carga va incrementándose gradualmente produciendo una deformación que desarrolla tracción en la cara inferior de la losa, pero

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

simultáneamente, alejándose una cierta distancia, la tracción se desarrolla en la cara superior. Suponiendo que el concreto, falla en esas zonas traccionadas, el método asume que la losa se fisura en forma de "circunferencia" que se plastifica y trabaja como rotulas. (Concrete Society, 2016). La tensión residual mínima Re_3 debe ser superior al 30%, ya que la formación de rotulas plásticas depende de la tenacidad. (American Concrete Institute, 2010)

Figura 30: *Falla producida por una carga puntual en el método "Yield line Theory"*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

De acuerdo con Meyerhof la capacidad de carga de una losa de piso se obtiene para dos relaciones: $\frac{a}{l} = 0$ y $\frac{a}{l} \geq 0.2$. En todos los casos, para valores de $\frac{a}{l}$ comprendidos entre 0 y 0.2 se debe obtener valores de P_u a través de interpolación lineal, donde:

- a: radio equivalente del área de contacto de la carga.
- l: radio de rigidez relativa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Carga en un solo punto: La capacidad de carga se obtiene a través de las siguientes expresiones:

a) Para carga en el interior de la losa

Cuando $\frac{a}{l} = 0$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = 2\pi(M_p + M_n)$$

Y cuando $\frac{a}{l} \geq 0.2$, usar la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{4\pi(M_p + M_n)}{1 - \left(\frac{a}{3l}\right)}$$

b) Para carga en el borde

Cuando $\frac{a}{l} = 0$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{\pi(M_p + M_n)}{2} + 2M_n$$

Y cuando $\frac{a}{l} \geq 0.2$, usar la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{\pi(M_p + M_n) + 4M_n}{1 - \frac{2a}{3l}}$$

c) Para carga en la esquina

Cuando $\frac{a}{l} = 0$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = 2M_n$$

Y cuando $\frac{a}{l} \geq 0.2$, usar la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{4M_n}{1 - \frac{a}{l}}$$

Donde:

- M_n = momento de resistencia negativo de la losa.
- M_p = Momento resistente último positivo de la losa.

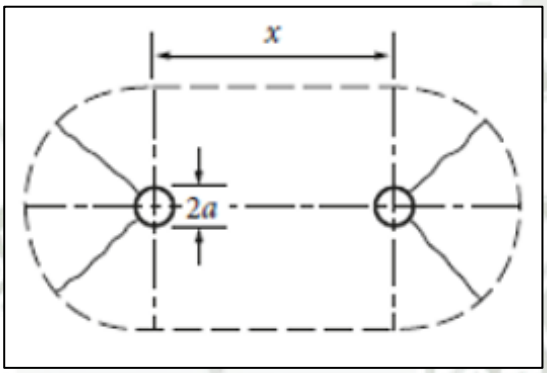
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Carga en dos puntos: Cuando la distancia entre centros de dos puntos de carga es menor al doble del espesor de la losa, se considera que actúan conjuntamente como una sola carga en un área de contacto que es equivalente a las cargas individuales expresadas como círculos más el área entre ellas y se analiza como carga en un solo punto. Esto se aplica, por ejemplo, a los montantes de estanterías espalda con espalda que normalmente tienen una separación de 250 a 350 mm.

Figura 31: *Carga en dos puntos*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

De lo contrario, el comportamiento combinado debe determinarse a partir de las siguientes ecuaciones:

a) Para carga en el interior de la losa

Cuando $\frac{a}{l} = 0$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = \left(2\pi + \left(\frac{1.8x}{l}\right)\right) * (M_p + M_n)$$

Y cuando $\frac{a}{l} \geq 0.2$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8x}{l - \frac{a}{2}}\right](M_p + M_n)$$

Donde:

- M_n = momento de resistencia negativo de la losa.
- M_p = Momento resistente último positivo de la losa.
- x: distancia entre aplicación de cargas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

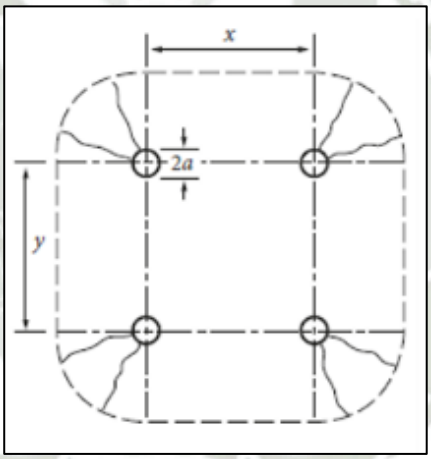
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este caso, Meyerhof solo prevé expresiones para carga en el interior de la losa. Meyerhof no proporcionó ecuaciones para cargas puntuales en dos puntos ubicados en el borde. Cuando se encuentran cargas en dos puntos sobre el borde y cuando no es apropiado utilizar el enfoque de carga en un solo punto, la carga interna se reduce por la relación entre la carga de borde y la carga interna para una carga puntual única.

Carga en cuatro puntos: Para un grupo de cargas puntuales en cuatro puntos con separación entre líneas centrales de "x" e "y", la carga de falla total viene dada por el valor mínimo de los siguientes casos:

a) La carga interna producida en cuatro puntos
b) La suma de las cargas de falla en un solo punto.
c) La suma de las cargas de falla concentradas en dos puntos.

Figura 32: *Carga en cuatro puntos*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

Las expresiones propuestas por Meyerhof son:

Cuando $\frac{a}{l} = 0$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = \left[2\pi + \left(\frac{1.8(x+y)}{l}\right)\right] * \left[M_p + M_n\right]$$

Y cuando $\frac{a}{l} \geq 0.2$, se usa la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8x}{l - \frac{a}{2}} * (M_p + M_n)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- M_n = momento de resistencia negativo de la losa.
- M_p = Momento resistente último positivo de la losa.
- x: distancia longitudinal entre aplicación de cargas.
- y: distancia transversal entre aplicación de cargas

2.5.4.1.3. Método de Hetenyi

Carga lineal: Se adopta el análisis elástico basado en el trabajo de Hetenyi. Este análisis utiliza un factor de seguridad global de 1,5 a las propiedades del material por lo que no es necesario aplicar un factor adicional. Las ecuaciones para determinar momentos en losas apoyadas en el suelo incorporan el término λ donde:

$$\lambda = \left(\frac{3k}{E_{cm}h^3}\right)^{0.25}$$

Donde:

- k: módulo de reacción del suelo de apoyo (N/mm^3)
- E_{cm}: módulo de elasticidad del concreto (N/mm^2)

El factor λ se denomina como “característica” del sistema y por su dimensión el término $\frac{1}{\lambda}$ se denomina "longitud característica".

La capacidad de carga de trabajo de la losa bajo la acción de una carga lineal por unidad de longitud se determina de la siguiente manera:

$$P_{lin} = 4\lambda M_n$$

Esta ecuación es aplicable a cargas lineales alejadas de juntas o bordes de losas. Cuando una línea de carga se encuentra adyacente a un borde libre, la capacidad es $3\lambda M_n$ incrementado a $4\lambda M_n$ a través de una distancia de $\frac{3}{\lambda}$. A una distancia de $\frac{1}{\lambda}$ con una transferencia de junta mínima del 15% también se incrementa el valor a $4\lambda M_n$.

Como éste se basa en una distribución elástica del momento de flexión, debe tomarse como momento de fisuración el momento negativo obtenido para concreto sin refuerzo. No se debe utilizar el momento residual para concreto reforzado con fibras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

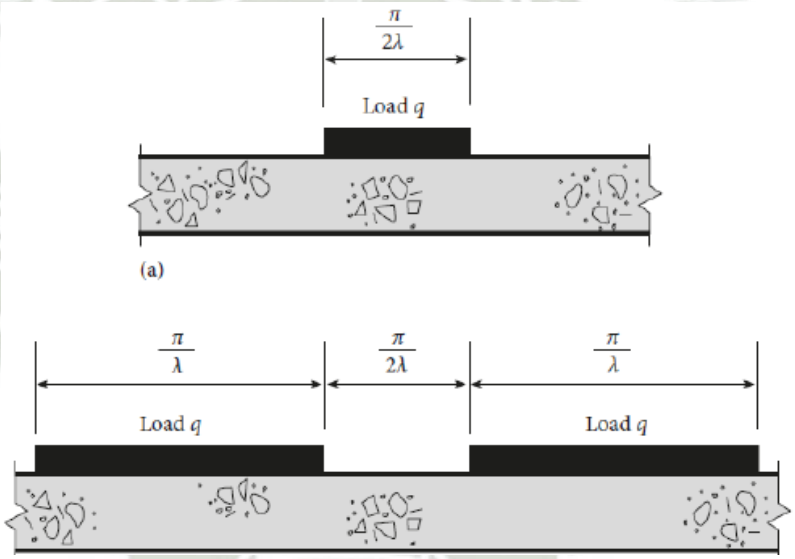
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Carga distribuida: El diseño de un pavimento para cargas uniformemente distribuidas se realiza con los siguientes propósitos:

a) Evitar el desarrollo de fisuras inducidas por esfuerzos de flexión negativos en zonas y pasillos sin carga.
b) Impedir la generación de asentamientos diferenciales provocados por la consolidación de la subrasante o explanada.

Como puede observarse en la figura 33, en el caso general en el que la losa este sometida a un patrón aleatorio de carga uniformemente distribuida sobre áreas parciales, el momento flector positivo máximo en la losa está causado por una carga de anchura $\frac{\pi}{2\lambda}$.

Figura 33: *Carga distribuida*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

La carga de ancho $\frac{\pi}{2\lambda}$ se define como la condición crítica de diseño, pudiendo producir grietas a lo largo de la línea central de los pasillos. Dado que no siempre es posible saber de antemano con precisión la anchura del pasillo, se utiliza una anchura crítica, que corresponde al ancho que maximiza la expresión del momento crítico. La capacidad de carga por unidad de área, q, viene dada por:

$$q = 5.95\lambda^2 M_n \left(\frac{kN}{m^2}\right)$$

Donde:

- M_n: Capacidad de momento del concreto sin refuerzo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.4.2. Métodos Empíricos

Los métodos empíricos, consideran las variables básicas de dimensionamiento en un proceso basado fundamentalmente en la experiencia sobre el comportamiento de los pavimentos, los cuales se presentan en tablas o ábacos que relacionan las características de los materiales con sus espesores. (Puertos del estado, 2019)

Los métodos de dimensionamiento empíricos para pavimentos industriales interiores independizan la determinación de las capas inferiores (normalmente capas granulares con o sin estabilización) de la losa de concreto; se determina el espesor y las características de la losa de concreto exclusivamente en función de la capacidad de soporte de la explanada.

2.5.4.2.1. PCA (Portland Cement Association)

La PCA (Portland Cement Association) presenta un método gráfico, basado en la teoría de Westergaard, que asume un valor constante para el módulo de reacción del suelo, un coeficiente de Poisson de 0,15 y un módulo de elasticidad de 28000 MPa para el concreto.

Este método solo considera cargas interiores y analiza el caso de cargas concentradas, cargas dinámicas y cargas distribuidas.

Carga estática: Para dimensionar una losa de concreto apoyada directamente sobre el suelo, que deba soportar todas las cargas transmitidas por los apoyos de la estantería, es necesario conocer el valor de los siguientes datos:

- Carga del pilar (kips)
- Espaciamiento longitudinal en la dirección Y (pulg)
- Espaciamiento transversal en la dirección X (pulg)
- Constante de balasto K (lb/pulg^3)
- Área de contacto de la placa para cada apoyo (pulg^2)
- Resistencia a la tracción por flexión Mr (psi)
- Factor de seguridad adoptado (2 – 5)

Si los apoyos son suficientemente grandes para evitar compresiones excesivas y el espesor de la losa es adecuado para soportar los esfuerzos de flexión, entonces los esfuerzos de compresión que puedan aparecer estarán cubiertos adecuadamente. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El criterio de dimensionamiento del método implica limitar el valor de las tensiones de tracción provocadas por la flexión a la que estará sometida la losa. Normalmente, cuando las consecuencias del fallo de la losa no son muy importantes, las tensiones de tracción admisibles suelen limitarse a la mitad de la resistencia a flexión del concreto utilizando un factor de seguridad de 2, y cuando las consecuencias del fallo son muy importantes un factor de seguridad de 5.

La figura 34, 35 y 36 presenta los ábacos de dimensionamiento propuestos en el método, para diferentes distancias entre soportes de estantería (40, 60 y 100 pulgadas en ambas direcciones) y un valor de módulo de reacción del soporte único (50, 100 o 200 pci). Las distancias X e Y entre soportes se refieren, a las direcciones en el sentido transversal y longitudinal, respectivamente.

El procedimiento de cálculo consiste en lo siguiente:

a) Elegir el ábaco correspondiente al valor del módulo de reacción del soporte del suelo.

b) Entrar al ábaco con la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras transmitida por cada apoyo (kN).

   La tensión admisible se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Tension admisible: } \frac{\text{Resistencia a la traccion por flexion (Mr)}}{\text{Factor de seguridad adoptado}} \text{(psi)}$$

   Y la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras de carga del pilar, se obtiene dividiendo el valor resultante de la tensión admisible por la carga del pilar, en kN.

$$\text{Esfuerzo por tension por cada 1000 libras de carga del pilar: } \frac{\text{Tension admisible (psi)}}{\text{Carga del pilar (kN)}}$$

c) El espesor necesario del pavimento de concreto se determina en función del área de contacto determinada y de la disposición de los soportes (distancias X e Y). Como los ábacos corresponden a valores de K de 50, 100 y 200 pci, respectivamente, por lo que para casos intermedios pueden adoptarse espesores conservadores o bien más ajustados mediante interpolaciones. En ningún caso deben realizarse extrapolaciones.

d) Para evitar sobredimensionamientos en situaciones de superficies pequeñas de apoyo, es necesario calcular el área de contacto efectiva según el área de contacto de

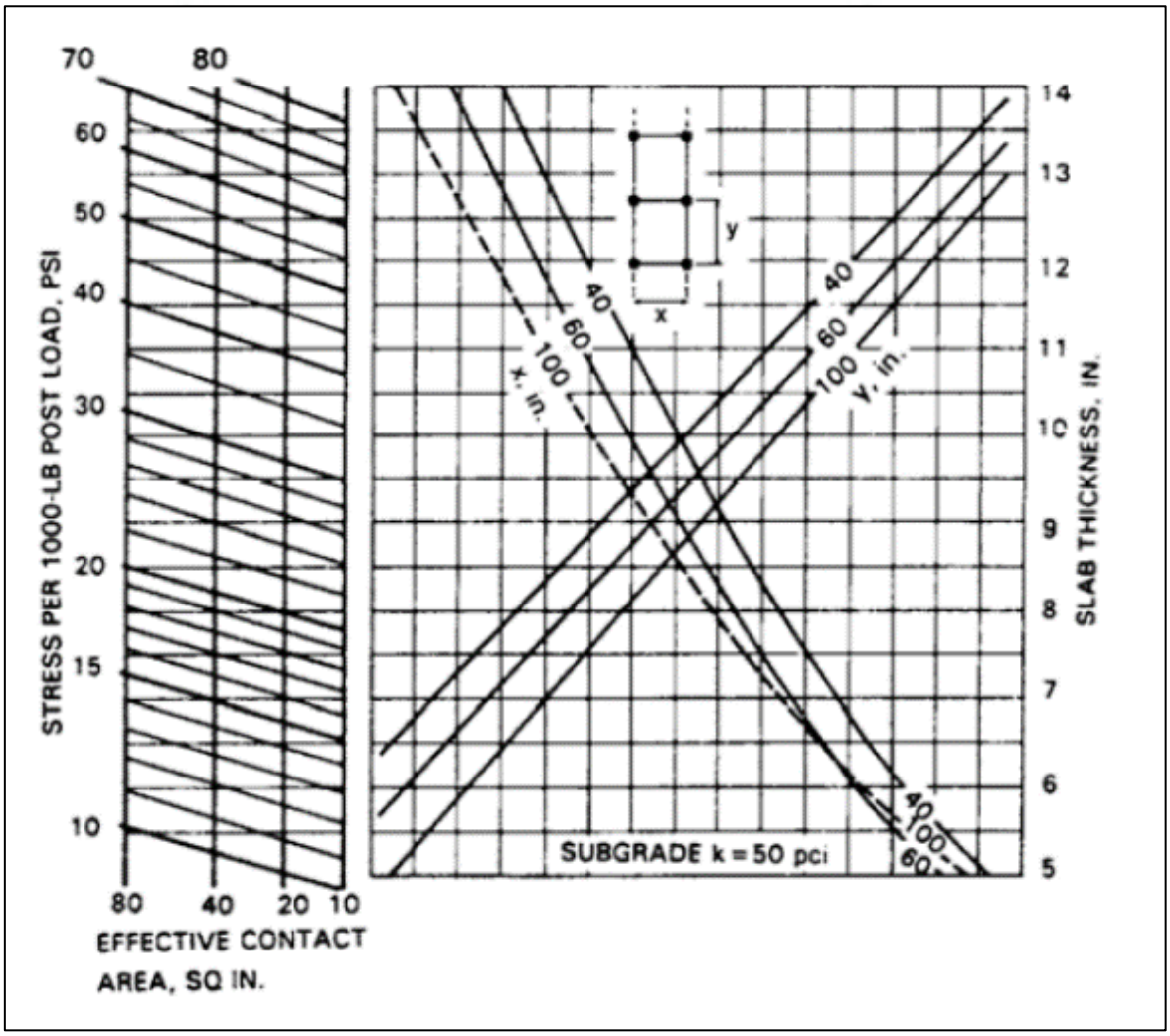
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la placa de apoyo utilizando el gráfico de la figura 37 para luego utilizar el nomograma correspondiente al valor del módulo de reacción de soporte del suelo y determinar el espesor final. Finalmente se verifica que el espesor determinado inicialmente sea el mismo al valor determinado con el área de contacto efectiva, si presenta mucha variación se debe volver a iterar.

Figura 34: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 50 pci*



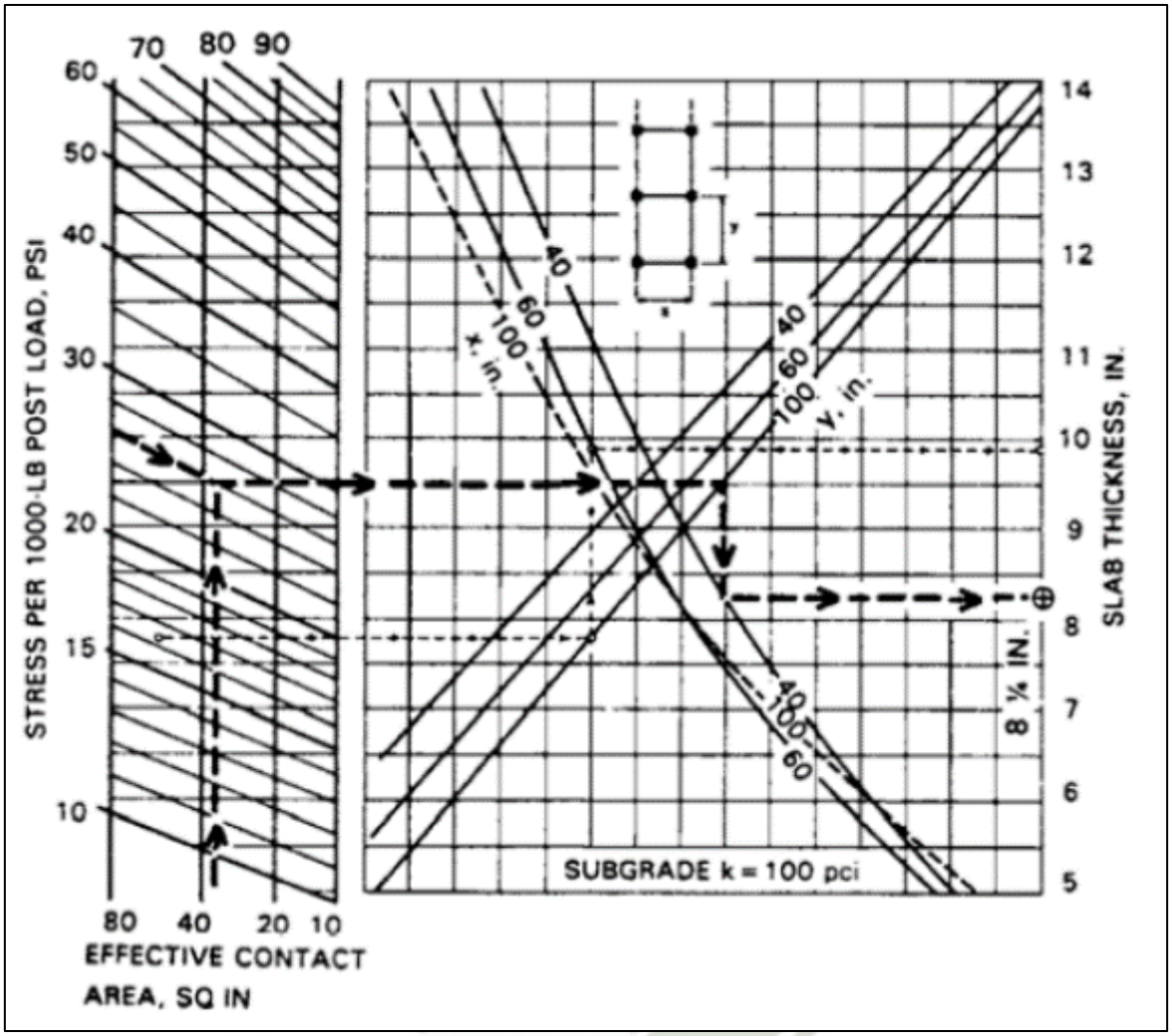
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 35: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 100 pci*



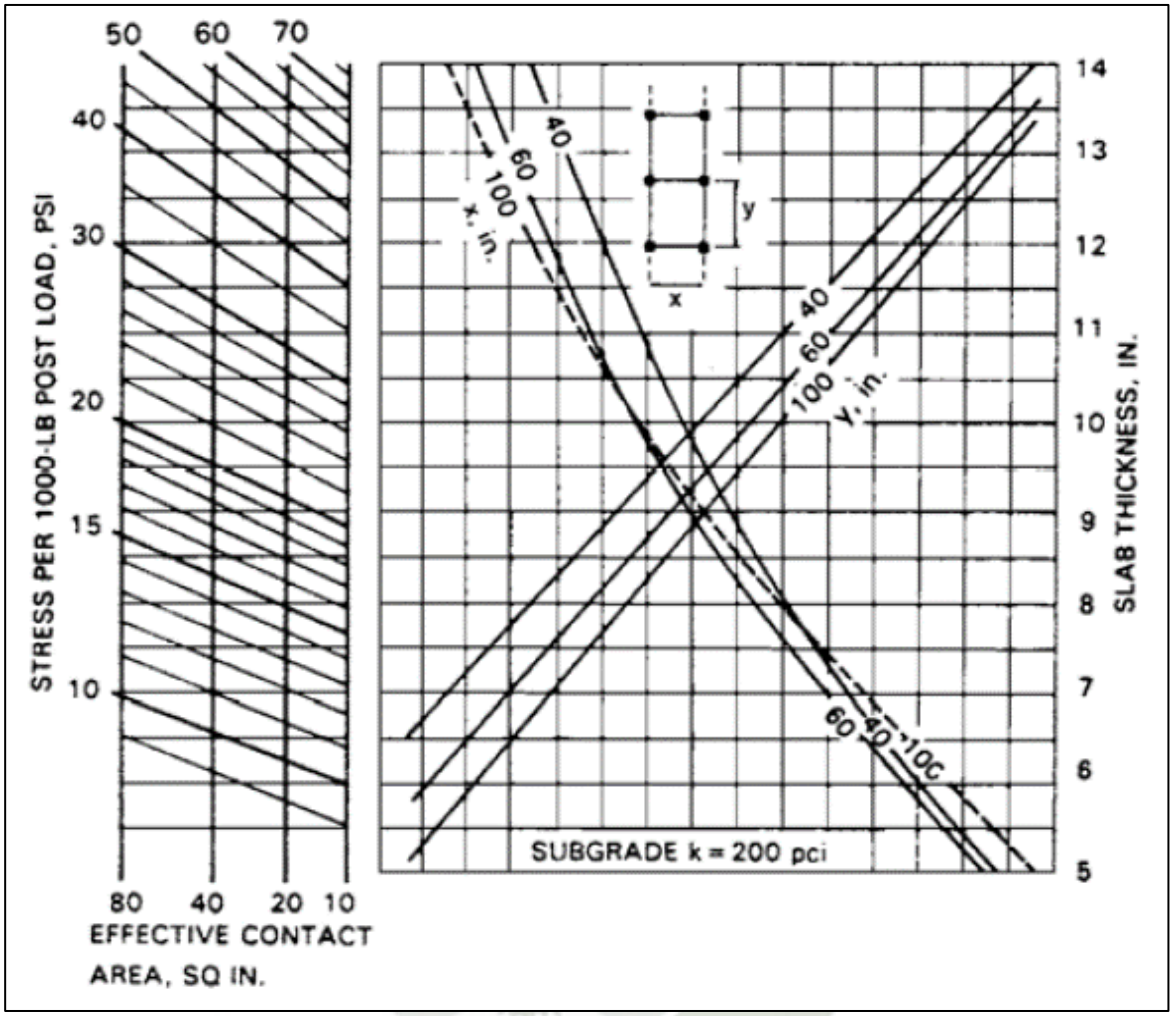
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 36: *Abaco de diseño según la PCA para cargas de apoyo con un coeficiente K de 200 pci*



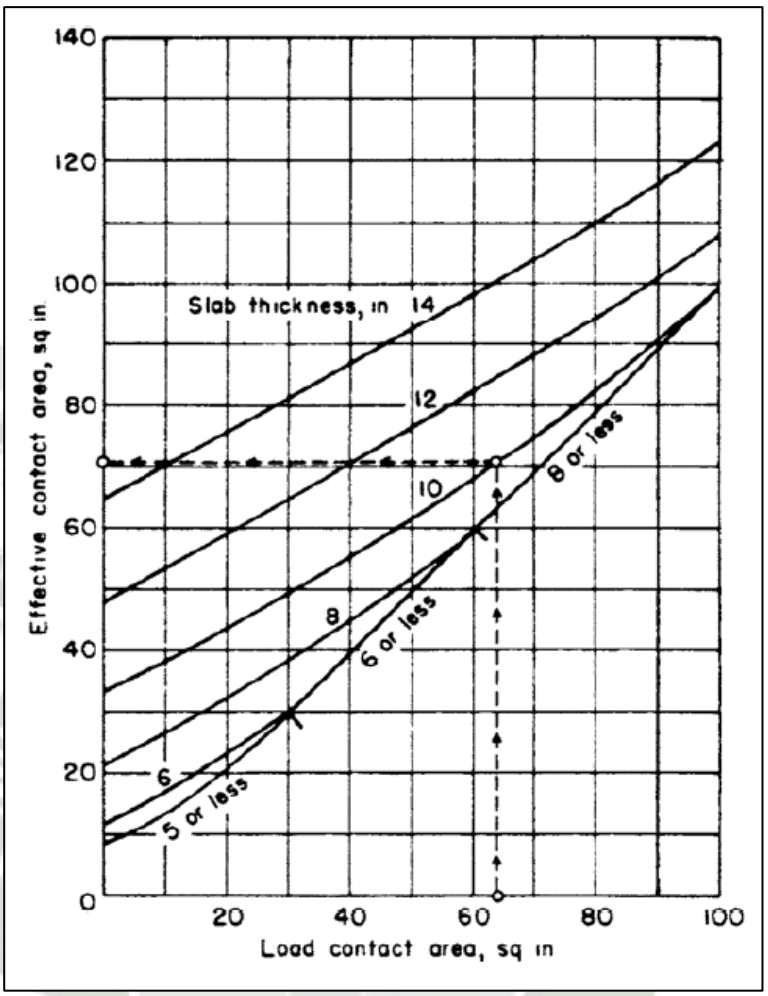
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 37: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Carga Dinámica: El método desarrolló los ábacos de las figuras 40 y 41, los cuales se utilizan para distintas cargas por eje y distribuciones de ruedas. Su campo de validez corresponde a una adecuada transferencia de cargas a través de las juntas.

El procedimiento de cálculo limita las tensiones en el pavimento en función de la resistencia a flexotracción del concreto y el número de aplicaciones de carga previstas. El factor de seguridad adoptado varía entre 1.7 y 2 de acuerdo con la importancia de las consecuencias de fallo.

En el dimensionamiento de pavimentos sometidos a la acción de vehículos dotados de ejes simples con ruedas simples se utiliza el ábaco de la Figura 38. En él se entra con la tensión admisible de trabajo por cada 1000 lb de carga del eje, la cual se obtiene de la siguiente manera:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$\text{Tension admisible: } \frac{\text{Resistencia a la traccion por flexion (Mr)}}{\text{Factor de seguridad adoptado}} \text{(psi)}$$

Y el esfuerzo de trabajo permitido por 1000 lb de carga eje se obtiene dividiendo el valor del esfuerzo permisible por carga (en kN) del eje del vehículo.

$$\text{Esfuerzo por tension por cada 1000 libras de carga del pilar: } \frac{\text{Tension admisible (psi)}}{\text{Carga del pilar (kN)}}$$

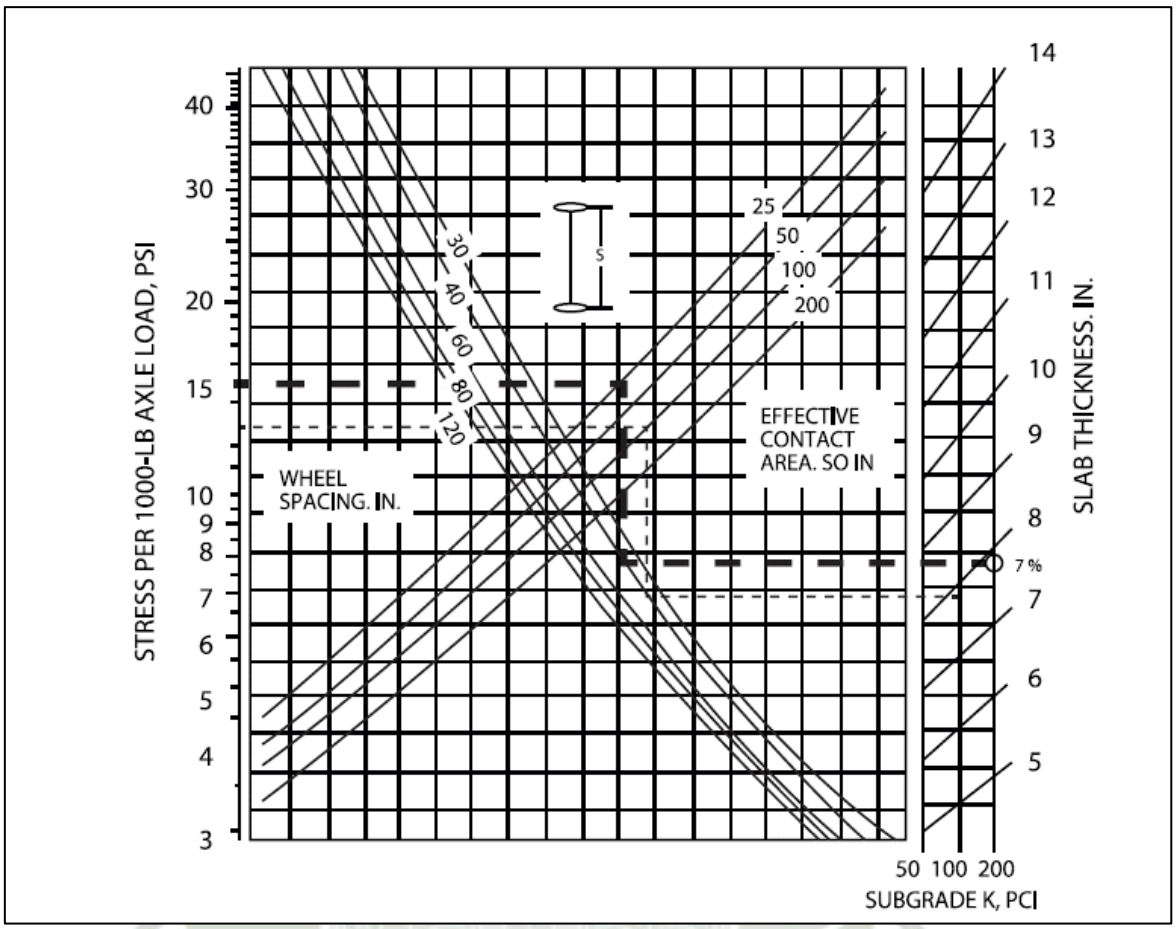
Para vehículos con ejes simples y ruedas dobles se utilizan los ábacos de las figuras 38 y 39. En el caso de las figuras 39, el eje simple de ruedas dobles se transforma en un eje equivalente de ruedas simples mediante el coeficiente F, que depende del espesor del pavimento, por lo que debe iterarse hasta obtener una variación mínima. Posterior a la determinación del coeficiente F, se utiliza el ábaco de la figura 38 afectando la carga que transmite el eje doble por el factor determinado en el ábaco de la figura 39.

Para evitar sobredimensionar el espesor necesario del pavimento, es crucial ajustar el área de contacto utilizando el ábaco de la figura 37. Para realizar este ajuste, se requiere conocer el área de contacto de la carga, la cual puede obtenerse de las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes de vehículos. En caso de no contar con dicha información, se puede estimar de manera aproximada dividiendo la carga de cada rueda por la presión de inflado en el caso de neumáticos, o multiplicando el ancho de la rueda en milímetros por 75 o 100, en el caso de ruedas rígidas. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 38: *Abaco de diseño según la PCA para ejes con ruedas simples*



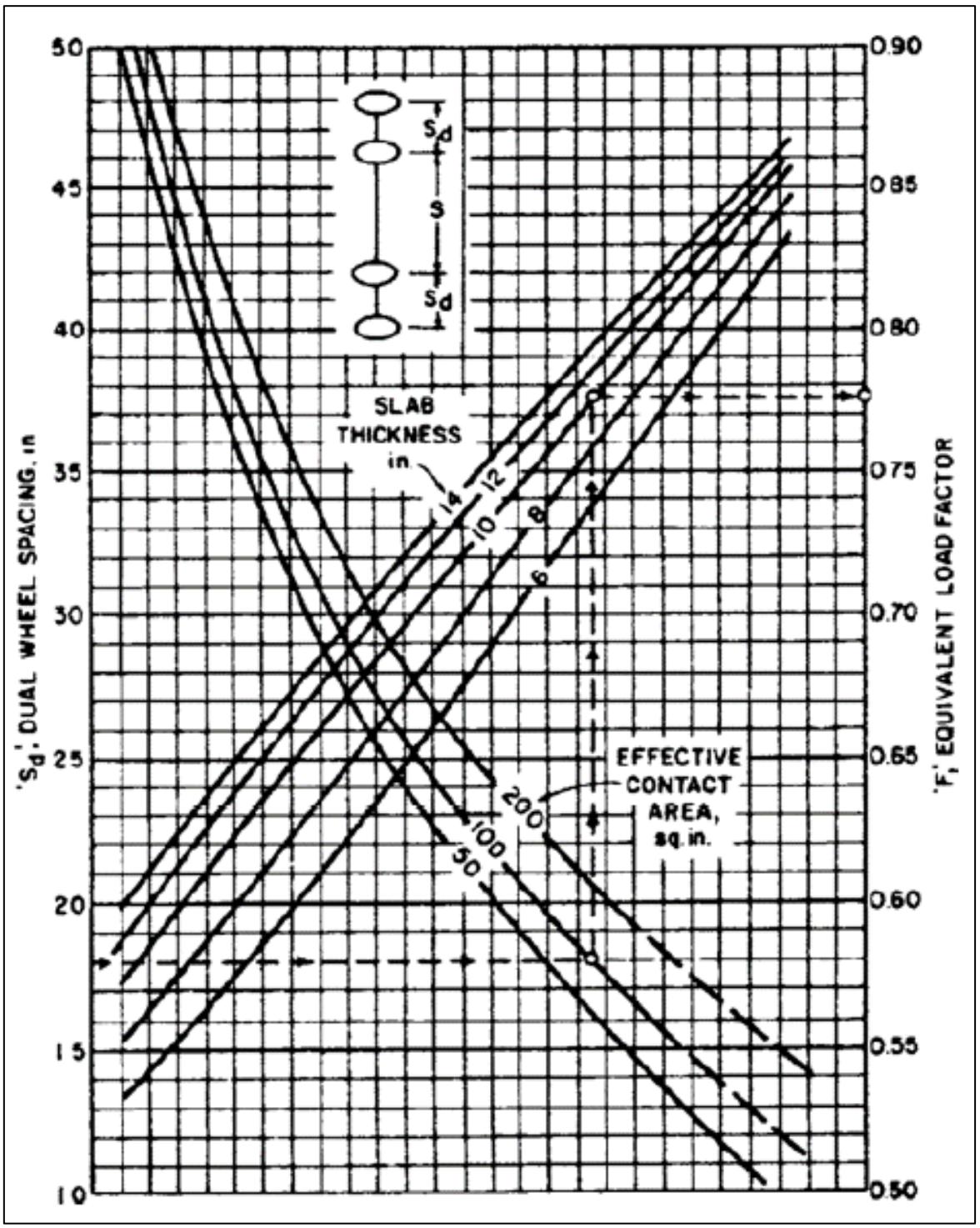
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 39: *Abaco de diseño según la PCA para ejes con ruedas dobles*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Carga distribuida: Las tensiones generadas por la carga distribuida en la losa de concreto dependen de varios factores, como el espesor de la losa, la capacidad portante de la subrasante, el ancho de los pasillos entre cargas, el ancho de la zona cargada y la presencia de juntas en los pasillos.

El método proporciona tablas con valores calculados de acuerdo con el procedimiento desarrollado por Hetenyi para dimensionar losas de concreto apoyadas sobre medios elásticos.

Se presentan dos situaciones: La primera con ancho de pasillo variable y la segunda con el ancho de pasillo definido.

a) Ancho de pasillo variable

La carga admisible especificada en la tabla 8 es aplicable en caso de cargas variables para pasillos sin juntas con carga no uniforme y disposición variable a lo largo de la vida útil del pavimento.

Estos valores se han calculado teniendo en cuenta que las tensiones por flexión en el concreto son inferiores a la mitad de su resistencia última. Puede establecerse un límite adicional para las tensiones de tracción admisibles en el concreto, calculando la carga distribuida admisible mediante la siguiente expresión:

$$w = 0.33\sigma\sqrt{h.k}$$

Donde:

- w: carga admisible, en kPa
- σ: tensión máxima de flexión en el concreto, en MPa (N/mm^2)
- h: espesor de la losa, en mm
- k: módulo de reacción, en kPa/mm

b) Ancho de pasillo definido

En el caso de cargas permanentes se deben utilizar las tablas 9, 10 y 11. Estos corresponden a valores de módulos de reacción de soporte de 50, 100 y 200 pci, respectivamente, en las que se consideran tres niveles admisibles de tensión en el concreto: 300, 350 y 400 psi.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 8: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta, con carga no uniforme y disposición variable*

Espesor de losa, pulg	Subrasante k, lb/pulg^3	Carga admisible, lb/pie^2 Resistencia a la flexión del concreto, psi			
		550	600	650	700
5	50	535	585	635	685
	100	760	830	900	965
	200	1075	1175	1270	1370
6	50	585	640	695	750
	100	830	905	980	1055
	200	1175	1280	1390	1495
8	50	680	740	800	865
	100	960	1045	1135	1220
	200	1355	1480	1603	1725
10	50	760	830	895	965
	100	1070	1170	1265	1365
	200	1515	1655	1790	1930
12	50	830	905	980	1055
	100	1175	1280	1390	1495
	200	1660	1810	1965	2115
14	50	895	980	1060	1140
	100	1270	1385	1500	1615
	200	1795	1960	2120	2285

Nota. No se considera que exista un aumento de k debido a la subbase; La tensión máxima se basa en la pasivación y los soportes de carga. Carga válida para tensiones admisibles iguales a la mitad de la resistencia a flexotracción. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 9: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 50 pci*

Espesor de losa, pulg	Tensión de trabajo, psi	Ancho de pasillo crítico, ft	Carga admisible, lb/pie2					
			Ancho de pasillo critico	Otros anchos de pasillo				
				6 ft pasillo	8 ft pasillo	10 ft pasillo	12 ft pasillo	14 ft pasillo
Subrasante k = 50 lb/pulg^3								
5	300	5.6	610	615	670	815	1050	1215
	350	5.6	710	715	785	950	1225	1420
	400	5.6	815	820	895	1085	1400	1620
6	300	6.4	670	675	695	780	945	1175
	350	6.4	785	785	810	910	1100	1370
	400	6.4	895	895	925	1040	1260	1570
8	300	8	770	800	770	800	880	1010
	350	8	900	935	900	935	1025	11800
	400	8	1025	1070	1025	1065	1175	1350
10	300	9.4	845	930	855	850	885	960
	350	9.4	985	1085	1000	990	1035	1120
	400	9.4	1130	1240	1145	1135	1185	1285
12	300	10.8	915	1065	955	915	925	965
	350	10.8	1065	1240	1115	1070	1080	1125
	400	10.8	1220	1420	1270	1220	1230	1290
14	300	12.1	980	1225	1070	1000	980	995
	350	12.1	1145	1430	1245	1170	1145	1160
	400	12.1	1310	1630	1425	1335	1310	1330

Nota. No se considera un aumento de k debido a la subbase, Carga admisible para tensiones admisibles igual a la mitad de la resistencia a la flexotracción. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 10: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 100 pci*

Espesor de losa, pulg	Tensión de trabajo, psi	Ancho de pasillo crítico, ft	Ancho de pasillo critico	Carga admisible, lb/pie2 Otros anchos de pasillo				
				6 ft pasillo	8 ft pasillo	10 ft pasillo	12 ft pasillo	14 ft pasillo
Subrasante k = 100 lb/pulg^3								
5	300	4.7	865	900	1090	1470	1745	1810
	350	4.7	1010	1050	1270	1715	2035	2115
	400	4.7	1155	1200	1455	1955	2325	2415
6	300	5.4	950	955	1065	1320	1700	1925
	350	5.4	1105	1115	1245	1540	1985	2245
	400	5.4	1265	1275	1420	1760	2270	2565
8	300	6.7	1095	1105	1120	1240	1465	1815
	350	6.7	1280	1285	1305	1445	1705	2120
	400	6.7	1460	1470	1495	1650	1950	2420
10	300	7.9	1215	1265	1215	1270	1395	1610
	350	7.9	1420	1475	1420	1480	1630	1880
	400	7.9	1625	1645	1625	1690	1860	2150
12	300	9.1	1320	1425	1325	1330	1400	1535
	350	9.1	1540	1665	1545	1550	1635	1795
	400	9.1	1755	1900	1770	1770	1865	2050
14	300	10.2	1405	1590	1445	1405	1435	1525
	350	10.2	1640	1855	1685	1640	1675	1775
	400	10.2	1875	2120	1925	1875	1915	2030

Nota. No se considera un aumento de k debido a la subbase, Carga admisible para tensiones admisibles igual a la mitad de la resistencia a la flexotracción. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 11: *Carga distribuida permisible para pasillo sin junta y disposición variable con un coeficiente k de subrasante igual a 200 pci*

Espesor de losa, pulg	Tensión de trabajo, psi	Ancho de pasillo crítico, ft	Carga admisible, lb/pie2					
			Ancho de pasillo critico	Otros anchos de pasillo				
				6 ft pasillo	8 ft pasillo	10 ft pasillo	12 ft pasillo	14 ft pasillo
Subrasante k = 200 lb/pulg^3								
	300	4	1225	1400	1930	2450	2565	2520
5	350	4	1425	1630	2255	2860	2990	2940
	400	4	1630	1865	2575	3270	3420	3360
	300	4.5	1340	1415	1755	2395	2740	2810
6	350	4.5	1565	1650	2050	2800	3200	3275
	400	4.5	1785	1890	2345	3190	3655	3745
	300	5.6	1550	1550	1695	2045	2635	3070
8	350	5.6	1810	1810	1980	2385	3075	3580
	400	5.6	2065	2070	2615	2730	3515	4095
	300	6.6	1730	1745	1775	1965	2330	2895
10	350	6.6	2020	2035	2070	2290	2715	3300
	400	6.6	2310	2325	2365	2620	3105	3860
	300	7.6	1890	1945	1895	1995	2230	2610
12	350	7.6	2205	2270	2210	2330	2600	3045
	400	7.6	2520	2595	2525	2660	2972	3480
	300	8.6	2025	2150	2030	2065	2210	2480
14	350	8.6	2360	2510	2365	2405	2580	2890
	400	8.6	2700	2870	2705	2750	2950	3305

Nota. No se considera un aumento de k debido a la subbase, Carga admisible para tensiones admisibles igual a la mitad de la resistencia a la flexotracción. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

2.5.4.2.2. WRI (Wire Reinforcement Institute)

El WRI (Wire Reinforcement Institute) presenta un método de diseño, que considera solamente cargas ubicadas en el interior, utilizando una serie de nomogramas que permite calcular el espesor de la losa de concreto basado en un modelo computacional de elementos discretos. El espesor debe determinarse para el caso de una carga de eje simple y carga distribuida. Dependiendo del uso que tendrá el pavimento se pueden descartar algunas de estas dos solicitaciones, sin embargo, para el diseño final se seleccionará el mayor espesor del resultante entre las solicitaciones consideradas.

Carga dinámica: La selección del espesor de acuerdo con el método del WRI, empieza asumiendo un espesor de losa para determinar el radio de rigidez relativa. Después, son determinados el momento en la losa causado por la carga de las ruedas y finalmente el espesor de losa requerido.

Para hacer uso de los nomogramas se necesitan los siguientes datos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Módulo de elasticidad del concreto (ksi)
- Constante de balasto K de la subrasante (pci)
- Área de contacto de una rueda (pulg^2)
- Carga de eje simple (kips)
- Carga en la rueda (kips)
- Espacio entre ruedas (pulg)
- Resistencia a la tracción por flexión del concreto Mr (psi)
- Factor de seguridad adoptado (1.7 – 2)

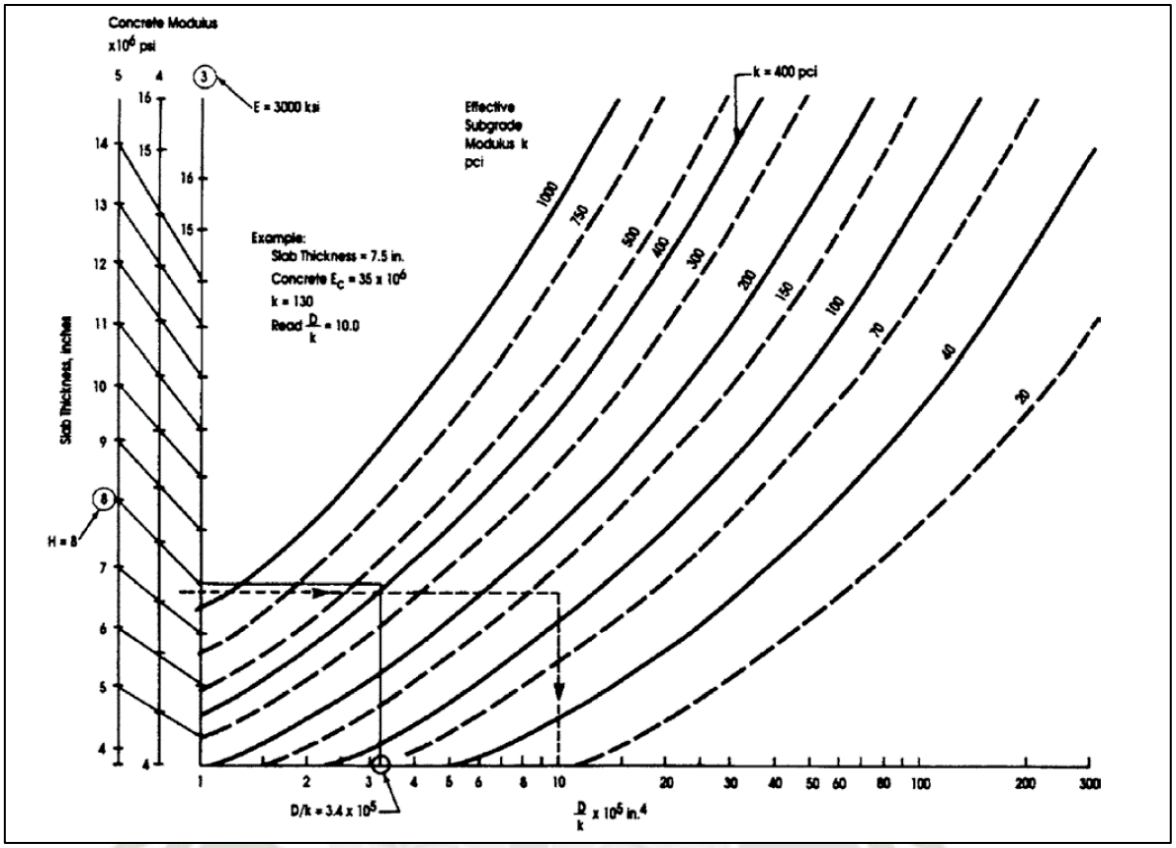
Los pavimentos sometidos a la acción de vehículos de un solo eje y de una sola rueda se dimensionan utilizando el ábaco representado en la figura 40. En él se ingresa con un espesor de losa asumido para interceptarla con el módulo de elasticidad del concreto y proyectar una línea horizontal hasta encontrar la constante de balasto K correspondiente a la subrasante del suelo. Finalmente se proyecta una línea vertical y se obtiene el radio de rigidez relativa $\frac{D}{k} x 10^5$.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 40: *Abaco para la obtención del radio de rigidez relativa D/k utilizada por el método WRI*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Conocido el radio de rigidez relativa, se hace uso del ábaco de la Figura 43. En él se entra con el diámetro del círculo equivalente, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Diametro del circulo equivalente} = \sqrt{\frac{\text{Area de contacto de una rueda x 4}}{\pi}}$$

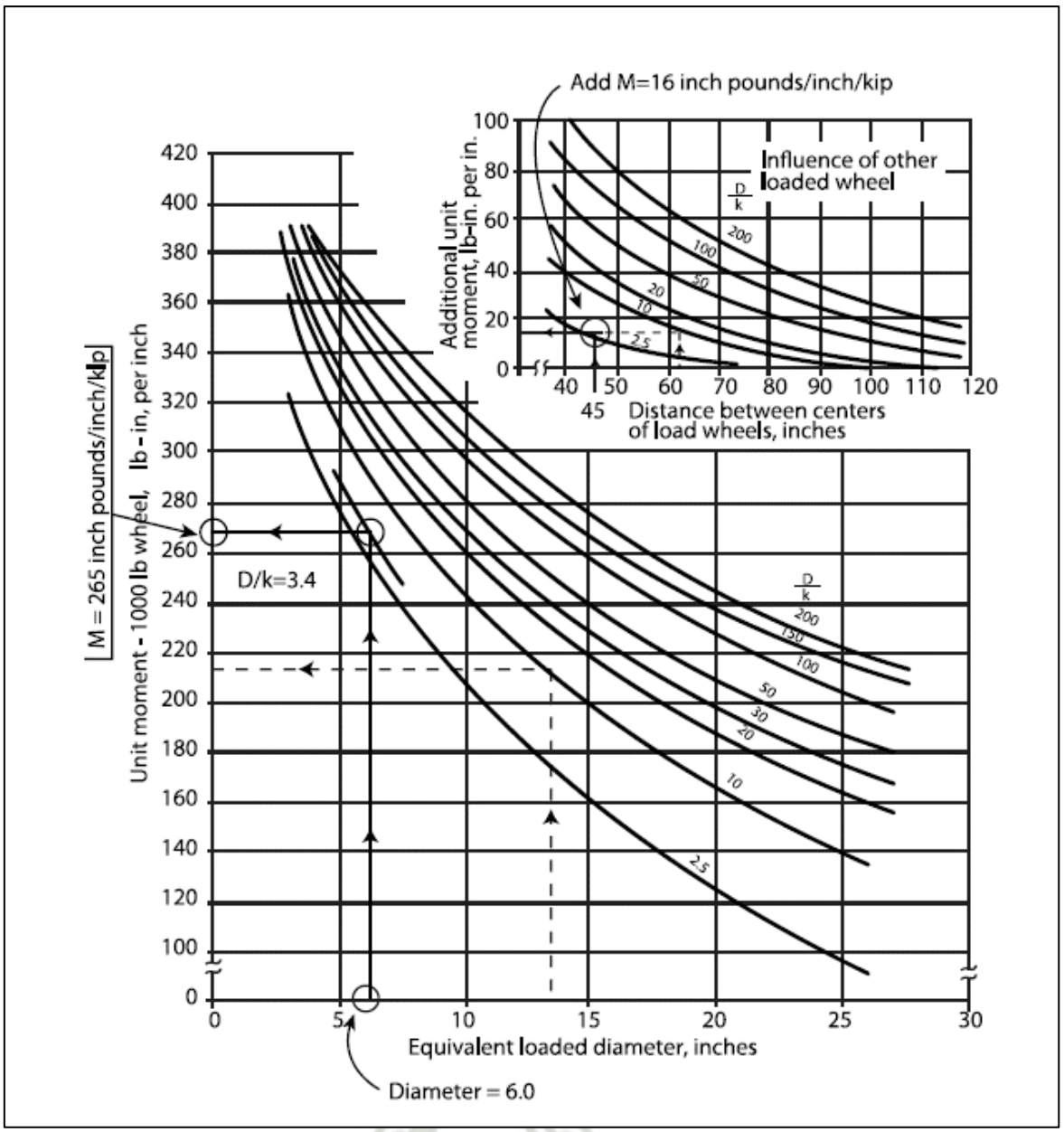
Se ubica el valor del diámetro del círculo equivalente y se proyecta una línea vertical hasta interceptarla con el radio de rigidez relativa, luego se proyecta una línea horizontal hacia el eje de las ordenadas en el cual se obtendrá el momento de flexión por cada 1000 lb de carga del eje del vehículo de diseño. Finalmente se hace uso del pequeño nomograma que se encuentra en la parte superior derecha. Entrando con el valor del espacio entre ruedas y el radio de rigidez relativa para obtener el momento de flexión adicional. El momento de flexión total no será más que la suma del momento de flexión y el momento de flexión adicional obtenido del ábaco de la figura 41.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 41: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

El momento de diseño es igual al momento de flexión total multiplicado por la carga en la rueda en pulg-lb/pulg.

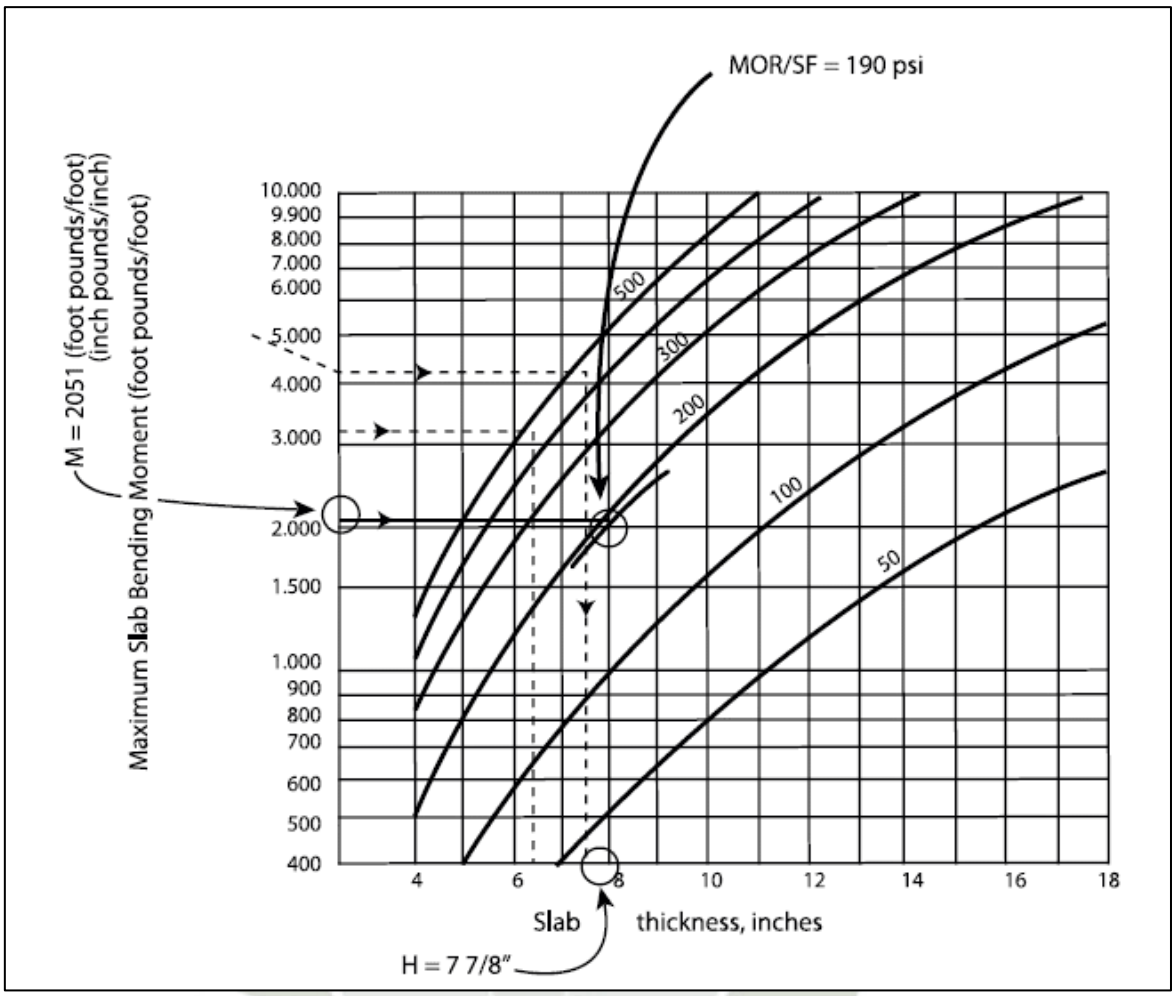
Finalmente, se utiliza el ábaco de la figura 42. En él se entra con el momento de diseño, el cual se determina multiplicando el momento de flexión total en la losa por la carga en la rueda del vehículo de diseño. Conocido el momento de diseño y con el esfuerzo admisible calculado, se determina el espesor de la losa, verificando que el espesor asumido sea el mismo al valor determinado, si presenta mucha variación se debe volver a iterar.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 42: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

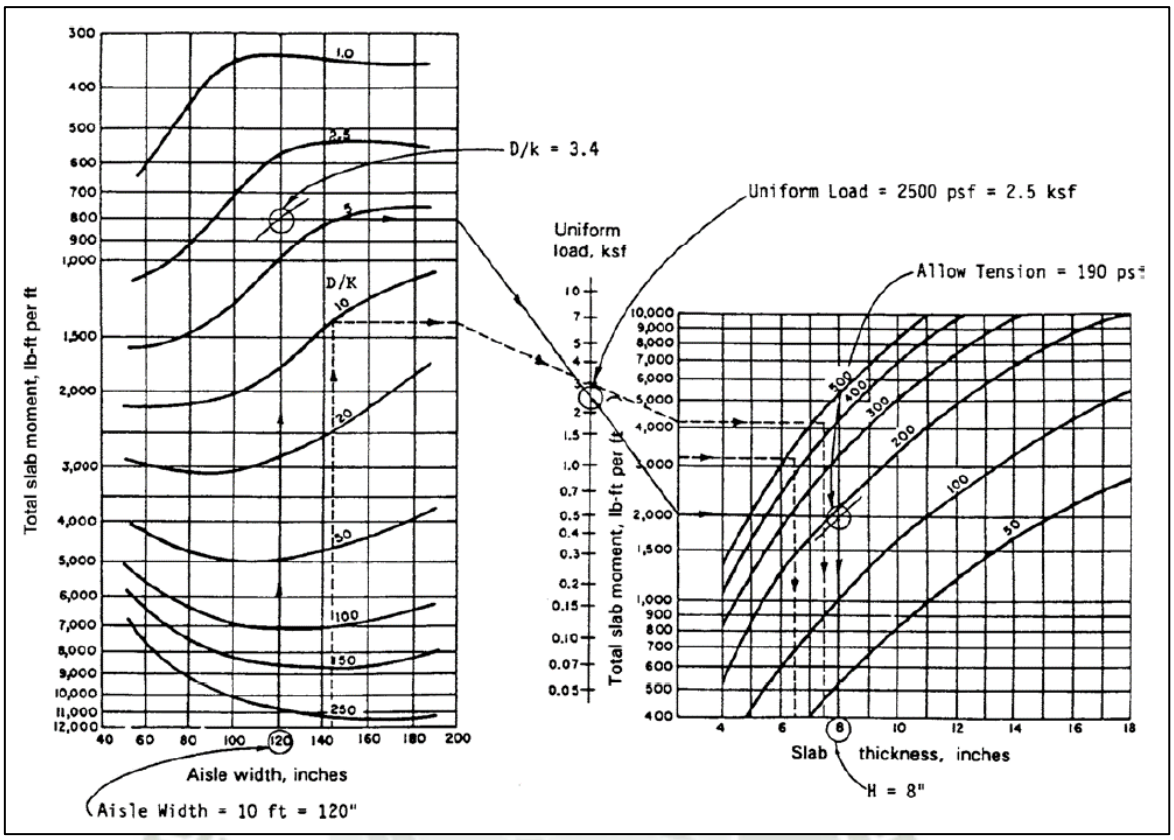
Carga distribuida: El método presenta el nomograma de la figura 43. En él se entra con el ancho del pasillo no cargado y radio de rigidez relativa $\frac{D}{k}$, luego se traza una línea horizontal, seguido de una recta diagonal que intercepte la carga uniforme requerida y en función al esfuerzo admisible se determina el espesor de losa requerido.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 43: *Abaco de diseño para carga distribuida utilizada por el método WRI*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

2.5.4.2.3. COE (United States Army Corps of Engineers)

El método desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (COE) se basa en la teoría de Westergaard para el cálculo de tensiones de una losa apoyada en el terreno mediante nomogramas diseñados para el análisis de cargas dinámicas ubicadas en el borde de la losa.

La categoría de índice de diseño, que se utiliza para racionalizar y normalizar el diseño de las carretillas elevadoras más ligeras (carga por eje inferior a 25.000 libras), integra las variables inherentes a la configuración del eje de diseño.

Para cada índice de diseño, las operaciones diarias de diferentes tamaños de carretillas elevadoras y volúmenes de tráfico se consideran indicativas de las actividades típicas de un almacén y se integran en el proceso de diseño. El factor de impacto del 25%, el módulo de elasticidad del concreto de 28000 MPa y la relación de Poisson de 0,20 son los valores

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

asumidos por la metodología. Para cada categoría de índice, se determinan internamente el área de contacto de las ruedas y las distancias entre ellas.

Tabla 12: *Categoría de índice de diseño utilizado con el método COE para la selección del espesor de la losa*

Categoría	I	II	III	IV	V	VI
Capacidad (lb)	4000	6000	10000	16000	20000	52000
Carga por eje de diseño (lb)	10000	15000	25000	36000	43000	120000
N° de neumáticos	4	4	6	6	6	6
Tipo de neumáticos	Solido	Solido	Neumático	Neumático	Neumático	Neumático
Área de contacto del neumático ($pulg^2$)	27	36.1	62.5	100	119	316
Presión efectiva de contacto (psi)	125	208	100	90	90	95
Ancho del neumático (pulg)	6	7	8	9	6	16
Espaciamiento entre ruedas (pulg)	31	33	11.42.11	13.58.13	13.58.13	20.79.20
Ancho del pasillo (pulg)	90	90	132	144	144	192
Espaciamiento entre neumáticos de ruedas dobles (pulg)	-	-	3	4	4	4

Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

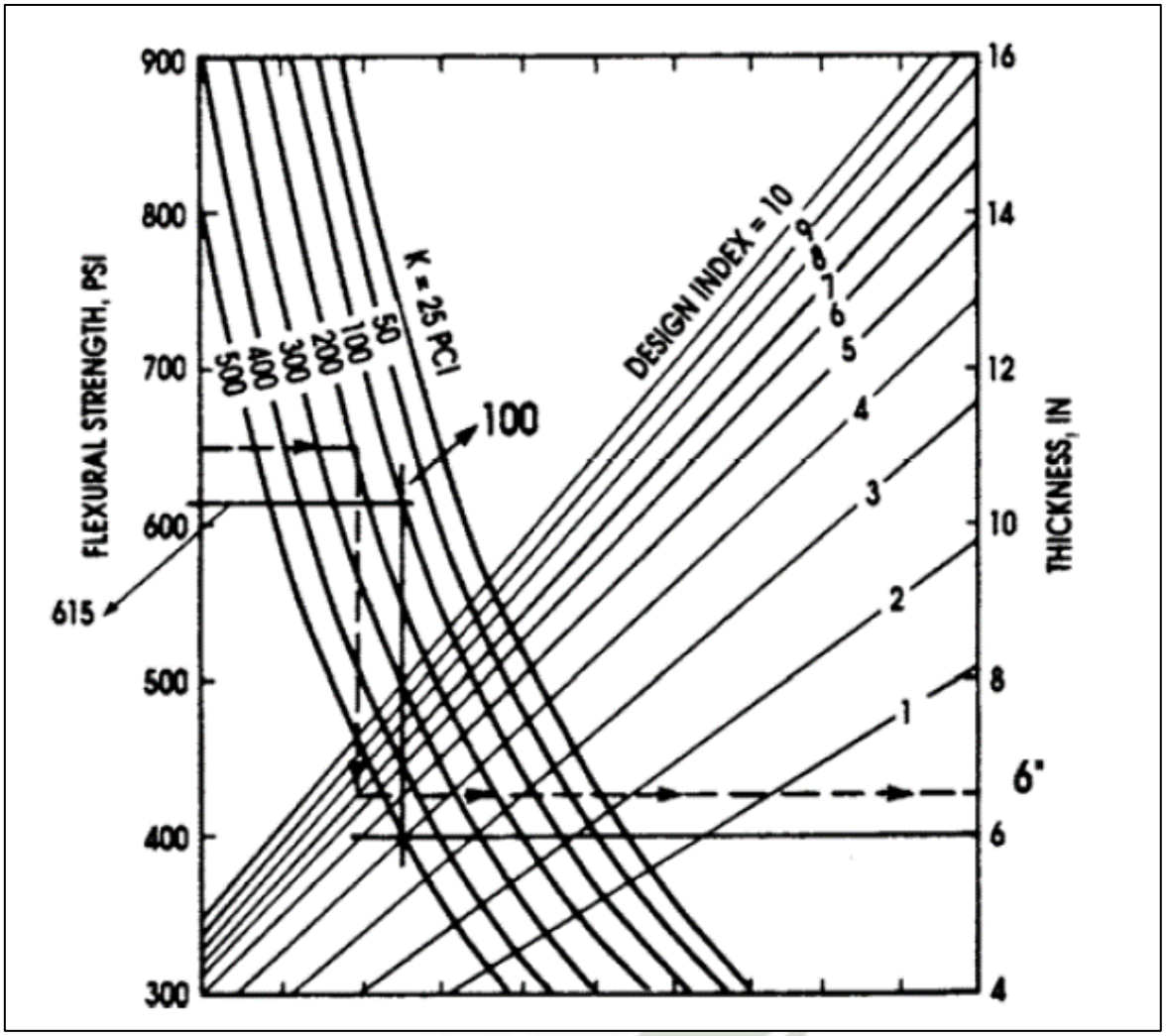
Determinado la categoría del índice de diseño se hace uso del nomograma de la figura 44. En él se entra con la resistencia a la tracción por flexión del concreto, se intercepta con una recta horizontal hasta encontrar la constante de balasto K para luego trazar una recta vertical hasta encontrar el índice de diseño. Finalmente, se traza una recta horizontal y se determina el espesor de la losa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 44: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.*



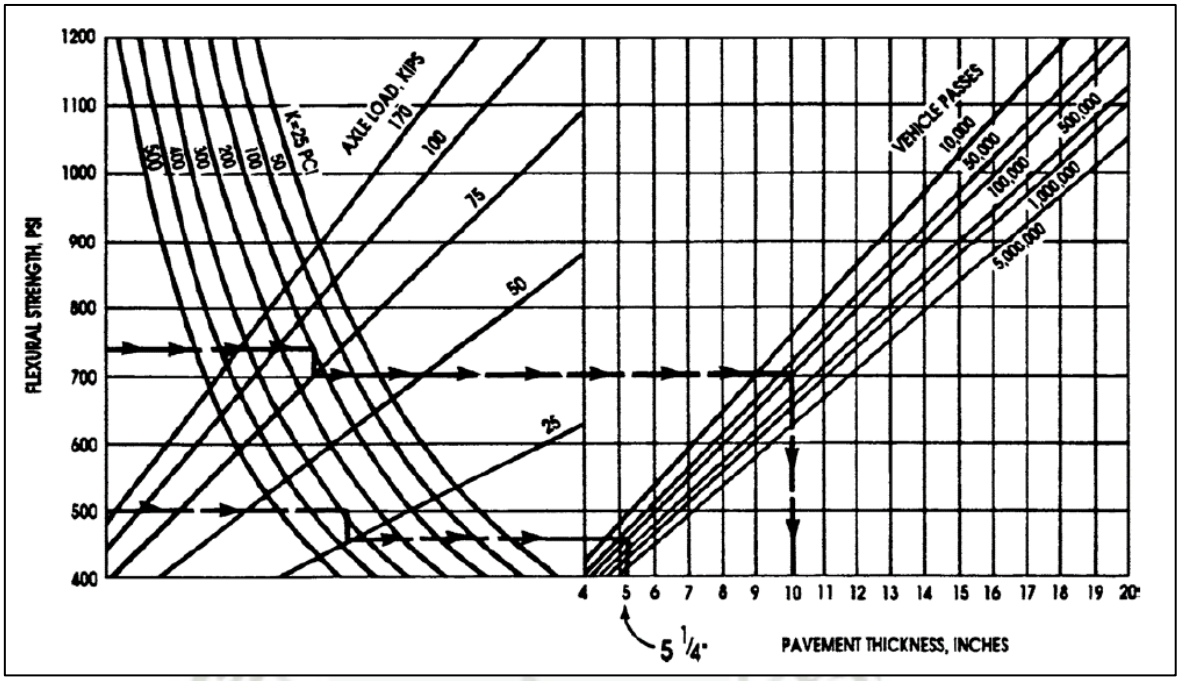
Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

También se presenta el nomograma de la figura 45 para obtener el espesor necesario de la losa para montacargas pesados que generalmente tienen una carga por eje, mayor igual a 25000 lb, en función a las siguientes variables: resistencia a la tracción por flexión del concreto (psi), módulo de balasto K de la subrasante (pci), carga por eje de diseño (kips) y el número de pasadas del montacargas a través de una junta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 45: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.*

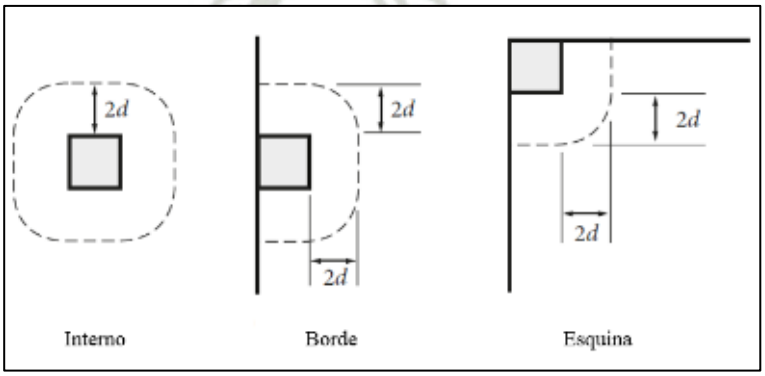


Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

2.5.5 Capacidad de punzonamiento

La capacidad de corte por punzonamiento se determina comprobando el corte en la cara del área de contacto y considerando un perímetro de punzonamiento alejado el doble del espesor efectivo de la losa (d) respecto de los bordes de aplicación de carga como se muestra en la figura 46.

Figura 46: *Capacidad de punzonamiento para distintas ubicaciones*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para evitar fallas causadas por fenómenos de compresión excesiva del concreto o punzonamiento, las dimensiones de los apoyos de la estantería y su rigidez deben ser las necesarias.

La capacidad de punzonamiento de una losa apoyada en el terreno está determinada por el mínimo de:

a) Cortante en la cara del área de contacto u_0
b) Cortante a una distancia 2d del perímetro crítico

2.5.5.1. Cortante en la cara del área de contacto u_0

La cantidad de presión aplicada a la cara del área de contacto no debe exceder el valor, independientemente de la cantidad de presión aplicada al ligamento al valor v_{max} dado por:

$$v_{max} = 0.5 k_2 f_{cd}$$

Donde:

- f_{cd}= resistencia a la compresión de diseño en cilindros de concreto f_{ck}/γ_c
- k_2= $0.6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$
- f_{ck}= resistencia a la compresión característica en cilindros de concreto

Para determinar la capacidad de carga máxima de punzonamiento se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{p,max} = v_{max} u_0 d^*$$

Donde:

u_0 = longitud del perímetro del área cargada, 4 x (d + 4t) para placa de apoyo cuadrada.

d^* = profundidad efectiva de la sección transversal. Se considera 0.75 veces el espesor de la losa, para concreto reforzado con fibras.

2.5.5.2. Cortante a una distancia 2d del perímetro crítico

Para determinar la capacidad de carga de punzonamiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_p = v_{Rd,c,min} u_1 d^*$$

La resistencia mínima al corte del concreto no reforzado es calculada de la siguiente manera:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

Donde:

u_1 = longitud del perímetro a una distancia 2d del área cargada, $4d \times \pi + 4 \times (d + 4t)$, para placa de apoyo cuadrada.

d^* = profundidad efectiva de la sección transversal. Se considera 0.75 por el espesor de la losa, para concreto reforzado con fibras.

$$k_s = 1 + \left(\frac{200}{d^*}\right)^{0.5} \leq 2.0$$

2.5.6 Juntas

Las juntas son los sitios por donde se deja que la losa se mueva libremente liberando tensiones. También, es la zona por donde se unen unas losas con otras. (Escámez Sánchez, Experto en diseño y ejecucion de soleras de edificaciones industriales, 2020). Se materializan para limitar áreas o jornadas de trabajo y, además, son necesarias para controlar la fisuración por efectos de contracción y alabeo, de forma tal, que no afecte negativamente el nivel de servicio del pavimento industrial. (Becker & Chaix, El hormigon como material para pisos industriales, 2019)

Las juntas deben transferir la carga vertical entre paños de losa, resistir los impactos de las ruedas de los montacargas y carretillas, las tensiones provocadas por el movimiento de las losas, los traqueteos provocados por el alabeo y soportar la corrosión.

Las juntas se clasifican según su funcionalidad en:

- Juntas de borde o aislación
- Juntas de construcción
- Juntas de dilatación
- Juntas de retracción o contracción

2.5.6.1. Juntas de aislación

Separan la losa de su contorno y no transmiten carga. El contorno de una losa está formado por las paredes, pilares, columnas y otros elementos singulares de la estructura o del almacén. Estas juntas, sirven para aislar la losa de los movimientos del edificio, y a la vez, aislar el edificio de los movimientos de la losa.

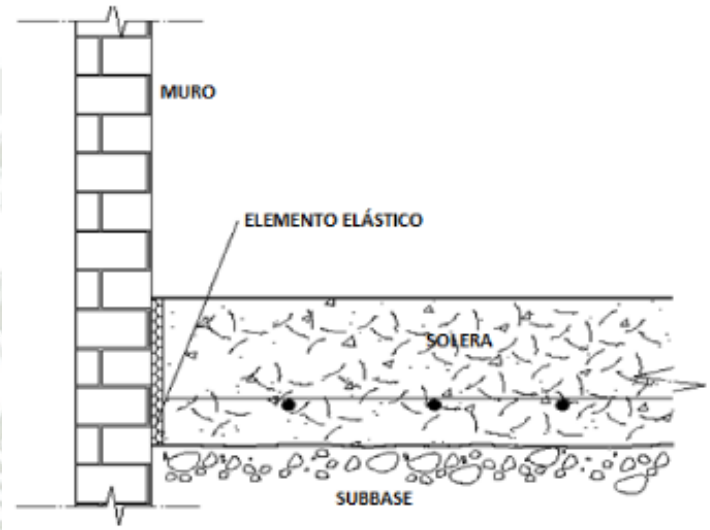
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En las juntas de contorno de las paredes se suele colocar una banda de material elástico (preferiblemente de espesor en torno a 1 pulg) la cual debe ser pegada paralelamente a la cara del elemento vertical con el fin de evitar la entrada de concreto entre la pared y la losa durante el vaciado de la losa.

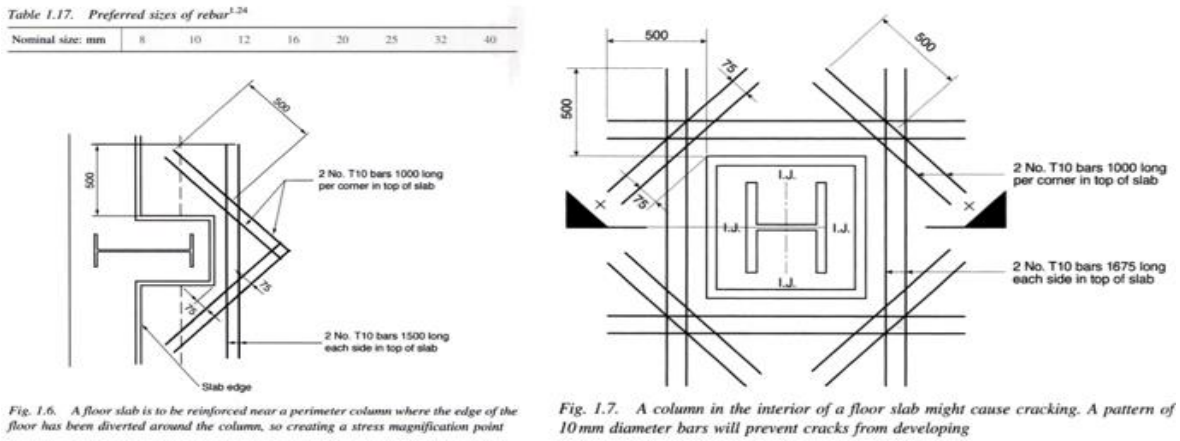
Figura 47: *Detalle de junta perimetral de aislamiento*



Reproducido de *"Dimensionamiento y diseño de juntas en los pavimentos industriales de hormigón"* por *Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2016*

Se recomienda reforzar una losa de piso con barras de acero para proporcionar resistencia adicional donde el borde del piso se ha desviado alrededor de la columna y/o pedestal, creando así un punto de aumento de tensiones y debilitando la losa (Knapton , 2003) siguiendo la distribución de aceros mostrada en la figura 48.

Figura 48: *Refuerzo de pedestales en esquinas*



Reproducido de *"Ground Bearing Concrete Slabs"* por *Jhon Knapton, 2003*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.6.2. Juntas de construcción

Son las juntas que se realizan por interrupción de la jornada de trabajo. Generalmente, estas juntas se diseñan en función de la capacidad diaria de producción del constructor relacionada a su metodología constructiva y/o capacidad de producción del concreto.

Son las juntas que más movimientos sufren, pues, aunque la losa este dividida por cortes de contracción, la losa tiende a moverse como un elemento monolítico y derivar movimientos a las juntas de construcción.

Dependiendo del caso, cuando las juntas de construcción se coloquen en reemplazo de juntas de contracción es necesario utilizar mecanismos de transferencia como pasadores o juntas machihembradas, y cuando se coloquen para unir paños cuya construcción no se ha realizado en simultaneo es necesario utilizar barras de unión corrugadas.

2.5.6.3. Juntas de dilatación

Son diseñadas únicamente para resistir las expansiones de la losa de concreto provocadas por los incrementos de temperatura. Son cada vez menos utilizados ya que, debido a la retracción de las losas, es difícil superar su longitud inicial, incluso aunque se produzca una dilatación térmica. (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2013).

Se utiliza la siguiente expresión para determinar la separación máxima entre juntas:

$$L = \frac{\Delta L}{\Delta T . \alpha}$$

Donde:

ΔL : Ancho de la junta de dilatación, mm.
L : Separación máxima entre juntas, m.
α : Coeficiente de expansión térmica del concreto, mm/m.
ΔT : Gradiente térmico de temperatura ambiente, °C.

2.5.6.4. Juntas de contracción o retracción

Las juntas de contracción alivian las tensiones por restricción generadas por contracción debido a secado y/o enfriamiento de las losas y, ocasionalmente, también controlan las fisuras de alabeo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

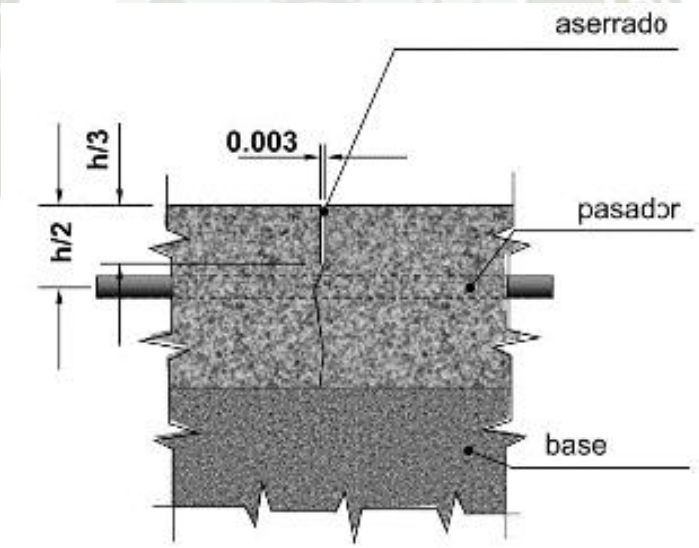
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se materializan a partir de un debilitamiento localizado producido por un corte de, al menos, 1/4 del espesor de la losa (en ocasiones se recomienda que este corte sea de 1/3 del espesor de la losa) induciendo la fisura en coincidencia con el aserrado, el cual es realizado con sierra de disco de diamante en medio húmedo cuando el concreto se encuentra endurecido, antes de las 24 horas desde la colocación del concreto, ya que la losa empieza a perder volumen por secado y necesita que se le marque los sitios por donde moverse.

La base de la distribución de los cortes de retracción debe realizarse tomando en cuenta la cuadricula formada por las columnas de la estructura, formando losas cuya relación de aspecto (largo/ancho) sea menor a 1.2.

Dependiendo de las cargas y otras condiciones, en las juntas de contracción suelen utilizarse mecanismos de transferencia como pasadores de sección circular, cuadrada, prismática, etc que permiten transmitir esfuerzos, evitar posibles asentamientos diferenciales en el tiempo y controlar la apertura de la junta.

Figura 49: *Detalle de junta de contracción con pasadores*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

2.5.6.5. Sistemas de transferencia de carga

Para el caso de juntas de contracción, la carga se transfiere a través de trabazón entre los agregados y/o dispositivos de transferencia de carga en el caso que se requieran.

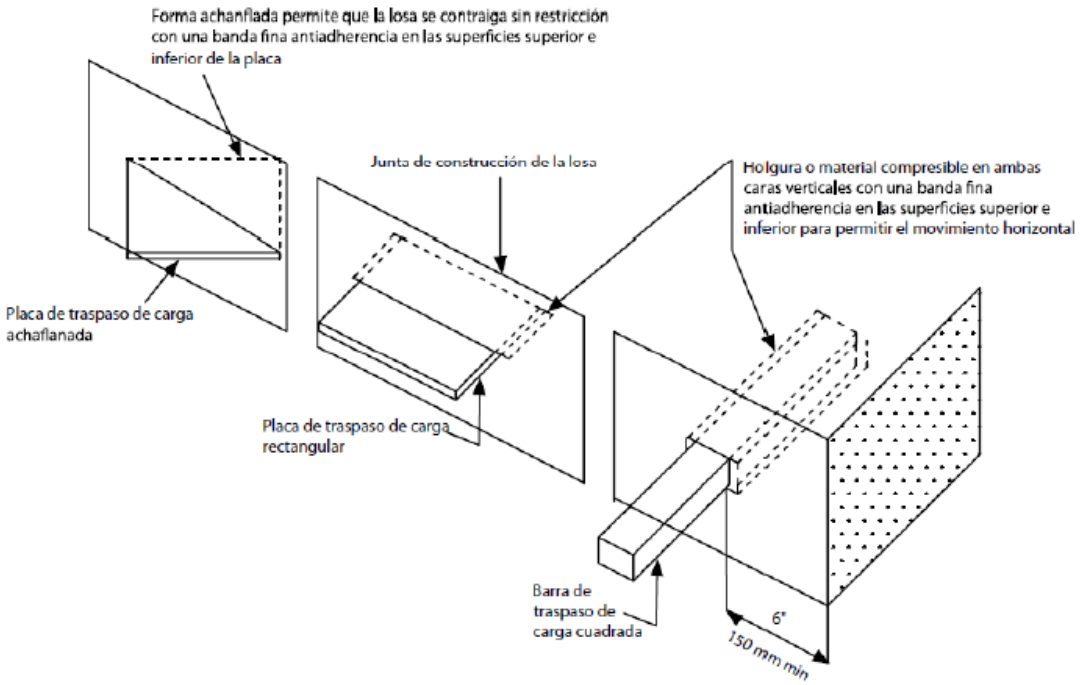
Para el caso de juntas de construcción, una adecuada transferencia de carga se puede lograr mediante machihembrado (ranura y lengüeta), dispositivos de traspaso de carga o juntas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

constructivas preformadas. Los métodos más comunes incluyen el uso de barras de traspaso de carga (circulares o cuadradas) y el uso de placas de traspaso de carga. (Instituto del cemento y del Hormigon de Chile)

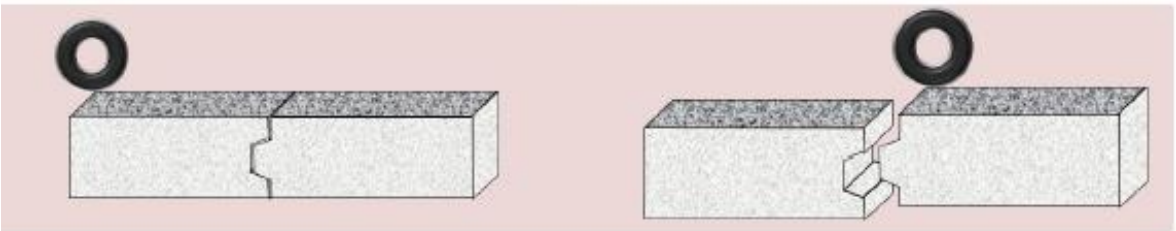
Figura 50: *Dispositivos de traspaso de carga en juntas*



Nota. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

El machihembrado entre losas, que hoy en día, aun se puede apreciar en algunos proyectos, se realiza con el fin de unir dos losas cambiando la forma geométrica de la propia unión. El problema surge cuando las juntas tienen mucha apertura, perdiendo eficacia y presentando movimiento entre losas al paso de los vehículos y montacargas.

Figura 51: *Esquema de junta machihembrada*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ante este problema, resulta más eficiente conectar las losas con algún dispositivo de traspaso de carga, liso y casi siempre enfundado, que permita la apertura de las losas, manteniéndolas unidas unas con otras. El diámetro, longitud y espaciamiento del pasador depende del espesor del pavimento y se recomienda utilizar las dimensiones de la tabla 13.

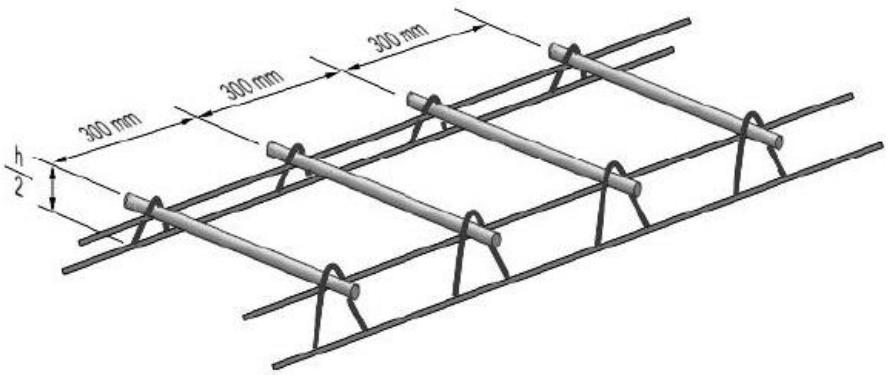
Tabla 13: *Dimensiones y longitudes de pasadores para juntas de contracción*

Espesor del pavimento (mm)	Diámetro del pasador (mm)	(pulg)	Longitud del pasador (mm)	Espaciamiento de pasadores de centro a centro (mm)
150 – 200	25	1	410	300
200 – 300	32	1 ¼	460	300
300 – 430	38	1 ½	510	380

Reproducido de *"Manual de carreteras – Sección suelos y pavimentos"* por *Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú, 2015*

La superficie de los pasadores debe ser lisa, libre de oxido y con tratamiento que impida la adherencia al concreto en todo su largo. En el caso de juntas de contracción, estas barras de traspaso de carga (circulares o cuadradas) deben posicionarse correctamente en la mitad del espesor de losa utilizando canastillas para mantenerse paralelos a la dirección del movimiento de las losas, con el fin de no resultar en una restricción que genere tensiones y posibles fisuras.

Figura 52: *Detalle tipo de sistema de canastillas para el posicionamiento de pasadores convencionales en juntas de contracción de pavimentos rígidos*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

Los pasadores de sección circular resultan muy eficientes para la transferencia de esfuerzos de corte entre losas, pero solo permite el movimiento transversal de las losas y restringe el movimiento longitudinal. Para prever eso, se pueden utilizar pasadores de sección cuadrada

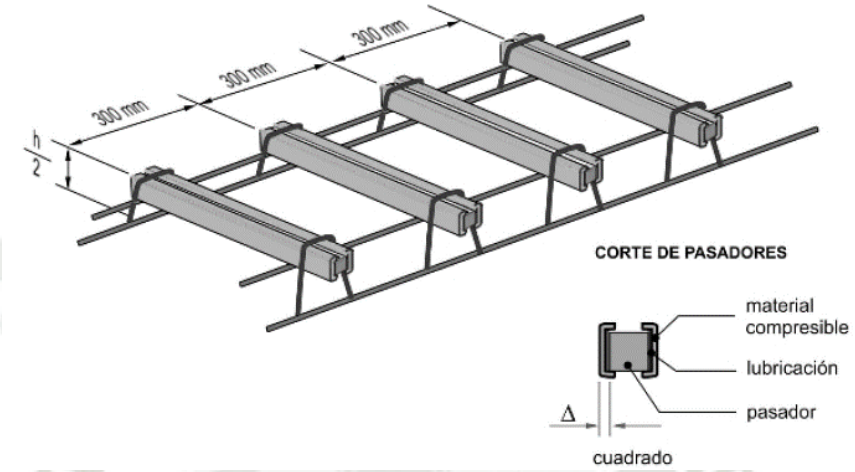
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

o rectangular a los que se coloca lateralmente un material compresible, permitiendo eventuales movimientos laterales que resultan muy útiles en aquellos casos donde no hay dirección predominante de movimiento como es bastante habitual en pavimentos industriales. (Becker & Chaix, El hormigon como material para pisos industriales, 2019)

Figura 53: *Detalle de sistema de pasadores de sección cuadrada en juntas de contracción y control en pavimentos industriales*



Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

En el caso de juntas de construcción, estas barras de traspaso de carga (circulares o cuadradas) deben ser lisas, estar alineadas y no tener rebabas, ya que cuando no guardan una perfecta horizontalidad, las losas se traban y se producen fisuras no deseadas en los márgenes de la junta en forma paralela. Las barras lisas de forma redonda además permiten un solo grado de libertad de movimiento en la junta (apertura).

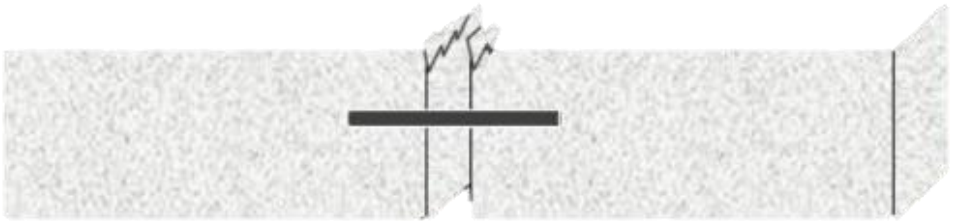
Cuando las losas presentan apertura en la junta, la conexión no se pierde ya que la barra es lo suficientemente larga, sin embargo, el problema presentado en el uso de barras de traspaso de carga (circulares o cuadradas) se da cuando las losas se separan mucho, ya que el borde de la junta queda expuesto al tráfico rodado, provocando un problema de rotura en los bordes de junta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

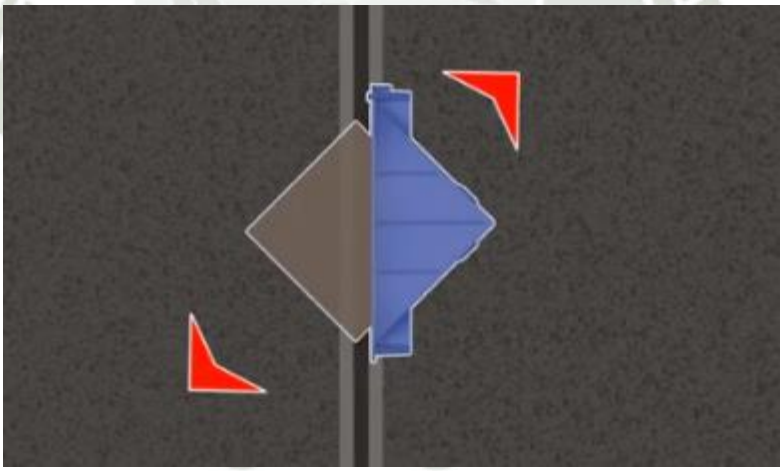
Figura 54: *Esquema de junta de construcción*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

Por otro lado, para juntas constructivas, resulta útil utilizar placas de trasferencia de carga trapezoidales o cuadradas, las cuales permiten el doble movimiento de las losas (apertura y laterales), dando a este mayor grado de libertad y, por lo tanto, evitando restricciones de cualquier tipo, además de transferir cargas y deformaciones verticales. Debido la variedad de geometrías disponibles en el mercado y dispositivos de instalación disponibles, se debe consultar a los fabricantes por las dimensiones recomendadas de sus productos.

Figura 55: *Detalle del sistema de transferencia de carga de un dowell con forma de diamante*



Reproducido de *"Diamond Dowel: Load Transfer System"* por *RC SANZ,2018*

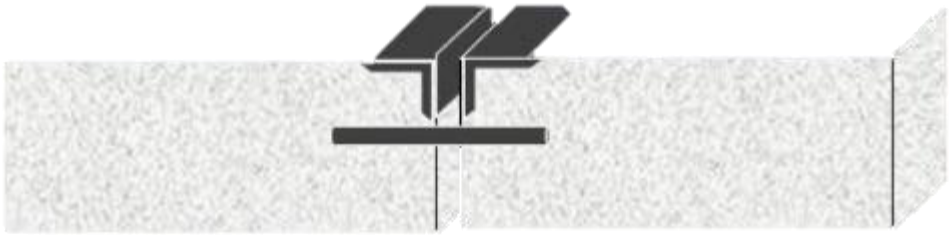
Con el objetivo de proteger las juntas, en ocasiones, se coloca refuerzos de acero en forma de ángulo, como se muestra en la figura 56.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

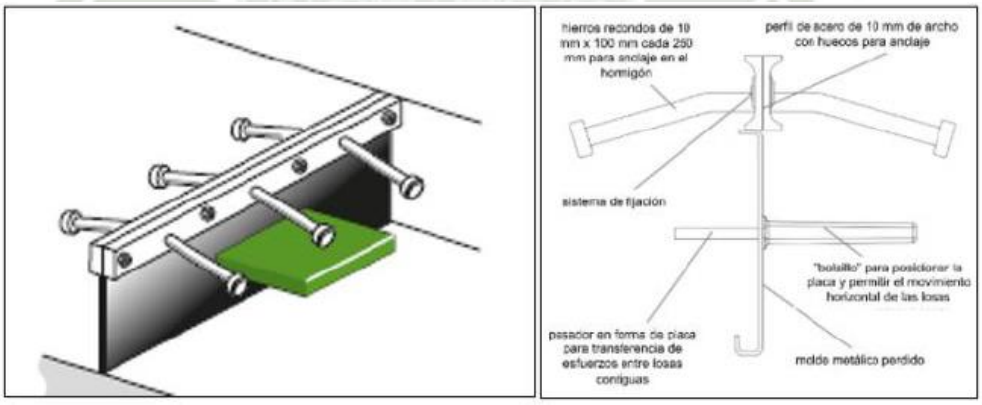
Figura 56: *Esquema de colocación de refuerzo en forma de ángulo en juntas de construcción.*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

Uniendo los dos conceptos de transferencia de carga y protección del labio, nace el concepto de junta constructiva preformada que funciona como encofrado perdido utilizando conectores en forma de placa o diamante con el labio perfectamente protegido por acero, que no solo permite la transferencia de esfuerzos y deformaciones entre losas contiguas, también permite pequeños movimientos en la dirección longitudinal de la junta. (Becker & Chaix, 2019) garantizando una calidad de terminación, durabilidad y nivel de servicio acorde con las necesidades de uso.

Figura 57: *Detalle de junta constructiva preformada Alphajoint*



Reproducido de *"Soluciones confiables para la construcción"* por *Prodac, 2020.*

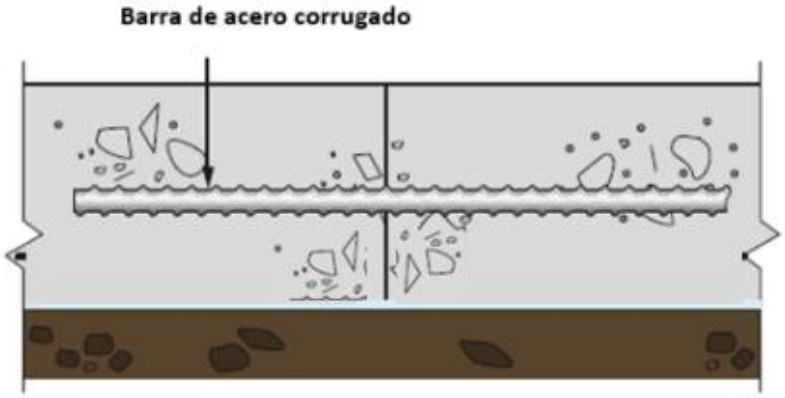
Cuando se colocan juntas de construcción para conectar paños cuya construcción no se ha realizado simultáneamente, se utilizan barras de acero corrugado que atraviesan las juntas, con el objetivo de mantenerlas cerradas. Con ello se consigue un gran efecto en la transferencia de carga evitando al mismo tiempo la aparición de escalonamiento no deseado. Las barras de acero requieren una longitud suficiente para conseguir una adherencia efectiva y hacer frente a los esfuerzos de tracción que tiendan a abrir las juntas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 58: *Detalle de junta constructiva con barras de acero corrugada para unir paños*



Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

Las dimensiones de barras de amarre recomendadas por el MTC en función del espesor de la losa se presentan en la tabla 14.

Tabla 14: *Dimensiones de barras de amarre para juntas constructivas*

Espesor de losa (mm)	Tamaño de varilla			Espaciamiento (cm)
	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (cm)	
150	12.7	1/2	66	76
160	12.7	1/2	69	76
170	12.7	1/2	70	76
180	12.7	1/2	71	76
190	12.7	1/2	74	76
200	12.7	1/2	76	76
210	12.7	1/2	78	76
220	12.7	1/2	79	76
230	15.9	5/8	79	91
240	15.9	5/8	79	91
250	15.9	5/8	81	91
260	15.9	5/8	82	91
270	15.9	5/8	84	91
280	15.9	5/8	86	91
290	15.9	5/8	89	91
300	15.9	5/8	91	91

Reproducido de *"Manual de carreteras – Sección suelos y pavimentos"* por *Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú, 2015*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

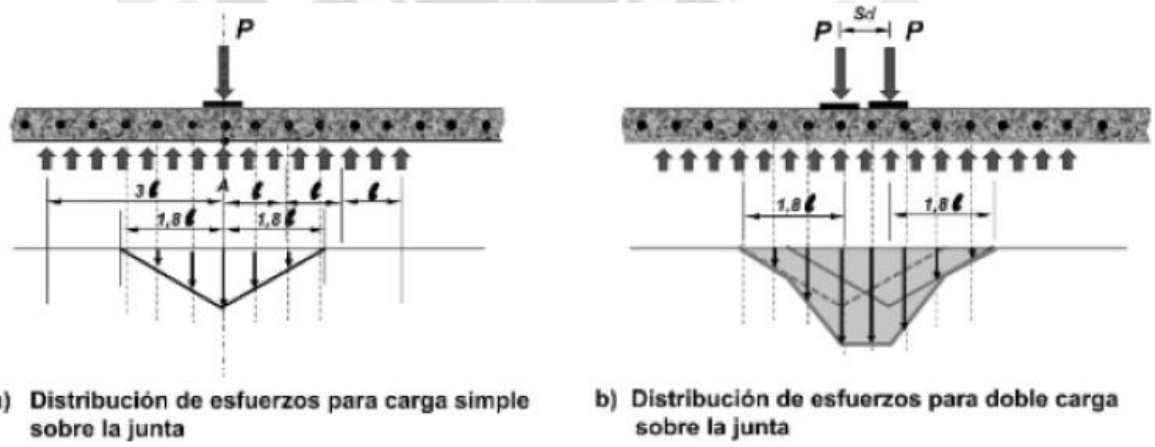
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.6.6. Diseño de juntas

Las juntas deben diseñarse adecuadamente para garantizar que las cargas se puedan transferir a cualquier losa adyacente y así eliminar los movimientos diferenciales verticales en las losas del suelo.

El dimensionado o verificación de dowells necesita previamente estimar la carga que cada uno de estos transmite entre losas. Un procedimiento simple y bastante aproximado consiste en distribuir los esfuerzos de las cargas puntuales sobre la junta en forma triangular en anchos de 1.8 veces el radio de rigidez relativa como se indica en la figura 59.

Figura 59: *Distribución de esfuerzos sobre pasadores para carga simple sobre junta y doble carga sobre la junta.*



a) Distribución de esfuerzos para carga simple sobre la junta

b) Distribución de esfuerzos para doble carga sobre la junta

Reproducido de *"Pisos industriales de hormigón, diseño, construcción y mantenimiento"* por *E. Becker & B. Chaix, 2019*

Una vez determinada la carga de diseño de los pasadores, se realiza un predimensionamiento utilizando las recomendaciones dadas por las distintas instituciones o realizando un cálculo analítico.

$$A_s = \frac{b \text{ x } f \text{ x } \gamma_c \text{ x } h}{100 \text{ x } S}$$

Donde:

A_s = Área de acero, cm^2/m

b = Distancia entre la junta considerada y la junta al borde libre más próximo, m.

f = Coeficiente de resistencia entre la placa y la subrasante o sub-base. Generalmente 2

γ_c = Peso específico del concreto, N/m^3.

h = Espesor de la placa de concreto, m.

S = Tensión admisible del acero, (MPa). En general 2/3 de tensión de fluencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$l = \frac{1}{2} x \frac{S \, x \, d}{\tau} + 7.5$$

Donde:

l = Longitud de la barra de construcción, cm.

d = Diámetro de la barra de construcción, cm.

τ = Tensión de adherencia entre el acero y el concreto, MPa. Generalmente 2.45 MPa.

Luego de seleccionar el diámetro del pasador, se procede a verificar si el pasador más solicitado en una determinada sección será capaz de tomar la carga de diseño. Para esto, el pasador debe verificar simultáneamente los esfuerzos individuales de corte, flexión y aplastamiento, pero también los combinados de corte y flexión. (Becker & Chaix, 2019)

a) Verificación al corte de pasadores:

Este valor debe compararse con la magnitud de la carga que se necesita transmitir a través del pasador. Si esta carga resulta menor a la capacidad de corte, la sección del pasador elegida verifica al corte, de lo contrario, será necesario incrementar la sección del pasador o, si fuera posible, reducir la separación hasta que la carga transmitida resulte menor a la capacidad al corte del pasador.

$$P_{sh} = 0.6 \, x \, \frac{f_y \, x \, A_v}{\gamma_s}$$

Donde:

- P_{corte}= capacidad al corte del pasador
- f_y= resistencia característica del acero del pasador
- A_v= área de corte del pasador (se toma 0.90 x la sección del pasador).
- γ_s= factor de seguridad del acero (generalmente 1.15)

b) Verificación a la flexión de pasadores

Asumiendo que las juntas tenderán a abrirse por efecto de la progresiva contracción del concreto y, si fuera el caso, por enfriamiento en la estación invernal los pasadores deberán verificar los esfuerzos generados. La capacidad de tomar flexión de un pasador se podrá estimar a través de la siguiente expresión:

$$P_{flexion} = \frac{2.f_y.z_p}{x.\gamma_s}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- $P_{flexion}$= capacidad a flexión del pasador
- z_p= sección plastificada del pasador ($z_p = \frac{{d_d}^3}{4}$ para secciones cuadradas o $z_p = \frac{{d_d}^3}{6}$ para secciones circulares).
- d_d= diámetro o ancho del pasador.
- x = apertura de junta.

c) Capacidad al aplastamiento del concreto por acción del pasador

El pasador, para transmitir los esfuerzos, necesita un contacto intimo con el concreto de las losas de piso. Para que esto se mantenga en el tiempo, el concreto que envuelve al pasador no se debe deteriorar en el tiempo. Utilizando la siguiente expresión se puede estimar la capacidad de carga ante este efecto:

$$P_{aplastamiento} = \frac{0.5.f_{cu}.b_1.d_d}{\gamma_c}$$

Donde:

- $P_{aplastamiento}$= capacidad al aplastamiento del concreto por acción del pasador.
- f_{cu}= resistencia cubica característica del concreto.
- b_1= longitud efectiva (no usar valores superiores a $8d_d$)
- γ_s= factor de seguridad del concreto (generalmente 1.5)

d) Verificación ante la combinación de esfuerzos de corte y flexión

Se debe verificar que la carga individual de los pasadores ante la capacidad de tomar los esfuerzos combinados de corte y flexión cumpla el siguiente requisito:

$$P_{pasador} \leq \frac{1.4}{\frac{1}{P_{sh}} + \frac{1}{P_{flexion}}}$$

Al igual que en las otras verificaciones, de no cumplir con este requisito, el pasador debe ser redimensionado.

2.5.6.7. Separación entre juntas

Debido a que el tamaño de las losas está condicionado fundamentalmente por las tensiones inducidas debido a la tasa de secado del concreto (contracción por secado) y los gradientes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de temperatura y humedad que generan alabeos, la separación entre juntas es uno de los parámetros fundamentales a evaluar durante la etapa de proyecto. (Becker & Chaix, 2019)

Existen distintos factores que influyen en la elección de la separación entre juntas más conveniente, tales como:

- Espesor de losa
- Grado de restricción externa (fundamentalmente, fricción entre losa de piso y la base de apoyo)
- Características propias del concreto, fundamentalmente, rigidez, contracción y trabajabilidad.
- Tiempo de mantenimiento de condiciones adecuadas de curado
- Gradientes de temperatura y humedad ambiente

Las juntas usualmente son ubicadas en los ejes donde se encuentran las columnas, con juntas intermedias localizadas en espacios iguales entre estos ejes.

Existen varias posiciones técnicas de diferentes instituciones para el dimensionamiento de las juntas de control, las cuales, pueden ser diseñadas para dos tipos de losas sobre el suelo:

a) Losa sin refuerzo

En este tipo de losas, el dimensionado de juntas de control se basa en el comportamiento de la losa sometida a retracción plástica. Se recomienda que la losa, ya sea rectangular o cuadrada, tenga dimensiones similares, en relación con $L_{max}/L_{min} < 1.2$.

La tabla 15 muestra las separaciones de junta recomendada por la PCA (Portland Cement Association) para controlar la fisuración de pavimentos de concreto sin refuerzo y para pavimentos de concreto reforzados solo para limitar el ancho de fisuras, distintas de las reforzadas continuamente con más del 0.5% de acero por área transversal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

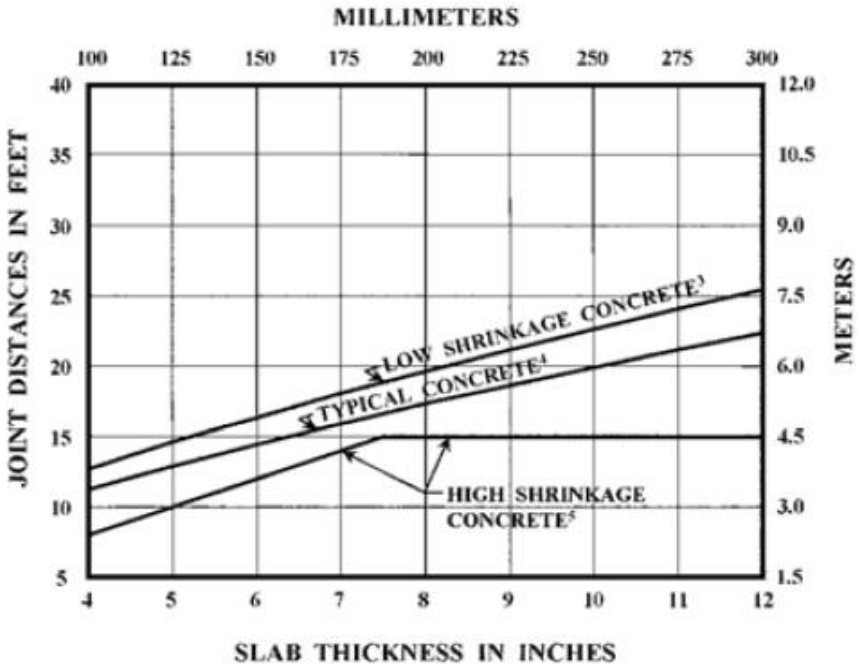
Tabla 15: *Separación entre juntas máximas recomendadas por la PCA para pavimentos industriales en función del espesor del pavimento y las características de la mezcla de concreto utilizada.*

Espesor de la losa (cm)	Concreto con asentamiento entre 10 y 15 cm		Concreto asentamiento menor a 10 cm
	Agregado Grueso Tmax ≤ 19 mm	Agregado Grueso Tmax > 19mm	
12.5	3.00	4.00	4.50
15.0	3.60	4.50	5.50
17.5	4.30	5.50	6.40
20.0	4.90	6.00	7.30
22.5	5.50	7.00	8.20
25.0	6.00	7.30	9.10

Nota. Para tamaños de losas mayores a los recomendados en la tabla, será necesario utilizar modelos matemáticos para estimar y verificar las tensiones de contracción y alabeo. Reproducido de *"Seminario Internacional sobre nuevas tecnologías para pisos industriales"* por *J.Holland & otros, 2001*

La guía para el diseño de losas apoyadas en el terreno reportada por el comité 360 del ACI (American Concrete Institute) también presenta recomendaciones para el espaciado de juntas. La figura 60 muestra espaciamientos recomendados en función al espesor y el tipo de concreto utilizado.

Figura 60: *Separación entre juntas máximas recomendadas por el ACI para pavimentos industriales en función del espesor del pavimento y el tipo de concreto*



Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Losas reforzadas para retracción y temperatura

La "Subgrade drag equation" se aplica para dimensionar el acero en función de la temperatura y la retracción en los códigos utilizados habitualmente para el diseño de pavimentos apoyados sobre el terreno sin refuerzo de flexión, como el PCA (Portland Cement Association), el WRI (Wire Reinforced Institute) y el COE (Corp of Engineers).

$$A_s = \frac{FLw}{2f_s}$$

Donde:

A_s = Área de acero en pulgada cuadrada por pie lineal;

F = Factor de fricción entre la placa de concreto y la subbase; generalmente tomado entre 1.5 – 2.0.

L = Distancia prevista entre las juntas;

w = Peso de la losa en psf, asumiendo 12.5 psf por pulgada de espesor.

f_s = Esfuerzo admisible del acero de refuerzo en psi

Dado que esta fórmula no dimensiona la superficie necesaria para un uso estructural, es posible conseguir distancias superiores a 10 metros y hasta un máximo de 30 metros. Esto permite comprobar hasta qué punto se puede aprovechar un buen espaciado sin la presencia de armaduras de refuerzo.

Para demostrar que, con el mismo comportamiento estructural, el concreto reforzado con fibras tiene unas características mecánicas iguales o superiores a las que se podrían conseguir con una malla electrosoldada de acero, se calculan los momentos resistentes de la sección armada y del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG, considerando una sección rectangular como resistencia a flexión del elemento reforzado con fibras.

- Momento resistente de la sección armada es igual a:

$$M_{res} = 0.9.(f_y.A_s.d)$$

Donde:

M_{res} = Momento resistente de la sección armada.

A_s = Área resistente de la malla.

d = Altura útil (h/3 o 5 cm; el menor).

f_y = Esfuerzo resistente del acero.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Momento resistente del concreto reforzado con fibras de acero:

$$M_{res} = R_{eq}.\frac{bh^2}{6}$$

Donde:

M_{res} = Momento resistente de la sección de concreto reforzada con fibras de acero.

R_{eq} = Resistencia equivalente del concreto reforzado con fibras de acero, considerando que la sección es homogéneamente distribuida y reforzada.

$S_x = \frac{bh^2}{6}$ = Módulo de resistencia de la sección rectangular.

2.5.6.8. Sellado de juntas

Se realiza con el propósito de minimizar el ingreso de materiales incompresibles y el ingreso de agua, evitando así, una reducción de la capacidad estructural global del pavimento, infiltración de agua a la interfase losa – apoyo con el riesgo de pérdida de soporte por erosión y desportillamiento de los labios de las juntas, pudiendo utilizarse selladores líquidos o selladores prefabricados.

Los selladores prefabricados se colocan en las juntas a presión y deben quedar comprimidos entre un 20 y un 50% de su ancho normal durante toda su vida. En este caso, las dimensiones del reservorio son aconsejadas por el fabricante.

El buen desempeño de los selladores líquidos depende en gran medida de la adherencia a largo plazo con las caras de la junta, la buena limpieza previa a la instalación es clave para su buen desempeño. Existen diferentes tipos: Aplicación en frio o en caliente, de uno o dos componentes y autonivelantes o de terminación con herramienta. Requieren la aplicación de un cordón de respaldo y se debe respetar el "Factor de forma" según el material de sellado:

$$\text{Factor de forma (FF)} = \frac{\text{Profundidad (E)}}{\text{Ancho (A)}}$$

Este factor de forma depende de la naturaleza del sellador y varía entre 0.5 y 2.0, con un valor típico de 1.0 para selladores asfalticos y de 2.0 para selladores de silicona.

En la junta se realiza un cajeo que permite que el sello cuente con un ancho suficiente como para absorber las elongaciones y compresiones a las que estará sometiendo en servicio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El dimensionamiento del reservorio se realiza de la siguiente manera:

$$\Delta L = CL(\alpha \Delta T + \varepsilon)$$

Donde:

ΔL : Movimiento de las losas.

C : Coeficiente de fricción; 0.65 para bases estabilizadas, 0.80 para bases granulares.

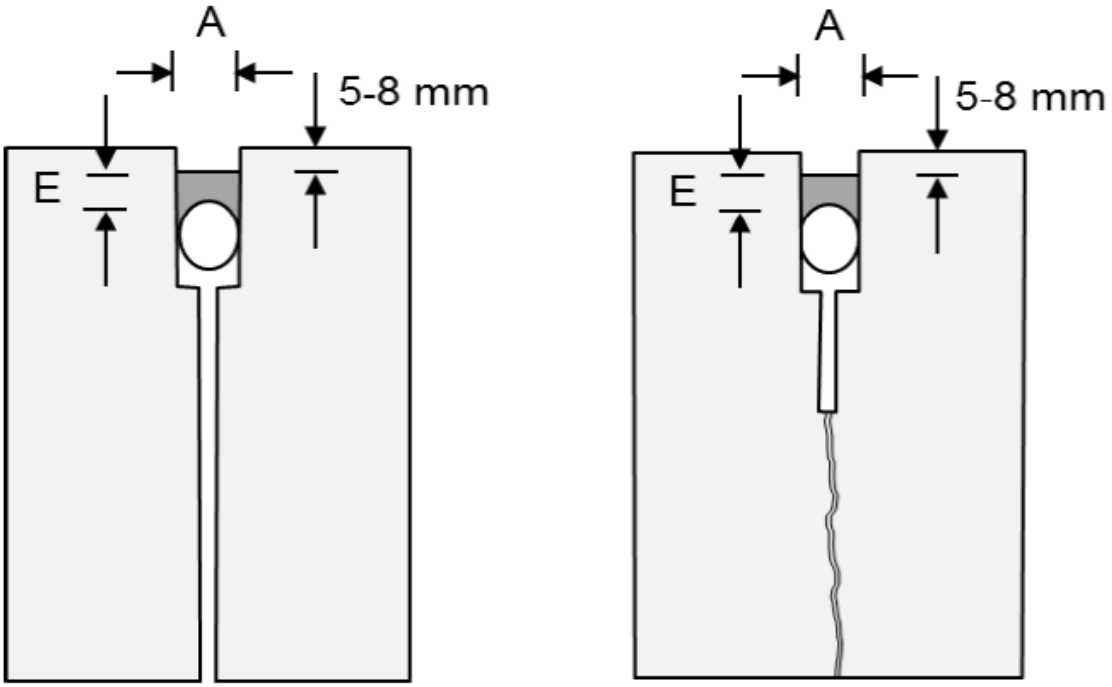
L : Longitud de la losa, mm.

α : Coeficiente de expansión térmica del concreto, mm/m.

ΔT : Gradiente térmico (Máxima temperatura que alcanza el concreto en su colocación y temperatura más baja del año).

ε : Coeficiente de contracción del concreto.

Figura 61: *Esquema de cajeado y sellado para una junta de construcción (izquierda) y junta de contracción (derecha).*



Reproducido de *"Diseño y construcción de juntas en pavimentos de hormigón"* por *Instituto del Cemento Portland Argentino.*

Para efectos de cálculo, la guía de diseño AASHTO correlaciona el coeficiente de retracción del concreto con el valor de la resistencia a la tracción indirecta, tal como se muestra en la tabla 16.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 16: *Valores recomendados de correlación del coeficiente de contracción del concreto con el valor de resistencia a la tracción indirecta.*

Resistencia a la tracción indirecta, MPa	Coeficiente de contracción (mm/mm)
< 2.1	0.0008
2.8	0.0006
3.5	0.00045
4.2	0.0003
> 4.9	0.0002

Reproducido de la guía de diseño *AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos"* por *American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.*

Tabla 17: *Valores típicos de coeficientes de expansión térmica de acuerdo al tipo de agregado utilizado en la mezcla de concreto.*

Tipo de agregados	Coeficiente de expansión térmica, $x10^{-6}$ °C
Canto rodado silíceo natural (CRS)	12.3
Canto rodado silíceo triturado (CRST)	11.7
Piedra partida granítica (PPG)	9.3
Piedra partida basaltica (PPB)	8.8
Piedra partida dolomitica (PPD)	10.4
Canto rodado de Patagonia natural (CRP)	8.9
Canto rodado de Patagonia triturado (CRPT)	9.0
Mezcla CRS + PPB	10.7

Reproducido de *"Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto"* por *Instituto del Cemento Portland Argentino, 2014.*

El ancho de junta requerido es:

$$W = \frac{\Delta L}{S}$$

Donde:

W : Ancho de junta de contracción.

ΔL : Apertura de junta causada por cambios de temperatura y contracción por secado del concreto.

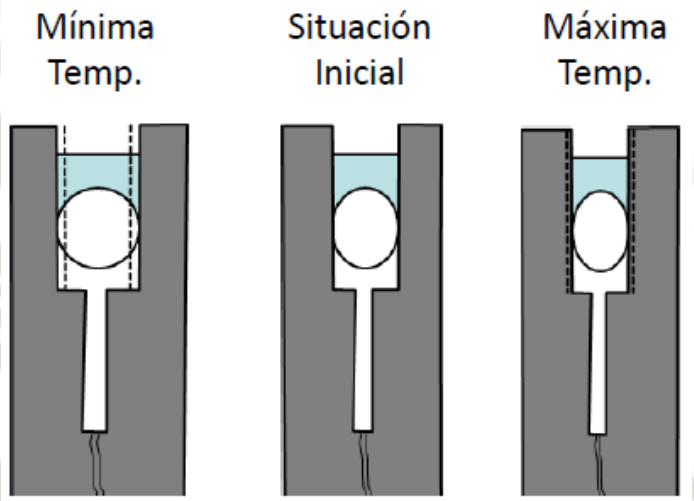
S : Deformación especifica máxima admisible del material de sellado. Para asfalto S = 0.25 mm/mm (25%) y para selladores de silicona S = 0.50 mm/mm (50%).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El dimensionamiento del reservorio de las juntas se realiza calculando el acortamiento máximo por contracción del concreto y la elongación máxima de la losa debido a cambios de temperatura, con estos cálculos y con las especificaciones del sellador a emplear se dimensiona el ancho del reservorio y luego, en función al factor de forma adoptado se calcula la altura de este. Por último, se calcula el diámetro mínimo del cordón de respaldo a emplear, el cual debe tener un ancho mínimo del 25% mayor que el ancho de caja

Figura 62: *Esquema situacional del sello de junta sometido a la temperatura mínima y máxima del concreto en servicio.*



Reproducido de *"Diseño y construcción de juntas en pavimentos de hormigón"* por *Instituto del Cemento Portland Argentino.*

2.5.7 Acabados superficiales

Los pavimentos industriales son diseñados y ejecutados para cumplir ciertos requisitos especiales que presentan los sectores industriales, la logística, así como todas aquellas actividades análogas que necesitan suelos de altas prestaciones, máxima durabilidad y mínimo mantenimiento (Asociacion Española de Pavimentos Continuos, 2020). Los pavimentos, en contraste con otros elementos estructurales de concreto que deben ser acabados, es que no presentan encofrados en su cara vista como si lo hacen los muros, vigas y columnas.

El proceso de acabado se realiza con el fin de lograr características funcionales como: regularidad, resistencia al desgaste y resistencia al deslizamiento. De esta forma, los acabados superficiales se pueden clasificar en:

a) Tratamientos sobre concreto fresco
b) Tratamientos sobre concreto endurecido

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.7.1. Tratamientos sobre concreto fresco

2.5.7.1.1. Fratasado, semipulido o pulido

Es un tratamiento superficial que compacta y alisa la superficie del concreto, mediante la acción mecánica de máquinas fratasadoras provistas de hélices, a las que se le acoplan herramientas metálicas que pueden tomar distintos grados de inclinación con respecto a la superficie del pavimento.

Se emplean principalmente en los siguientes lugares: naves industriales, almacenes logísticos, playas de camiones, caminos, vías de diverso tránsito, locales comerciales, zonas de aparcamiento, zonas peatonales, paseos marítimos, pasarelas, recintos de recreo, parques, plazas y paseos.

Según la técnica e intensidad utilizada en la ejecución se pueden lograr diferentes grados de acabados según el tipo de poro que se obtenga:

- Fratasado: de poro medio y superficie rugosa.
- Semipulido: de poro medio-bajo y superficie lisa, poco rugosa.
- Pulido: poro bajo o nulo logrando una superficie muy lisa, densa y compacta.

2.5.7.1.2. Cepillado

Es un tratamiento superficial que se realiza con el fin de obtener una textura estriada poco acentuada, lo que se consigue arrastrando un cepillo a lo largo de la superficie del concreto. Generalmente se realiza después de las operaciones de fratasado. El cepillo típicamente utilizado para este fin tiene un ancho comprendido entre los 60 y los 120 cm. Las características de las cerdas se seleccionan en función de las características del estriado que se quiera conseguir. El cepillo debe tener un mango largo de modo que se pueda arrastrar sobre la superficie sin necesidad de caminar sobre el concreto. Este acabado es muy adecuado en aquellos casos en los que se deba conseguir una buena resistencia al deslizamiento. (Asociacion Española de Pavimentos Continuos, 2020)

2.5.7.1.3. Concreto Fotocatalítico

El concreto fotocatalítico es una tecnología basada en partículas de dióxido de titanio que se puede aplicar al cemento blanco o gris sin afectar su desempeño. Su principal característica es la capacidad de eliminar sustancias adheridas a su superficie que puedan causar algún tipo de contaminación, mediante la acción de la luz natural o artificial, que provoca un fuerte

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

proceso de oxidación, los contaminantes más orgánicos y algunos inorgánicos son neutralizados y luego, a través de un proceso de lavado, las partículas contaminantes son removidas. Así, la superficie se mantiene limpia y no requiere la aplicación de químicos potencialmente dañinos.

Se emplea en naves industriales, almacenes logísticos, locales comerciales, zonas de aparcamiento, zonas peatonales, paseos marítimos, pasarelas, recintos de recreo, parques, plazas o paseos.

Su ejecución se realiza cuando el concreto se encuentra en estado fresco, aplicando una capa de rodadura de polvo endurecedora (que lleva incorporada la tecnología fotocatalítica), en distintas fases de apertura y cierre de poro, las cuales se logran con máquinas fratasadoras provistas de hélices, a las que se acoplan herramientas metálicas que, gracias a su movimiento rotatorio, permiten pulir y alisar la superficie de concreto, dejando superficies densas y extremadamente duras y, en este caso, dotadas de capacidad fotocatalítica. (Asociacion Española de Pavimentos Continuos, 2020)

2.5.7.2. Tratamientos sobre concreto endurecido

2.5.7.2.1. Concreto pulido diamantado

Este tratamiento superficial consiste en atacar mecánicamente la superficie del suelo con máquinas pulidoras profesionales desbastadoras dotadas de útiles diamantados de diferentes grados para igualar a un plano la superficie hasta conseguir una superficie densa, sin poros y brillante. Se emplea principalmente en locales comerciales, oficinas, restauración e industrias ligeras. (Asociacion Española de Pavimentos Continuos, 2020)

2.5.7.2.2. Concreto densificado lustrado

Este tratamiento superficial consiste en la utilización de máquinas de cepillos textiles diamantados y densificadores químicos que funcionan a altas revoluciones, generando conglomerados monolíticos continuos de alta dureza, estética, brillo y reflectividad que permite densificar la superficie de un concreto pulido, aumentar su dureza superficial y su brillo mediante abrillantados-lustrados. Se emplea principalmente en locales comerciales, oficinas, restauración e industrias ligeras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Su ejecución se realiza cuando el concreto se encuentra endurecido, procediéndose a pulir y tras finalizar, aplicar el tratamiento densificado y el posterior abrillantado con máquinas de altas revoluciones.

2.5.7.2.3. Preparación de superficie para recubrimiento

Se emplean para preparar la superficie del pavimento de concreto para un recubrimiento, o bien para incrementar la resistencia al deslizamiento. Estos acabados pueden ser:

a) Chorro de granalla: Procedimiento utilizado para escarificar la superficie del pavimento mediante la acción mecánica de partículas de acero.
b) Chorro de arena: Proyección sobre la superficie de un chorro de arena de sílice, de tamaño comprendido entre 1 y 2 mm, mediante un compresor de caudal variable con una presión de 7 atmosferas aproximadamente.
c) Escarificado: Fresado mecánico del soporte mediante maquina fresadora equipada con un tambor de cuchillas de carburo de tungsteno, que penetran en el concreto a la profundidad deseada (generalmente 4-5 mm). (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2000)

2.5.7.3. Capas suplementarias de terminación

La obtención de un pavimento de alta calidad puede alcanzarse mediante la utilización de concretos de calidad y buenos procedimientos de acabado, o bien mediante la utilización de capas suplementarias que permitan alcanzar los requisitos especificados a la superficie del pavimento. Se trata de capas de mortero que se colocan sobre la superficie con los siguientes propósitos:

- Proporcionar alta resistencia al desgaste
- Proporcionar resistencia a ataques químicos
- Reparar defectos superficiales

2.5.7.3.1. Incremento de la resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste se define como la resistencia que tiene una superficie a ser degradada en el tiempo por una acción cíclica o fricción. El incremento de la resistencia al desgaste se logra añadiendo endurecedores que pueden ser minerales o químicos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Endurecedor mineral

El endurecedor mineral se añade a la superficie del concreto durante el proceso de fraguado mediante espolvoreo en seco o como mortero.

El espolvoreo en seco puede ser manual o mecánico y consiste en espolvorear el endurecedor sobre la superficie húmeda del concreto, para que el endurecedor tome esa humedad y fragüe de forma única con el resto del pavimento.

El espolvoreo en seco manual se puede realizar a través de un operario o utilizando un carro dosificador. En ambos casos el operario debe esperar que el concreto pueda soportar su peso, pero no puede esperar mucho tiempo ya que se necesita humedad para hidratar el cemento que compone el endurecedor. El rendimiento de espolvoreo manual es de 3 a 4 kilos de endurecedor por metro cuadrado. Cuando se utiliza carro dosificar se puede aplicar una mayor cantidad de endurecedor elevando el rendimiento de 4 a 6 kilos por metro cuadrado.

El espolvoreo con espolvoreadora mecánica permite espolvorear sobre la superficie del concreto recién extendido una buena cantidad de material. La maquinaria no pisa el concreto y desde fuera del encofrado, y al mismo tiempo que el avance del frente de vaciado, puede ir dejando ya el endurecedor aplicado en la superficie. Esta técnica de espolvoreo es la más recomendada ya que utiliza una cantidad de producto uniforme y se puede controlar mediante pesajes de control durante el proceso de construcción. El rendimiento con espolvoreado mecánico es de 8 a 9 kilos por metro cuadrado con garantías de hidratación y pegado total sobre la superficie.

Tras su incorporación se fratasa el concreto y se le da el acabado deseado. Estos endurecedores pueden ser coloreados, por lo que las capas finales no solo sirven para incrementar las resistencias sino también para dotar al pavimento con el acabado estético deseado.

Cuando el endurecedor lleva algún tipo de pigmento y se aplica espolvoreado, el cemento del concreto se mezcla con el endurecedor y los colores pueden verse afectados con tono grisáceos. Para resolver este problema el endurecedor necesita agua para hidratarse y cuando hay mucha cantidad de producto, el concreto no tiene suficiente humedad para ello. Si se requiere aplicar grandes cantidades de endurecedor (12 a 18 kg/m^2), se debe hidratar previamente conformando con ello un mortero. Este mortero se debe aplicar en el mismo momento en el que se aplica el espolvoreo, es decir cuando el concreto puede ser pisado,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

pero todavía está húmedo y se dejan huellas. Para ello se colocan unas varillas en el concreto (para asegurar el espesor de mortero a aplicar) y se extiende la mezcla resultante. Se puede extender el mortero de forma uniforme mediante herramientas manuales.

- Endurecedor químico

El endurecedor químico es aquel producto que, aplicado sobre el concreto en su superficie ya endurecida, hace que esta se vuelva más duro y resistente a la abrasión. Se aplican con posterioridad a la construcción del pavimento y cuando el concreto ha adquirido toda su resistencia. Para su aplicación se necesita realizar un proceso de pulido diamantado previo de la superficie del concreto antes de aplicarlo. Este proceso de pulido se realiza con piedras de diamante de distinto grano que le confiere a la superficie un aspecto satinado. Los endurecedores químicos necesitan ser mantenidos o reaplicados pasado un periodo de tiempo determinado, ya que su poder de penetración en el concreto es limitado y el espesor de la capa endurecida es muy pequeño.

2.5.7.3.2. Incremento de la resistencia al ataque químico

El concreto, por lo general, es vulnerable al ataque de ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos concentrados, sales y aceites de uso doméstico. Con el objetivo de evitar el deterioro del pavimento producido por el ataque de estos productos, se opta por aumentar la resistencia del concreto a los ataques químicos, o bien, protegerlo mediante la aplicación de un tratamiento superficial especifico.

Para aumentar la resistencia del concreto a los ataques químicos provenientes del terreno a través de agentes disueltos en el agua, se requiere minimizar la porosidad del concreto, a fin de evitar la penetración de los agentes agresivos, lo cual se consigue, aumentando el contenido de cemento, reduciendo la relación agua/cemento, compactando y curando adecuadamente el concreto. En estos casos es recomendable la utilización de cementos resistentes a los sulfatos ya sea tipo II (MS) o V (HS).

La protección del concreto contra el ataque químico, proveniente de agentes externos mediante la aplicación de un tratamiento superficial se puede realizar con diferentes productos (sellados a base de poliuretanos o resinas, capas suplementarias, etc) tomando en cuenta las consideraciones en la prescripción del pavimento. También, debe tenerse en cuenta la protección de juntas y fisuras por las que puede progresar el ataque al concreto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Estas deben sellarse con un material adecuado, que sea resistente a los agentes agresivos y que tenga la elasticidad necesaria para mantener la estanqueidad.

2.5.8 Regularidad Superficial

La regularidad superficial se refiere al grado con que la superficie de un pavimento se aproxima a la superficie teórica del proyecto (en términos de planicidad).

Los pavimentos industriales interiores deben ser planos y horizontales para proporcionar un uso adecuado a la actividad industrial, así como proporcionar comodidad y seguridad al tránsito rodado. La regularidad de la superficie debe garantizarse en base a dos parámetros no ligados entre sí: planeidad (grado de aproximación del pavimento a una superficie plana) y nivelación (grado de horizontalidad de la superficie del pavimento).

Normalmente son las especificaciones de la maquinaria a utilizar las que determinan las necesidades de planimetría del suelo. En ese aspecto los requerimientos vienen dados por tres factores:

a) Altura de paletización: A mayor altura mayor necesidad de nivelación del suelo

b) Velocidad de operación: A mayor velocidad e intensidad de tráfico, mayor necesidad de planeidad del pavimento.

c) Tipo de tráfico:
   - Trafico aleatorio: Corresponde a carretillas que se mueven libremente por el almacén. Un almacén cuyo pasillo (espacio entre estantes) sea de 2.5 metros o más, permite que el montacargas maniobre para la colocación de la carga y por lo tanto su tráfico será aleatorio.
   - Tráfico definido: Corresponde a máquinas que circulan por una zona definida y fija, sin posibilidad de maniobra. Suelen colocarse en pasillos estrechos (menores de 2.5 metros de ancho) y son guiadas por algún sistema automático. La maquinaria es capaz de colocar la mercancía en los laterales sin maniobrar (carretilla trilateral).

Es necesario tener en cuenta si el pavimento va a estar sometido a un tráfico con una trayectoria definida, en cuyo caso pueden definirse perfiles detallados, o a un tráfico desconocido, en cuyo caso deben utilizarse parámetros estadísticos. Esto implica extrapolar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

los resultados obtenidos en puntos o líneas superficiales a todo el pavimento y establecer tolerancias diferentes a las del primer escenario.

La regularidad superficial de un pavimento industrial puede evaluarse utilizando cualquiera de los métodos siguientes:

- Sistemas de medida con regla.
- Sistema de números FF y FL.
- Sistema F_{min} para tráfico guiado.
- El sistema de la Concrete Society (Reino Unido) para áreas de tráfico definido.

2.5.8.1. Sistemas de medida con regla

Sistema de medición tradicional que normalmente emplea un nivel de 3 metros, rodante o directamente apoyado sobre la superficie del pavimento, con la que se mide las irregularidades existentes bajo la misma, permitiendo obtener una tolerancia de planeidad, presentando los siguientes inconvenientes:

- No está sujeta a un ensayo estandarizado en el que se sigue un procedimiento.
- El sistema solo mide planicidad, y no, nivelación.
- Sólo mide la amplitud de la irregularidad, pero no su longitud de repetición, que tiene un impacto significativo en la circulación de vehículos.

2.5.8.2. Sistema de Números F

Es un sistema de medida y evaluación de resultados desarrollado por el comité 117 del ACI (American Concrete Institute) a finales de los años 70.

2.5.8.2.1. Sistema de números FF y FL

El sistema utiliza dos parámetros para evaluar la calidad de la superficie de un pavimento y se utiliza para el caso de tráfico aleatorio. Estos parámetros son:

- El número de planeidad, FF (Face flatness), el cual define la ondulación de la superficie.
- El numero de la nivelación, FL (Face levelness), el cual define la nivelación u horizontalidad de la superficie.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

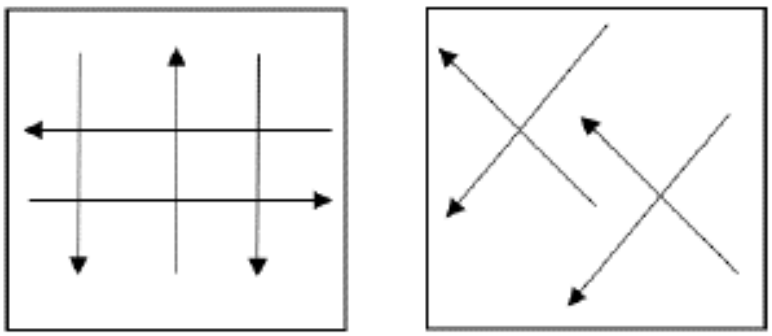
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los números FF y FL se miden en líneas rectas sobre la superficie del pavimento. Es necesario realizar mediciones de precisión a intervalos constantes de 300 mm a lo largo de cada una de estas líneas.

El método de evaluación de superficies es estadístico, limitando la medición a determinadas líneas colocadas en una determinada posición del área de evaluación. Estas líneas deben cumplir, en total, una dimensión mínima. Es decir, que la longitud total debe ser al menos igual a una décima parte del área de la sección en metros cuadrados. La disposición de las líneas de medida no debe favorecer ninguna dirección dentro de la sección. Por ello se seleccionan líneas dispuestas a 45° o bien líneas longitudinales o transversales (formando cruces).

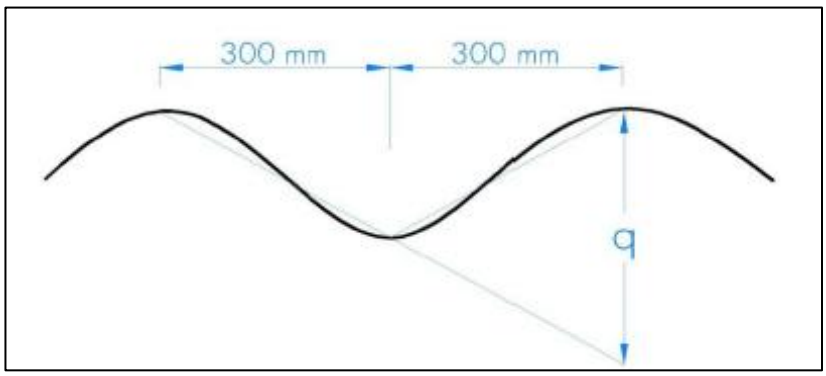
Figura 63: *Disposición de líneas para evaluación superficial*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

La diferencia de elevación entre puntos separados 300 mm en una distancia horizontal de 600 mm se utiliza para calcular la diferencia de elevación en cada una de las rectas en las que se realizan las mediciones. El parámetro q, en milímetros, representa la curvatura.

Figura 64: *Medición del desnivel para obtención del parámetro q*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

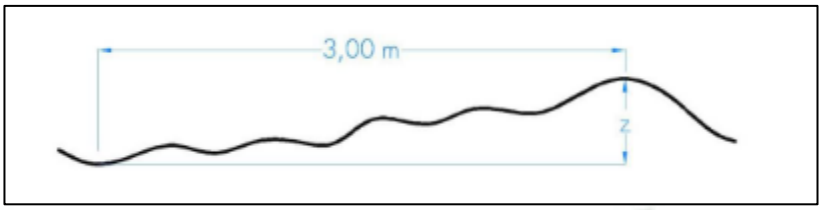
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De la misma forma, se miden las diferencias entre puntos distanciados tres metros para poder determinar como de nivelada esta la línea (parámetro z).

Figura 65: *Medición del desnivel para obtención del parámetro z*



Reproducido de *"Diseño y ejecución de soleras de edificación industrial"* por *A. Escámez, 2020*

Con estos valores, se determina la desviación típica de q y Z. Con ellos se definen los números F como:

$$F_F = \frac{115.84}{3s_q + |\bar{q}|}$$

$$F_L = \frac{314.67}{3s_Z + |\bar{z}|}$$

Para obtener el valor F combinado de dos líneas trazadas en la superficie, se utiliza la siguiente formula:

$$F_{j+k} = F_j \; x \; F_k \; x \; \sqrt{\frac{r_j + r_k}{r_k F_j^2 + r_j F_k^2}}$$

Siendo r_j y r_k el número de medidas de cada una de las líneas y F_{j+k} el valor F resultante de la combinación de ambas.

Finalmente se combinan todas las líneas, y se obtiene el valor FF y FL de una losa. Para obtener el valor global de una superficie, se realiza la media geométrica de todas las losas, tomando los valores FF y FL de cada una de ellas en función de la superficie de cada una de las losas.

El valor de los números F varía entre 10 y 100, siendo mejor cuanto más alto sea el valor del número (mayor valor, más plano).

Cuando se definen valores determinados de regularidad superficial FF y FL, se hace referencia a una especificación global, es decir, se aplica al conjunto del pavimento y definen la calidad media de toda la obra. Los números obtenidos de cada una de las losas se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

denominan números locales y definen la calidad mínima permitida. De acuerdo con la norma americana ASTM E1155, se puede tener algunas losas con números locales en un valor del 60% de los globales.

Según las recomendaciones de la norma, existe una clasificación de los pavimentos en función del valor de los números F.

Tabla 18: *Clasificación de la regularidad superficial en función al valor de los números F*

Regularidad	F_F	F_L
Corriente	20	15
Normal	25	20
Plana	35	25
Muy plana	45	35
Super Plana	60	40

Reproducido de *"Método estándar para determinar los números FF y FL"* por *ASTM Internacional, 2020*

En el caso de las juntas constructivas y elementos singulares, la norma recomienda que no se establezcan líneas de medición a menos de 600 mm de ellas.

Los números FF y FL se miden utilizando un aparato denominado DIPSTICK con el cual se miden las líneas de referencia. El aparato consta de dos apoyos separados 300 mm, los cuales van girando para obtener las diferencias de nivel entre los puntos a lo largo de la línea. Los datos se registran en un ordenador que aporta los valores FF y FL de cada línea y las combinaciones de estas, además de los valores locales y valores globales del proyecto. (Escámez Sánchez, 2020)

De acuerdo con la relación F_F y F_L, el piso puede ser clasificado conforme la tabla 19. Los valores de F_F y F_L mínimos locales son los valores admitidos para cada línea de medida, tomada de acuerdo con la norma ASTM E 1155-87 (ASTM, 1996).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 19: *Valores de F_F y F_L mínimos de acuerdo al uso del pavimento industrial*

Uso Tópico	Valores Globales		Valores Mínimos locales	
	F_F	F_L	F_F	F_L
Uso no industrial, playa de estacionamiento, cuarto de máquinas.	20	15	15	10
Edificios industriales, comerciales.	25	20	17	10
Deposito (Transito de montacargas).	35	25	20	15
Depósitos especiales, Pistas de patinaje.	45	35	30	20
Estudio de televisión.	> 50	> 50	-	-

Reproducido de *"Método estándar para determinar los números FF y FL"* por *ASTM Internacional, 2020*

2.5.8.2.2. Sistema Fmin para tráfico definido

Define la calidad de la superficie de un pasillo en las líneas de rodadura. Este número depende de las dimensiones (distancia entre ruedas) de la maquinaria que transita sobre el pavimento.

Con los sistemas de almacenamiento en altura y las carretillas actuales, es conveniente especificar números F_{min} superiores a 100 para garantizar un buen funcionamiento.

Se recomienda lo siguiente:

- Pasillos con estanterías hasta 8 m – $F_{min} > 60$
- Pasillos con estanterías entre 8 y 12 m – $F_{min} > 80$
- Pasillos con estanterías mayores de 12 m – $F_{min} > 100$

Los F_{min} se miden con un aparato denominado perfilógrafo, el cual consiste en un conjunto de ruedas extensibles que simulan la posición de las ruedas de la carretilla y que mediante un acelerómetro muy preciso es capaz de detectar las variaciones de nivel y las pendientes de una forma continua a lo largo de la rodada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.8.3. El sistema de la Concrete Society (Reino Unido)

Desarrollado por la sociedad del concreto del Reino Unido (Concrete Society) y publicado en el Technical Report N°34 (TR-34). Al igual que el sistema de números F, este método distingue la metodología para tráfico aleatorio y trafico definido.

2.5.8.3.1. Sistema de la Concrete Society para tráfico definido

Para áreas de tráfico definido, el método requiere la medición de las siguientes propiedades:

- Z: Distancia entre los centros de las ruedas delanteras, m
- X: Distancia entre los centros de ruedas del eje delantero y trasero. Se toma como un valor fijo e igual a 2 metros.
- $Z_{PENDIENTE}$: Pendiente del eje delantero, mm/m
- dZ: Desnivel entre los centros de ruedas del eje delantero, mm
- dX: Desnivel entre el centro del eje delantero y trasero, mm
- d^2Z: Cambio en dZ al desplazarse el equipo 300 mm en el sentido de avance.
- d^2X: Cambio en dX al desplazarse el equipo 300 mm en el sentido de avance.

El reporte técnico TR-34 define los valores mínimos entre las ruedas de la carretilla (de forma transversal y longitudinal) en función de las dimensiones de la carretilla. En este informe técnico TR-34, se clasifica el pavimento con transito guiado en tres categorías: DM1, DM2, y DM3 según se indica en la tabla 20.

Tabla 20: *Limites aceptables para las propiedades dZ, dX, d2Z, d2X para zonas de tránsito guiado.*

Clasificación del pavimento	Altura de almacenamiento	$Z_{PENDIENTE}$ mm/m	dZ	d^2Z	dX	d^2X
DM1	Sobre 13 metros	1.3	Z x 1.3	Z x 1.0	2.9	1.5
DM2	Entre 8 y 13 metros	2.0	Z x 2.0	Z x 1.5	4.4	2.0
DM3	Hasta 8 metros	2.5	Z x 2.5	Z x 1.9	5.5	2.5

Nota: DM se refiere a movimiento definido. Reproducido de *"Pisos industriales de concreto apoyados sobre el terreno TR-34"* por *The Concrete Society, 2013*

2.5.8.3.1. Sistema de la Concrete Society para tráfico aleatorio

Toman como base los números FF y FL, los cuales son considerados como propiedades y eliminan el factor estadístico de la nivelación, realizando una medición más exhaustiva de los niveles de la totalidad de la superficie.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

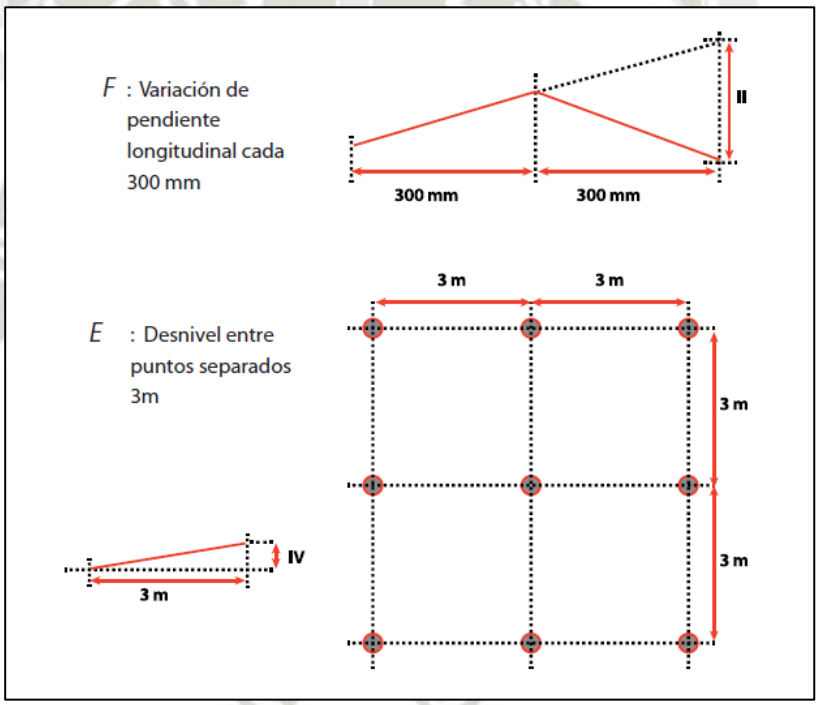
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A la diferencia de nivel y a su evolución en el avance de la carretilla (parámetro "q" que define al número FF) lo denominan propiedad F (flatness) y a la diferencia de nivel cada tres metros (parámetro "z" que define el número FL) lo denominan propiedad E (elevation).

La propiedad E se mide trazando una cuadricula de 3 x 3 metros de puntos definida sobre la losa y mediante un nivel de precisión se miden los niveles de los puntos, comparando unos con otros y con un punto de referencia que se denomina Datum (punto de referencia de nivel de proyecto).

La propiedad F se mide con el mismo criterio de longitud de los números F, midiendo sobre la misma cuadricula de 3 x 3 metros unas líneas, utilizando un instrumento digital.

Figura 66: *Propiedades FF y FL medidas en instalaciones con tráfico aleatorio*



Reproducido de *"Manual de diseño de pisos industriales"* por *Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, 2013*

La clasificación de pavimentos con tráfico aleatorio según el documento técnico TR-34 es como sigue de acuerdo con la tabla 21.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 21: *Clasificación de pavimentos industriales con tráfico aleatorio según TR-34*

Clase de pavimento	Uso típico	Propiedad	
		E	F
FM1	Pavimentos con requisitos estrictos de regularidad superficial, altura de almacenamiento a más de 13 metros con carretillas retractiles sin desplazamiento lateral.	4.5	1.8
FM2	Apropiada para altura de almacenamiento entre 8 y 13 metros con carretillas retractiles sin desplazamiento lateral.	6.5	2.0
FM3	Adecuada para pasillos anchos con alturas de almacenamiento inferiores a 8 metros con carretillas retractiles sin desplazamiento lateral y alturas de hasta 13 metros con desplazamiento lateral de las carretillas retractiles.	8	2.2
FM4	Adecuado para alturas de almacenamiento inferiores a 4 metros.	10	2.4

Reproducido de *"Manual de diseño de pisos industriales"* por *Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, 2013*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO III

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1 Hipótesis General

El diseño de un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero resulta en el mismo espesor de losa que un pavimento de concreto sin refuerzo.

3.1.2 Hipótesis Especificas

- Se consigue espaciamiento de juntas mayores utilizando concreto reforzado con fibras de acero respecto al concreto simple sin refuerzo.
- Los insumos utilizados en la investigación para la elaboración del concreto cumplen con los requisitos necesarios para ser utilizados en pavimentos rígidos.
- El aporte de la fibra de acero Dramix 4D 65/60 BG a la resistencia residual del concreto es la misma utilizando distintas dosificaciones de fibra.
- El uso de fibras de acero como refuerzo del concreto encarece el presupuesto del proyecto.

3.2. VARIABLES

3.2.1 Independiente

Se consideran variables independientes los factores que influyen en el dimensionamiento de un pavimento industrial:

- Condiciones de soporte de la subrasante.
- Características mecánicas del material de subbase.
- Características mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero.
- Tipo de fibra.
- Cargas de uso (puntual, repartida, dinámica)

3.2.2 Dependiente

- Diseño de pavimento de concreto
- Fibras de acero

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

A continuación, se presenta en la tabla 22, la matriz de consistencia correspondiente a la presente investigación.

Tabla 22: *Matriz de consistencia*

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE
Problema general	**Objetivo general**	**Hipótesis general**	**DEPENDIENTE**
¿Qué aspectos se debe tomar en cuenta para diseñar pavimentos de concreto reforzado con fibras de acero para pisos industriales del sector logístico en la ciudad de Arequipa?	Diseñar un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero para pisos industriales del sector logístico en la ciudad de Arequipa.	El diseño de un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero resulta en el mismo espesor de losa que un pavimento de concreto sin refuerzo.	• Diseño de pavimento de concreto • Fibras de acero
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Especifica**	**INDEPENDIENTE**
¿Qué implica diseñar las juntas de un pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero y cómo determinar el espaciamiento?	Diseñar las juntas del pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero y determinar su espaciamiento.	Se consigue espaciamiento de juntas mayores utilizando concreto reforzado con fibras de acero respecto al concreto simple sin refuerzo.	• Condiciones de soporte de la subrasante. • Características mecánicas del material de subbase. • Características mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. • Tipo de fibra. • Cargas de uso (puntual, dinámica)
¿Qué requerimientos debe cumplir el diseño de mezclas de concreto para su uso en pavimentos rígidos?	Realizar el diseño de mezclas de concreto optimizando el ensamblaje de agregados y cumpliendo con las especificaciones técnicas para su uso en pavimentos rígidos.	Los insumos utilizados en la investigación para la elaboración del concreto cumplen con los requisitos necesarios para ser utilizados en pavimentos rígidos.	
¿Cuál es la resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG para dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente?	Determinar la resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG para dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente.	El aporte de la fibra de acero Dramix 4D 65/60 BG a la resistencia residual del concreto es la misma utilizando distintas dosificaciones de fibra.	
¿Cuál es el impacto económico del uso de fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG?	Determinar el impacto económico en el caso de estudio, comparando el costo total de un pavimento de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG y un pavimento con concreto simple sin refuerzo.	El uso de fibras de acero como refuerzo del concreto encarece el presupuesto del proyecto.	

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA

4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Dado que la investigación se basa en una hipótesis que puede verificarse aplicando normas y procedimientos tanto conceptuales como operativos, se emplea un método de investigación hipotético-deductivo.

4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente tema de investigación tiene un tipo de investigación aplicada y se sustenta con su objetivo principal, generando resultados que aporten soluciones, recomendaciones o propuestas de mejora para el problema planteado.

4.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación corresponde a un nivel Descriptivo – Correlacional, esto significa que se miden y evalúan diferentes aspectos del problema para describirlo. Además, existe una correlación entre las diferentes etapas de la investigación y se utilizan técnicas estructuradas para recopilar datos y sistemas de medición para analizarlos. De esta manera, el objetivo principal es predecir el comportamiento de las variables dependientes a partir del conocimiento de las variables independientes.

4.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación se enmarca en el enfoque Experimental – Cuantitativo y se desarrolla de manera secuencial a través de las siguientes etapas:

a) Inicia con la descripción de la realidad problemática, formulación del problema general y específico, planteamiento del objetivo general y específicos, formulación de la hipótesis, identificación de variables, revisión de literatura y establecimiento del marco teórico, que en conjunto definen el alcance de la investigación.
b) La población se define y se seleccionan las muestras correspondientes.
c) Se implementará un plan de recolección de datos utilizando instrumentos y métodos adecuados para medir las variables de estudio. Esto proporcionará la información necesaria para abordar la pregunta de investigación y validar la hipótesis.
d) Se establecerán las técnicas para procesar y analizar los datos, que incluyen su codificación y organización, permitiendo así obtener conclusiones significativas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e) Luego se procederá con el desarrollo de la investigación empezando por el estudio de mecánica de suelos para el área correspondiente a la zona de estudio, documentando los resultados de la exploración de campo, mediante exploración directa (calicatas), los cuales sirven para la identificación de las condiciones de soporte de la subrasante.

f) Se recolectarán muestras de agregados procedentes de la cantera “Socabaya” mediante técnicas de muestreo adecuadas.

g) La caracterización de los agregados extraídos de la cantera "Socabaya" se llevará a cabo mediante la realización de ensayos requeridos conforme a las especificaciones de la norma CE.010 "Pavimentos Urbano" del Reglamento Nacional de Edificaciones. Este proceso tiene como objetivo evaluar e identificar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales provenientes de la cantera en estudio.

h) Una vez confirmada la calidad de los agregados, se procede a tamizarlos según los diferentes tamaños establecidos por su gradación. Esto se realiza con el fin de obtener el material necesario y facilitar su manipulación durante la etapa de mezclado en el diseño de las mezclas de concreto.

i) Se procede a analizar las curvas granulométricas obtenidas para cada T.M.N. de material y se determinan los porcentajes necesarios de cada uno que satisfagan los requerimientos de la Carta Shilstone y la curva de la tarántula.

j) Se lleva a cabo el diseño de las mezclas de concreto utilizando el método ACI, considerando diversos factores y condiciones que se controlarán, como el contenido de cemento y el uso moderado de aditivos. Este proceso se realizará con base en los porcentajes predefinidos de agregados.

k) Con el proporcionamiento de insumos definido para el diseño de mezclas, se procederá a la elaboración de la mezcla de concreto. Se realizarán ensayos en estado fresco, que incluyen el control de asentamiento, peso unitario y contenido de aire. Asimismo, se llevarán a cabo ensayos en estado endurecido para evaluar la resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, con el fin de aprobar el diseño de mezclas elaborado.

l) Una vez aprobado el diseño de mezclas de concreto con el proporcionamiento de insumos definido, se procede a realizar nuevas mezclas de concreto adicionando la fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG suministrado por Bekaert y distribuido en Perú por Prodac S.A., en dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente, evaluando cada una de ellas mediante ensayos en estado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

fresco (control de asentamiento, peso unitario y contenido de aire) para posteriormente moldear en vigas prismáticas 3 especímenes por cada dosificación de fibra metálica añadida y realizar ensayos en estado endurecido (resistencia a la flexión, resistencia residual).

m) Conocido el diseño de mezclas optimo, módulos de rotura y resistencia residual para distintas dosificaciones de fibras de acero, se procederá con la interpretación de los datos, determinando el espesor mínimo necesario del pavimento de concreto de acuerdo a las metodologías propuestas en los reportes técnicos ACI 360R-10 y TR-34, calculando la tensión máxima producida en el pavimento del caso de estudio, destinado a un almacén logístico de alta rotación para soportar cargas puntuales de estantería y cargas dinámicas, considerando tráfico y velocidad de operación.

n) Por último, se discutirán los resultados en base al marco teórico.

4.5. CAMPO DE VERIFICACIÓN

En este segmento se delimita y detalla la extensión tanto espacial como temporal de la investigación, así como también las unidades en estudio.

a) Delimitación geográfica:

El terreno de estudio se encuentra ubicado en la Urbanización La Planicie E-16 La Campiña – Distrito de Socabaya – Provincia de Arequipa – Departamento de Arequipa y cuenta con un área de 1000 m^2.

Figura 67: *Terreno del proyecto de aplicación*



Fuente: Elaboración propia

b) Delimitación temporal:

La presente investigación se desarrolla durante los años 2020 – 2021.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

4.6.1 Población

Para llevar a cabo el diseño del pavimento industrial reforzado con fibras de acero, es esencial identificar los materiales que constituyen las muestras, las cuales serán utilizadas en los ensayos de caracterización de cada una de las capas de la estructura del pavimento:

- Material de subrasante de un área de estudio.
- Agregados provenientes de una cantera en la ciudad de Arequipa.
- Fibra metálica.

4.6.2 Muestra

- Material de subrasante del área del proyecto.
- Agregados provenientes de la cantera “Socabaya” en la ciudad de Arequipa.
- Fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG

4.6.3 Muestreo

La muestra de la investigación se seleccionó utilizando criterios específicos que se ajustan a las necesidades del proyecto en cuestión. Por lo tanto, el método de muestreo utilizado es el Muestreo No Probabilístico. Esto se debe a que la población es controlable y la muestra incluye las unidades y elementos necesarios para obtener información sobre la población en estudio.

4.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.7.1 Técnicas de verificación

La investigación abordada en este tema se basó en la técnica de Observación Documental - Experimental, la cual implicó el análisis de variables a través de ensayos consignados en documentos mediante instrumentos como fichas o formatos de observación. El proceso investigativo comprendió diversas etapas, desde la preparación hasta la observación y medición de las muestras, así como la comparación de los resultados obtenidos.

4.7.2 Instrumentos de verificación

Se utilizaron los siguientes medios operativos para el registro de información:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

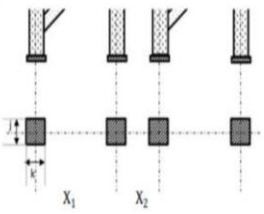
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.7.2.1. Instrumentos Documentales o de Recolección de Datos

En la tabla 23 se presenta el instrumento de recolección de datos más relevantes para la investigación:

Tabla 23: *Toma de datos para el diseño del pavimento industrial reforzado con fibras.*

Caracterización del material de apoyo del pavimento			
Subrasante		Subbase	
Clasificación SUCS		Clasificación SUCS	
CBR		CBR	
Valor k		Valor k	
Características mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero			
Tipo de fibra		Dosificación	
Resistencia a la compresión		Módulo de rotura	
Módulo de elasticidad		Módulo de poisson	
Información del pavimento			
Pavimento	□ Interno	□ Externo	
Uso de la instalación	□ Logístico	□ Logística del frio	□ Autoportante
	□ Agroalimentario	□ Industrial	□ Comercial / Publico
Carga Estática – Estantería			
	Carga sobre un apoyo		
	Distancia entre apoyos traseros (x_2)		
	Profundidad de rack (x_1)		
	Longitud de rack		
	Ancho de pasillo		
	Dimensiones del apoyo		
Carga Dinámica – Montacargas			
	Carga máxima por rueda		
	Presión de contacto de ruedas		
	Tipo de ejes	□ ESRS	□ ESRD
	Espaciamiento entre neumáticos		
	Dureza de las ruedas	□ Infladas	□ Macizas
Carga uniformemente distribuidas			
	Carga por metro cuadrado		
	Ancho de pasillo		

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.7.2.2. Instrumentos Mecánicos

a) Para el estudio de mecánica de suelos

1. Tamices: Juego de tamices normalizados de malla cuadrada (3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 8, N° 10, N° 16, N° 30, N° 40, N° 50, N° 60, N° 80, N° 100 y N° 200).
2. Horno de funcionamiento eléctrico que posea un termostato con indicador analógico o digital con precisión de 0.1°C, que cuente con ventilación interna forzada capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
3. Cocina: Equipo que permite elevar la temperatura de materiales en un menor tiempo que el logrado en el horno.
4. Balanzas digitales con precisión de 0.01 g para el ensayo de límites de plasticidad, precisión de 0.1 g. para muestras de arena y precisión de 1 g. para muestras de grava.
5. Copa de Casagrande: Equipo necesario para la realización del ensayo de Limite Liquido.
6. Picnómetro: Matraz tapado, matraz de yodo o matraz volumétrico con una capacidad de 250 cm^3 o 500 cm^3 (fiola) para realizar el ensayo de gravedad especifica de los sólidos.
7. Molde con un diámetro de 6" (152.4 mm) y pisón de operación manual de sección circular con un peso de 2.497 kg con una altura de caída de 12" para el ensayo de proctor modificado.
8. Máquina de carga con dispositivos de medición de penetración, aparato de medición de expansión: Equipo necesario para la realización del ensayo de CBR.
9. Equipo necesario para el ensayo de contenido de sales solubles: Equipo de filtración al vacío compuesto de bomba de vacío y presión, de 220 V, frasco de filtración al vacío (Kitasato) de 500 ml para sostener el embudo y centrifuga con tubos que puedan contener por lo menos 50 ml de solución.
10. Horno mufla digital de funcionamiento eléctrico que cuente con ventilación interna forzada capaz de mantener una temperatura máxima de trabajo de 1200 °C.
11. Equipo necesario para el ensayo de contenido de sulfatos solubles en agua: Frascos Erlenmeyer de 500 ml y pipetas volumétricas de 25 ml y 100 ml de capacidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

12. Equipo necesario para el ensayo de contenido de cloruros solubles en agua: pH-metro o papel indicador de pH, con un rango de medida de 1 a 11, bureta de 50 ml de capacidad con graduación de 0.1 ml. y pipetas de 1, 5, 10, 30 y 50 ml de capacidad, respectivamente.

b) Para los agregados

13. Balanzas digitales con precisión de 0.1 g para agregado fino y precisión de 1 g. para agregado grueso.
14. Probetas graduadas: Equipo necesario para la realización del ensayo de Equivalente de arena.
15. Equipo de abrasión de los Ángeles: Maquina compuesta de un cilindro hueco de acero con un espesor de pared de al menos 12 mm. cerrado en ambos extremos con un diámetro interno de 711 ± 5 mm y una longitud interna de 508 ± 5 mm.
16. Equipo de partículas chatas y alargadas: Calibrador esencial para la realización del ensayo de partículas chatas y alargadas.
17. Colorímetro: Equipo necesario para la realización del ensayo de Impurezas Orgánicas.
18. Molde cilíndrico de acero u otro material adecuado, previsto de asas, lo suficientemente rígido como para mantener su forma bajo uso rudo.
19. Equipo necesario para el ensayo de gravedad especifica del agregado grueso: Balanza hidrostática (gancho abajo) diseñada para medir densidades basándose en el principio de Arquímedes y cesta o canastilla elaborada con malla de alambre N° 6 o menor, capacidad de 4 a 7 litros para muestras de tamaño máximo menor a 1 ½".
20. Equipo necesario para la realización del ensayo de gravedad especifica del agregado fino: Picnómetro matraz u otro recipiente adecuado con 500 cm^3 de capacidad, molde y pisón metálico para prueba de absorción.
21. Herramientas misceláneas: Como cepillos, brochas, ranurador, espátulas, cucharones, bowls, bandejas, capsulas de aluminio y porcelanas envases, martillo de goma, regla metálica,

c) Para las mezclas de concreto

22. Cono de Abrams: Cuyas características geométricas deben cumplir un diámetro de la base inferior de 20 cm, diámetro de la base superior de 10 cm y altura de cono de 30 cm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

23. Equipo de aire (neumático): Equipo necesario para la determinación del contenido de aire del concreto.
24. Herramientas misceláneas: Barra compactadora de fierro liso y punta redonda, con un diámetro de 5/8" y una longitud de 60 cm.
25. Máquina de Ensayos Universal – UTM: Equipo con el cual se logra ensayar las muestras de los diseños de mezcla de concreto en estado endurecido para determinar su comportamiento mecánico y obtener sus valores de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia residual.

4.7.3 Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

Los equipos y herramientas que se utilizarán en esta investigación son de un laboratorio reconocido y confiable. Estos instrumentos tienen la precisión, calibración y certificación necesaria para garantizar la validez de los resultados de las pruebas.

4.7.4 Técnicas para el Procesamiento y Análisis de los Datos

Se utilizaron estrategias de gestión y análisis de datos como técnicas para el procesamiento y análisis de los datos. El primero consta de dos pasos principales: almacenamiento y codificación de datos. El segundo implica realizar un análisis analítico de los datos obtenidos.

4.7.5 Aspectos éticos

La presente investigación se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos en cada uno de los reportes técnicos que documentan las metodologías de estudio. Los ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos descritos en cada una de las normas técnicas peruanas correspondientes, en el laboratorio de ensayos de materiales RCF S.R.L. de la ciudad de Arequipa.

4.8. MATERIALES DE VERIFICACIÓN

Los insumos necesarios para la utilización de los instrumentos expuestos son los siguientes:

- Material de subrasante correspondiente al área del proyecto.
- Agregado para material de sub base de la cantera "Socabaya"
- Agua destilada
- Papel filtro
- Solución Stock de cloruro

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Aparato de filtración (membrana o papel): Filtros de membrana de 0.45 µm o filtro de papel Whatman N° 42.
- Filtros de microfibra de vidrio de 110 mm de diámetro: Papel filtro Whatman N°40
- Cemento Portland Tipo IP de la marca Yura
- Agua de la red pública local.
- Agregado Grueso de la cantera “Socabaya”
- Agregado Fino de la cantera “Socabaya”
- Aditivo Plastificante SikaCem de la marca Sika
- Fibra de acero Dramix 4D 65/60 BG

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO V

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente sección se presenta de manera detallada el desarrollo de la presente investigación, desde el estudio de mecánica de suelos del proyecto, caracterización del material de subbase, caracterización de los agregados para concreto y diseño de mezclas de concreto, hasta el dimensionamiento del pavimento industrial, especificaciones técnicas y análisis de precios unitarios.

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

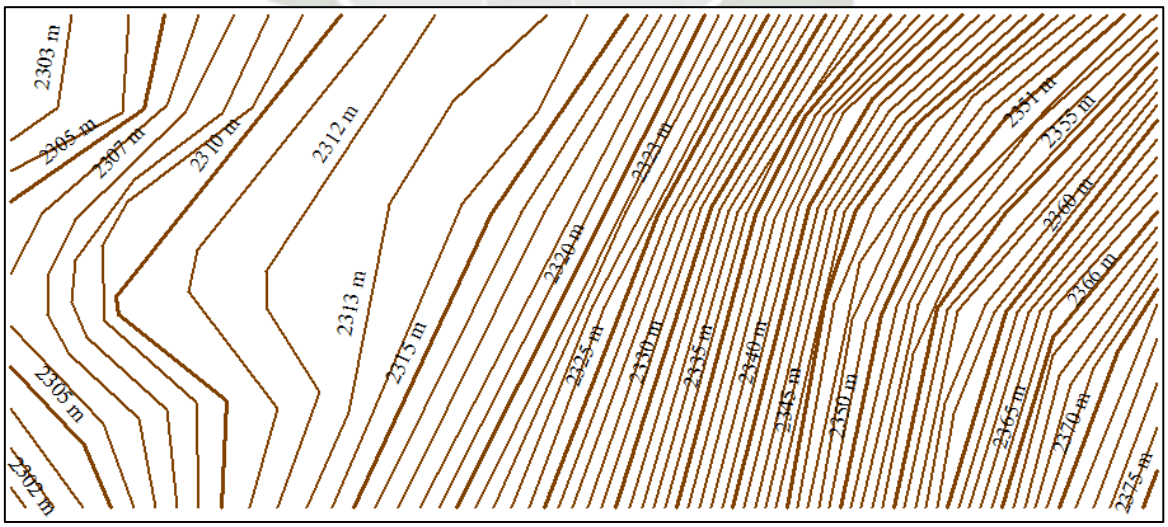
5.1.1 Condición climática y altitud

El área de estudio se ubica a una altitud de 2328 m.s.n.m. y se caracteriza por presentar un clima desértico. Las temperaturas promedio anuales varían de 23° C a 9° C y rara vez sube a más de 25° C o baja a menos de 7° C. La temporada de precipitaciones ocurre durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.

5.1.2 Topografía

El levantamiento topográfico del área de estudio se puede observar en la figura 68.

Figura 68: *Topografía del área de estudio*



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Características del proyecto

Las principales características del proyecto en función de las necesidades requeridas de acuerdo al sector industrial son las siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Sector: Logístico.
- Actividad: Almacenamiento de alta rotación (80% de larga duración (mayor a 24 horas) y 20% de corta duración (menor a 24 horas).
- Espaciamiento entre juntas: 10 metros en ambas direcciones.

5.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El estudio de mecánica de suelos documenta los resultados de la exploración de campo, los cuales sirven para la identificación de las condiciones de soporte de la subrasante. Tiene como finalidad: Obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo, definir los perfiles estratigráficos, localizar la presencia de nivel freático y detectar problemas especiales de cimentación como licuación, colapso y expansión

El estudio de mecánica de suelos se realizó de la siguiente manera:

1) Exploración de campo
2) Distribución y ejecución de calicatas
3) Ejecución de ensayos de laboratorio
4) Evaluación de los trabajos de campo y laboratorio

5.2.1 Exploración de campo

La exploración de campo se realizó a través da calicatas, con el fin de evidenciar los perfiles estratigráficos y observar cómo se han depositado geológicamente cada uno de los estratos. Para la caracterización del material de subrasante, se tomó muestra representativa del estrato atravesado en las calicatas, en cantidades suficientes como para realizar los ensayos necesarios de acuerdo al tipo de muestra requerido.

(A). Muestras inalteradas: Son aquellas que se cortan, se separan y se empaquetan con la menor alteración posible para ser utilizados en esta investigación en ensayos como: contenido de humedad.

(B). Muestras alteradas: Se almacenan en sacos, costales y/o bolsas utilizando pico, barreno o posteadora manual sin tratar de mantener el suelo en condición inalterada para ser utilizados en esta investigación en ensayos como: granulometría, plasticidad, gravedad especifica de sólidos, Proctor, CBR, contenido de sales solubles, contenido de sulfatos solubles en agua y contenido de cloruros solubles en agua.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Paralelamente al muestreo, se realizaron registros de exploración, los cuales indican diversas características del subsuelo como tipo de suelo, altura del estrato, color, angularidad, humedad, tamaño máximo nominal, plasticidad, compacidad, porcentaje de porosidad, etc.

Los diferentes estratos de suelo encontrados en la exploración geotécnica se describen y clasifican mediante un procedimiento visual - manual de acuerdo a la norma ASTM D2488 – 17e1 "Practica Estándar para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual – manual)". La información descriptiva que se obtiene puede emplearse para describir un suelo y ayudar en la identificación de sus propiedades significativas para uso de ingeniería, además puede emplearse como suplemento de la clasificación de un suelo determinado mediante la NTP 339.134 "Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S.)".

5.2.2 Distribución y ejecución de calicatas

El número de puntos de investigación recomendado para pavimentos industriales es de un punto de inspección cada 1000 m^2 con un mínimo de tres, de acuerdo con la propuesta de norma técnica de edificación CE.010 2018 del RNE (Reglamento nacional de edificaciones).

El área de estudio cuenta con un área de 1000 m^2, por lo que se realizó tres (03) calicatas designadas como C-1, C-2 y C-3 las cuales fueron ubicadas convenientemente y con profundidades suficientes de acuerdo con la intensidad de las cargas estimadas en el proyecto de construcción. Las calicatas ejecutadas se distribuyen en el área de estudio como se muestra en la figura 69.

Figura 69: *Ubicación de calicatas*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La profundidad recomendada por el MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones) para las exploraciones geotécnicas con fines de pavimentación se describe en la tabla 24.

Tabla 24: *Profundidad recomendada de exploración por debajo del nivel de subrasante*

Condiciones	Profundidad recomendada por debajo del nivel de subrasante
Normales	1.5 a 2.0 m
Secciones con terraplén elevado > 1.5 m	> 2 m
Depósitos profundos de suelos blandos	> 3 m
Posible presencia de lecho rocoso o agua subterránea	> 4 m
Posible falla por licuación de suelos	Hasta pasar el estrato susceptible de falla
Suelos blandos, suelos orgánicos, suelos saturados	Mínimo 1.50 por debajo del estrato
Zonas con inestabilidad de taludes, cortes elevados > 5 m	Requiere un programa especial de exploración.

Reproducido de *"Manual de carreteras – Sección suelos y pavimentos"* por *Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú, 2015*

La excavación de cada calicata realizada alcanza la siguiente profundidad:

Tabla 25: *Profundidad de exploración de calicatas*

Calicata	Profundidad (m)
C-1	4.00
C-2	4.00
C-3	4.00

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Ejecución de los ensayos de laboratorio

Con las muestras debidamente protegidas e identificadas, se ejecutaron en el laboratorio de ensayo de materiales, los siguientes ensayos:

5.2.3.1. Granulometría

La prueba de granulometría se llevó a cabo en conformodidad con la NTP 339.128 con el objetivo de analizar cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas del suelo correspondiente al área del proyecto, para su posterior descripción y clasificación. En el proceso de análisis granulométrico, la muestra se dividió en cuartos sobre una superficie seca y limpia, y a continuación se secó en un horno hasta alcanzar una masa consistente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A continuación, la muestra se dividió en dos fracciones para poder analizar cada una de ellas de forma independiente: una se mantuvo en el tamiz de 4,76 mm (Nº 4) y la otra que pasó por el tamiz de 4,76 mm. El T.M.N. de la muestra indica que la cantidad mínima de muestra retenida en el tamiz Nº 4 debe ser superior a 4 kg, y la cantidad mínima de muestra para el material que pasa por el tamiz Nº 4 no debe ser inferior a 300 gramos.

El análisis granulométrico de la fracción retenida en el tamiz de 4.76 mm (N° 4) se realizó utilizando los siguientes tamices normalizados de malla cuadrada: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y N° 4, mientras que el análisis granulométrico de la fracción que paso el tamiz de 4.76 mm (N° 4) se realizó separando mediante cuarteo 500 g. de la porción de muestra en una serie de fracciones usando los siguientes tamices: 2.38 mm (N° 8), 2.00 mm (N° 10), 1.19 mm (N° 16), 0.59 mm (N° 30), 0.43 mm (N° 40), 0.30 mm (N° 50), 0.18 mm (N° 80), 0.15 mm (N° 100) y 0.075 mm (N° 200). Ambas porciones de suelo se sometieron a lavado con abundante agua en un recipiente, filtrando el material fino a través de la malla 0.075 mm (N° 200), evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula retenida, para después recoger lo retenido en un recipiente, secarlo en el horno a una temperatura de 110 ± 5° C hasta tener una masa constante, tamizar el material secado y anotar los pesos retenidos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

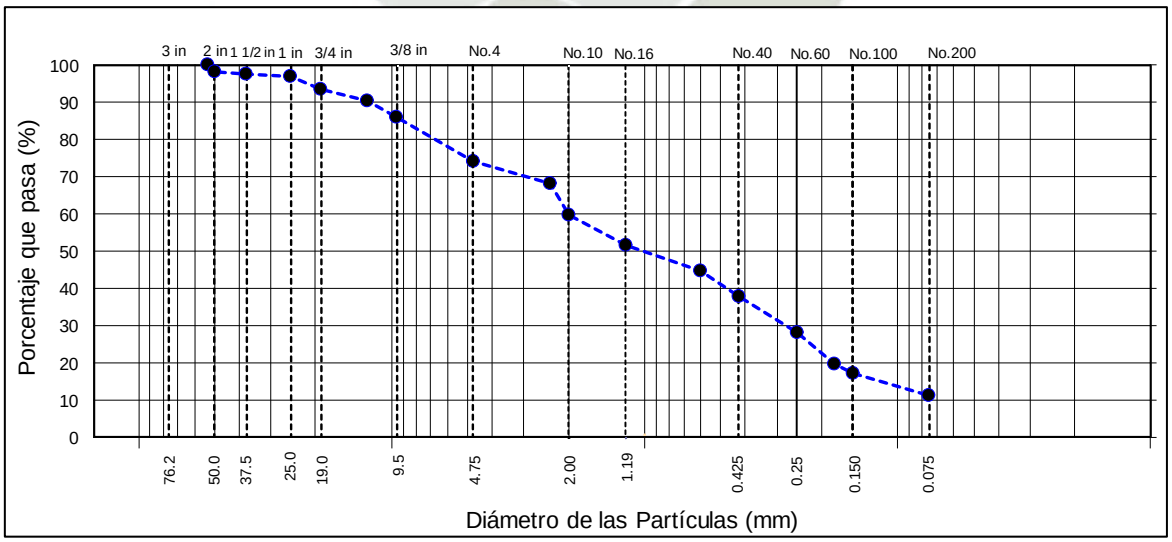
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 26: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-1.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4”	100.0				100
3”	76.2				100
2 ½”	53.0				100
2”	50.0	176	1.84	1.84	98.16
1 ½”	37.5	66	0.69	2.53	97.47
1”	25.0	36	0.38	2.90	97.10
¾”	19.0	353	3.68	6.59	93.41
½”	12.5	283	2.95	9.54	90.46
3/8”	9.5	413	4.31	13.85	86.15
#4	4.75	1141	11.91	25.76	74.24
#8	2.36	44.9	6.07	31.83	68.17
#10	2.00	63.0	8.52	40.35	59.65
#16	1.19	58.6	7.92	48.27	51.73
#30	0.60	52.4	7.08	55.36	44.64
#40	0.425	49.5	6.69	62.05	37.95
#60	0.25	73.3	9.91	71.96	28.04
#80	0.18	61.8	8.36	80.31	19.69
#100	0.15	19.5	2.64	82.95	17.05
#200	0.075	42.3	5.72	88.67	11.33
< #200		83.8	11.33	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 70: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-1*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

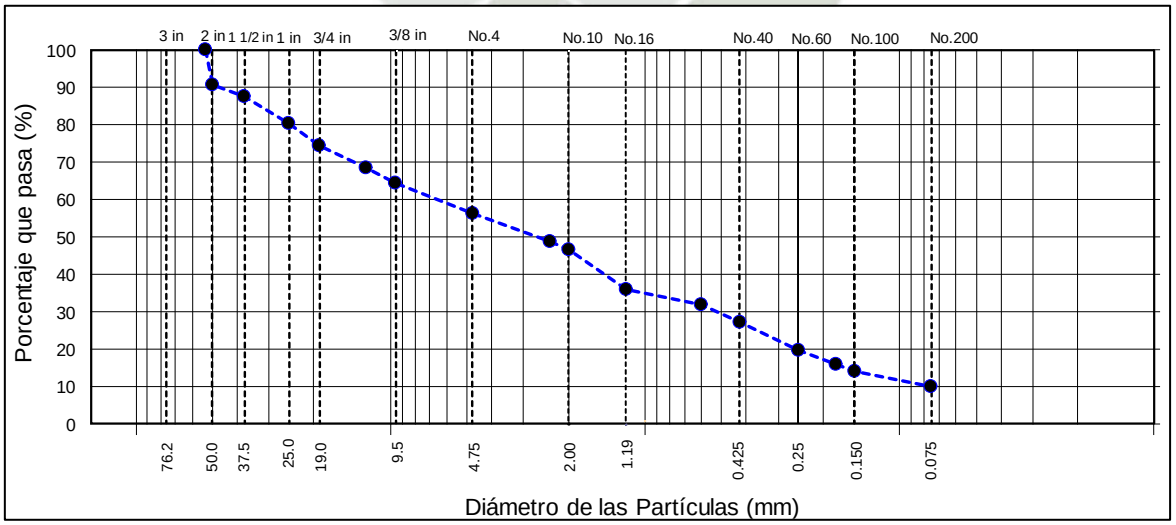
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 27: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-2.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4”	100.0				100.00
3”	76.2				100.00
2 ½”	53.0				100.00
2”	50.0	1014	9.34	9.34	90.66
1 ½”	37.5	331	3.05	12.39	87.61
1”	25.0	791	7.29	19.67	80.33
¾”	19.0	650	5.99	25.66	74.34
½”	12.5	629	5.79	31.45	68.55
3/8”	9.5	446	4.11	35.56	64.44
#4	4.75	891	8.21	43.77	56.23
#8	2.36	67.8	7.38	51.15	48.85
#10	2.00	20.2	2.20	53.35	46.65
#16	1.19	97.5	10.61	63.96	36.04
#30	0.60	39.6	4.31	68.27	31.73
#40	0.425	42.5	4.63	72.89	27.11
#60	0.25	69.2	7.53	80.42	19.58
#80	0.18	35.0	3.81	84.23	15.77
#100	0.15	17.2	1.87	86.10	13.90
#200	0.075	37.4	4.07	90.17	9.83
< #200		90.3	9.83	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 71: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-2*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

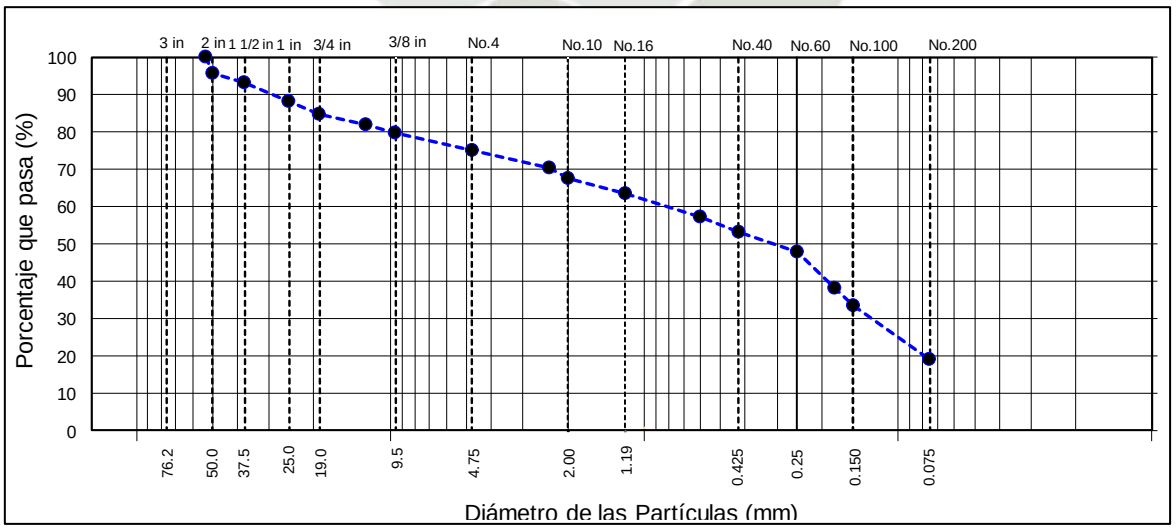
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 28: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida en la calicata C-3.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4”	100.0				100.00
3”	76.2				100.00
2 ½”	53.0				100.00
2”	50.0	433	4.38	4.38	95.62
1 ½”	37.5	238	2.41	6.79	93.21
1”	25.0	504	5.10	11.88	88.12
¾”	19.0	320	3.24	15.12	84.88
½”	12.5	302	3.05	18.18	81.82
3/8”	9.5	199	2.01	20.19	79.81
#4	4.75	467	4.72	24.91	75.09
#8	2.36	35.0	4.78	29.69	70.31
#10	2.00	19.0	2.60	32.29	67.71
#16	1.19	31.0	4.23	36.52	63.48
#30	0.60	45.8	6.26	42.78	57.22
#40	0.425	30.2	4.13	46.90	53.10
#60	0.25	38.5	5.26	52.16	47.84
#80	0.18	70.1	9.58	61.74	38.26
#100	0.15	34.4	4.70	66.44	33.56
#200	0.075	107.1	14.63	81.07	18.93
< #200		138.6	18.93	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 72: *Curva granulométrica de la muestra obtenida en la calicata C-3*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.2. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.127 con el propósito de determinar la saturación del suelo, utilizando el método de reportabilidad B y considerando la masa mínima requerida de acuerdo con el tamaño máximo de la muestra. Para determinar el contenido de humedad se cuarteo la muestra sobre una superficie limpia y seca no absorbente que evite la absorción del agua y no afecte el resultado del ensayo. Después del proceso de cuarteo, se realizaron los siguientes pasos:

1. Identificación del recipiente.
2. Registro de la masa del recipiente.
3. Registro de la masa del recipiente con muestra húmeda.
4. Colocación del recipiente con muestra húmeda, en el horno durante 16 horas hasta tener una masa constante a una temperatura de 110 ± 5° C.
5. Registro de la masa del recipiente con muestra seca.

Tabla 29: *Resultados del ensayo de contenido de humedad de las muestras de subrasante.*

Descripción	Unidad	Datos		
Calicata		C-1	C-2	C-3
Masa de tara	(g)	835.2	941	917.1
Masa de muestra húmeda + tara	(g)	5725.5	5663.1	5570.3
Masa de muestra seca + tara	(g)	5483.8	5475.0	5390.3
Masa de muestra húmeda	(g)	4890.3	4722.1	4653.2
Masa de muestra seca	(g)	4648.6	4534.0	4473.2
Contenido de humedad	(%)	5.20	4.15	4.02

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.3. Límites de Atterberg

El ensayo de plasticidad se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.129 para evaluar el efecto de la humedad en la consistencia de los suelos de manera cuantitativa. El procedimiento de ensayo consistió primeramente en cuartear la muestra hasta obtener una muestra representativa. Luego, se tamizo por vía húmeda a través de la malla N° 40 y el material pasante se secó a temperatura ambiente. Una vez seca la muestra se le agrego agua destilada hasta dejarla en estado plástico y proceder a realizar los ensayos de limite líquido y limite plástico.

La evaluación del límite líquido se llevó a cabo mediante la colocación de una pasta de la muestra húmeda en la cuchara de la copa de Casagrande. Seguidamente, se dividió la pasta en dos mitades utilizando el ranurador, y se procedió a girar la manivela de la copa de Casagrande. Esta acción hizo que la cuchara cayera desde una altura de 1 centímetro a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que la muestra dividida volviera a cerrarse. El proceso se repitió tres veces con diferentes contenidos de humedad, apuntando a obtener cierres que requerían entre 25 y 35 golpes, entre 20 y 30 golpes, y entre 15 y 25 golpes, respectivamente. Posteriormente, cada muestra se secó en el horno a una temperatura constante de 100 ± 5° C hasta alcanzar una masa constante. Finalmente, se determinó el contenido de humedad de la muestra para el cierre que requería 25 golpes, el cual representa el límite líquido.

En cuanto al ensayo de límite plástico, se llevó a cabo al formar barritas de dos muestras con los dedos sobre una superficie de vidrio esmerilado, procurando lograr un diámetro de 3.2 mm de grosor y esperando que se produjeran fisuras en un lapso no superior a 2 minutos. Sin embargo, la muestra no exhibió un límite plástico, ya que no fue posible formar barritas sin que se desmoronaran antes de alcanzar el diámetro requerido.

.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

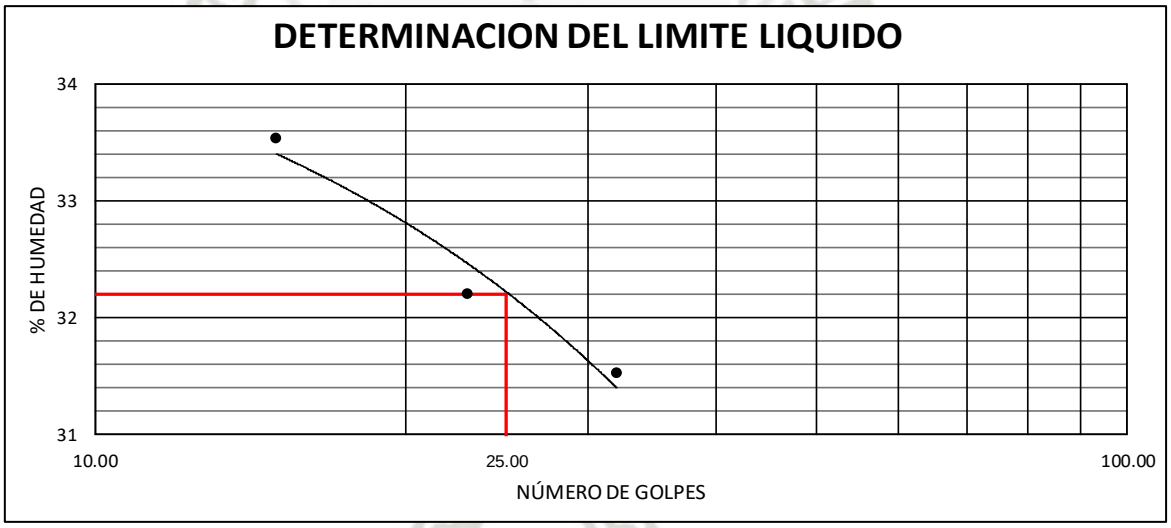
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 30: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-1.*

Descripción	Unidad	Datos		
Masa del suelo húmedo + capsula	(g)	30.96	29.36	28.91
Masa del suelo seco + capsula	(g)	24.80	23.46	23.04
Masa de la capsula	(g)	5.26	5.14	5.54
Masa del suelo seco	(g)	19.54	18.32	17.50
Masa del agua	(g)	6.16	5.90	5.87
Contenido de humedad	(%)	31.53	32.21	33.54
Numero de golpes, N	-	32	23	15

Fuente: Elaboración propia

Figura 73: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-1*



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-1.*

LIMITES DE PLASTICIDAD C-1	
Limite liquido	32 %
Limite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

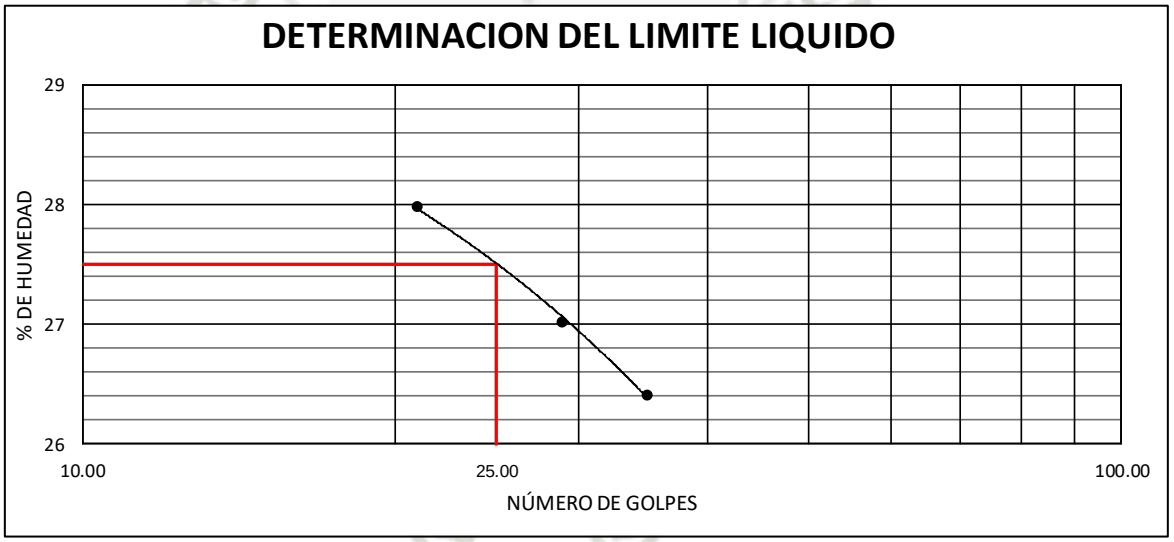
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 32: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-2.*

Descripción	Unidad	Datos		
Masa del suelo húmedo + capsula	(g)	27.51	29.37	26.44
Masa del suelo seco + capsula	(g)	22.87	24.85	21.92
Masa de la capsula	(g)	5.30	8.12	5.77
Masa del suelo seco	(g)	17.57	16.73	16.15
Masa del agua	(g)	4.64	4.52	4.52
Contenido de humedad	(%)	26.41	27.02	27.99
Numero de golpes, N	-	35	29	21

Fuente: Elaboración propia

Figura 74: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-2*



Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-2.*

LIMITES DE PLASTICIDAD C-2	
Limite liquido	28 %
Limite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

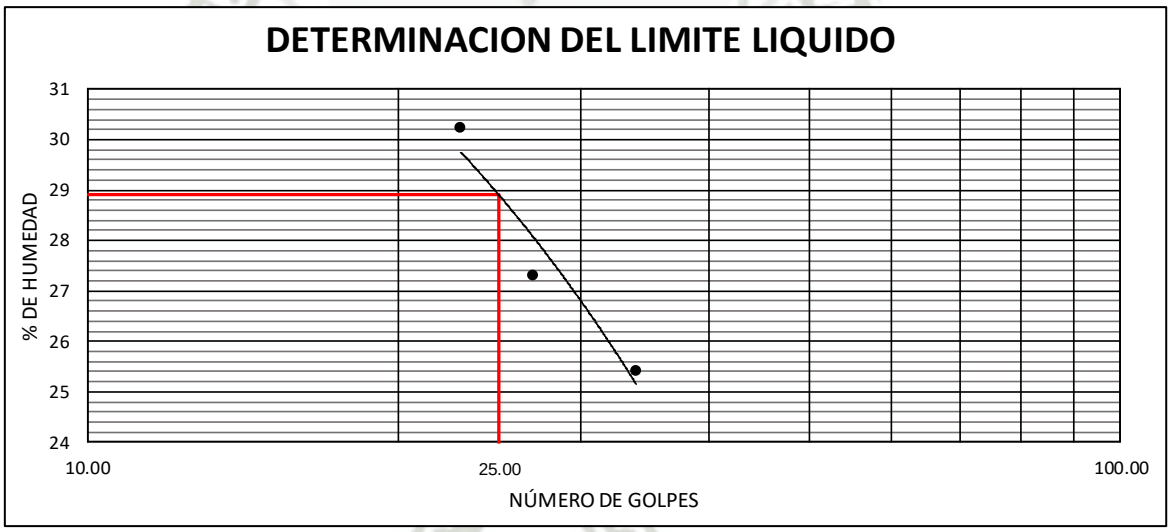
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 34: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-3.*

Descripción	Unidad	Datos		
Masa del suelo húmedo + capsula	(g)	25.73	27.24	28.39
Masa del suelo seco + capsula	(g)	23.16	24.32	24.91
Masa de la capsula	(g)	13.05	13.63	13.40
Masa del suelo seco	(g)	10.11	10.69	11.51
Masa del agua	(g)	2.57	2.92	3.48
Contenido de humedad	(%)	25.42	27.32	30.23
Numero de golpes, N	-	34	27	23

Fuente: Elaboración propia

Figura 75: *Determinación del límite liquido de la muestra obtenida en la calicata C-3*



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra obtenida en la calicata C-3*

RESULTADOS C-3	
Limite liquido	29 %
Limite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.4. Gravedad especifica de los solidos

De acuerdo con la NTP 339.131, la prueba de gravedad específica de los sólidos implica calcular la relación entre la gravedad específica de los sólidos y la gravedad específica del agua.

El peso de un sólido dividido por su volumen, expresado en gramos por centímetro cubico (g/cm^3), es su gravedad específica. El peso específico del agua depende de la temperatura.

El procedimiento consiste en analizar una muestra seca de suelo menor al tamiz de 4.75 mm (N° 4). La cantidad de muestra mínima analizada de acuerdo con el tipo de material y utilizando un picnómetro de 500 ml. fue de 100 g. con la que se realizó el siguiente procedimiento:

1. Registro de la masa de suelo seco.
2. Registro de la masa del picnómetro + agua destilada hasta la marca de graduación
3. Se procede a llenar el picnómetro con agua destilada y solidos hasta las 3/4 partes de la capacidad de la fiola y se dejó saturando la muestra durante 3 horas.
4. Terminado el tiempo de saturación, se eliminaron los vacíos utilizando una bomba de succión de vacíos y se completó el interior de la fiola con agua destilada hasta la marca de graduación.
5. Registrar la masa de picnómetro + agua destilada + solidos.

Terminado el procedimiento se procede a calcular la gravedad especifica de los sólidos, la cual se obtiene multiplicando el peso específico de los sólidos por la densidad del agua a una temperatura de 20° C.

El coeficiente de corrección de temperatura se determina utilizando la siguiente formula:

$$\rho_w = 1.00034038 - (7.77 \times 10^{-6}) \times T - (4.95 \times 10^{-6}) \times T^2$$

Donde:

- ρ_w: Densidad del agua en g/ml
- T: Temperatura del agua en la fiola en °C

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 36: *Resultados del ensayo de gravedad especifica de los sólidos de las muestras de subrasante.*

Descripción	Unidad	Datos		
Calicata		C-1	C-2	C-3
Masa de suelo seco	(g)	100	100	100
Masa de fiola + agua destilada	(g)	666.60	669.60	668.00
Masa de fiola + agua destilada + suelo	(g)	728.5	731.6	729.84
Temperatura del agua	°C	24.0	24.4	23.1
Coeficiente de corrección a 20°C	-	0.99909	0.99900	0.99931
Peso específico de solidos	g/cm^3	2.62	2.63	2.62
Gravedad especifica de los solidos	g/cm^3	2.62	2.63	2.62

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.5. Ensayo de proctor

Consiste en evaluar cuatro muestras del mismo material con diversos contenidos de humedad para determinar la máxima densidad seca en el laboratorio. Este proceso implica la aplicación de un esfuerzo mediante la caída de un pistón cilíndrico en un molde cilíndrico, utilizando una energía de compactación específica. Es importante destacar que este ensayo se aplica exclusivamente a suelos que contienen un 30% o menos de partículas retenidas en el tamiz de 19 mm (3/4"). De acuerdo con el tipo de suelo y siguiendo las indicaciones de la norma técnica CE.010 “Pavimentos Urbanos” se realizó el ensayo de proctor modificado acorde a la norma ASTM D1557 utilizando el método C, el cual es aplicable cuando el tamiz 3/4” retiene en el porcentaje retenido acumulado 30% o menos de material, utilizando un molde de 6” y compactando en material en 5 capas, aplicando 56 golpes por capa.

Para realizar el ensayo de proctor modificado se procedió a tamizar la muestra por la malla 3/4” hasta obtener un peso húmedo aproximado de 35 kg. Disgregando todos los terrones de material compacto y haciendo un mezclado homogéneo.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Preparación del material para una serie de cuatro especímenes de 6000 g.
2. Incremento de la cantidad de agua gradualmente en cada espécimen, en progresión aritmética de 2% hasta encontrar el contenido óptimo de humedad.
3. Colocación del material dentro de bolsas plásticas y proceder a sellarlas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Saturación del material durante 3 horas como mínimo y proceder a ensayar los especímenes, colocando el molde seleccionado sobre una base rígida horizontal nivelada.
5. Colocación del material con el cucharon dentro del molde en capas, colocando el pisón de compactación sobre la porción vertida en el molde (primera capa) y luego levantando el mango hasta que el pisón llegue al extremo de la guía dejándolo caer sobre la porción (1 golpe), aplicándose a una velocidad uniforme sobre toda la superficie de la porción en el molde, aproximadamente a razón de un golpe por segundo.
6. Finalizada la compactación con el apisonador de la primera capa, se retiró el pisón del molde y se colocó una nueva capa, la cual se compacto de la misma manera como se indicó en el paso anterior, continuando de este modo hasta completar las tres o cinco capas requeridas, según el método seleccionado.
7. Terminada la compactación de las 5 capas, se retiró el collarín del molde, verificando que la capa final no quede a más de 6 mm por encima del collarín para proceder a enrasar la muestra.
8. Retiro del material suelto de los bordes del molde y registro del peso del espécimen con una precisión de 1 gramo.
9. Finalmente, se removió, mezclo y homogenizo el material compactado que se encuentra dentro del molde para obtener el contenido de humedad.

Terminado el procedimiento de ensayo, se determina la máxima densidad seca y el contenido de humedad para las cuatro muestras, con el propósito de construir una gráfica de humedad – densidad seca y ubicar el punto máximo de la curva. La proyección horizontal indica la máxima densidad seca y la proyección vertical indica el óptimo contenido de humedad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

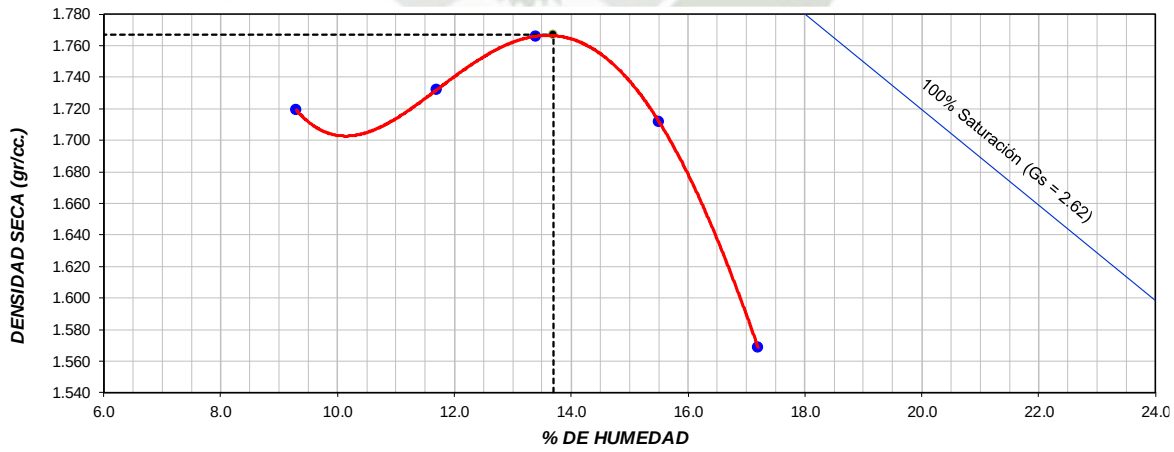
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 37: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-1.*

Descripción	Unidad	Datos				
Determinación de la densidad húmeda						
Molde	N°	1	2	3	4	5
Masa del suelo + molde	g.	10492	10611	10756	10702	10406
Masa del molde	g.	6495	6495	6495	6495	6495
Masa del suelo húmedo compactado	g.	3997	4116	4261	4207	3911
Volumen del molde	cm^3	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6
Densidad húmeda	g/cm^3	1.879	1.935	2.003	1.977	1.838
Contenido de humedad						
Masa de la tara	g.	320.0	196.0	321.0	157.0	195.0
Masa de muestra húmeda + tara	g.	820.0	696.0	821.0	657.0	810.0
Masa de muestra seca + tara	g.	777.5	643.6	761.9	589.9	719.7
Masa de agua	g.	42.5	52.4	59.1	67.1	90.3
Masa de muestra seca	g.	457.5	447.6	440.9	432.9	524.7
Contenido de agua	%	9.3	11.7	13.4	15.5	17.2
Determinación de la densidad seca						
Densidad seca	g/cm^3	1.719	1.732	1.766	1.712	1.568

Fuente: Elaboración propia

Figura 76: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-1*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 76 se infiere lo siguiente:

- Máxima densidad seca de la muestra C-1: 1.767 g/cm3
- Contenido de humedad optima de la muestra C-1: 13.70 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

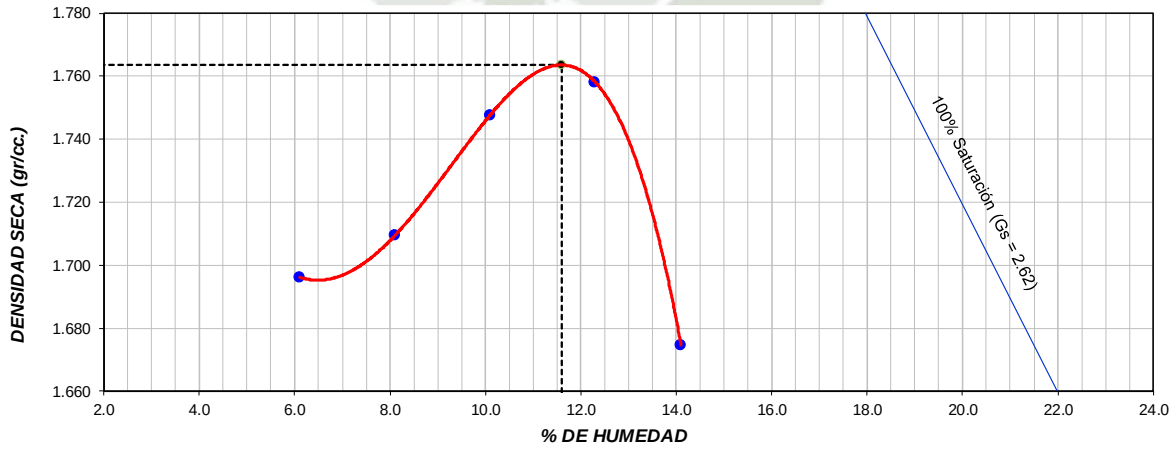
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 38: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-2.*

Descripción	Unidad	Datos				
Determinación de la densidad húmeda						
Molde	N°	1	2	3	4	5
Masa del suelo + molde	g.	10324	10427	10589	10696	10560
Masa del molde	g.	6495	6495	6495	6495	6495
Masa del suelo húmedo compactado	g.	3829	3932	4094	4201	4065
Volumen del molde	cm^3	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6
Densidad húmeda	g/cm^3	1.800	1.848	1.924	1.974	1.911
Contenido de humedad						
Masa de la tara	g.	184.0	320.0	196.0	157.0	320.0
Masa de muestra húmeda + tara	g.	798.0	820.0	696.0	657.0	820.0
Masa de muestra seca + tara	g.	762.7	782.5	650.1	602.2	758.2
Masa de agua	g.	35.3	37.5	45.9	54.8	61.8
Masa de muestra seca	g.	578.7	462.5	454.1	445.2	438.2
Contenido de agua	%	6.1	8.1	10.1	12.3	14.1
Determinación de la densidad seca						
Densidad seca	g/cm^3	1.696	1.709	1.748	1.758	1.675

Fuente: Elaboración propia

Figura 77: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-2*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 77 se infiere lo siguiente:

- Máxima densidad seca de la muestra C-2: 1.764 g/cm3
- Contenido de humedad optima de la muestra C-2: 11.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

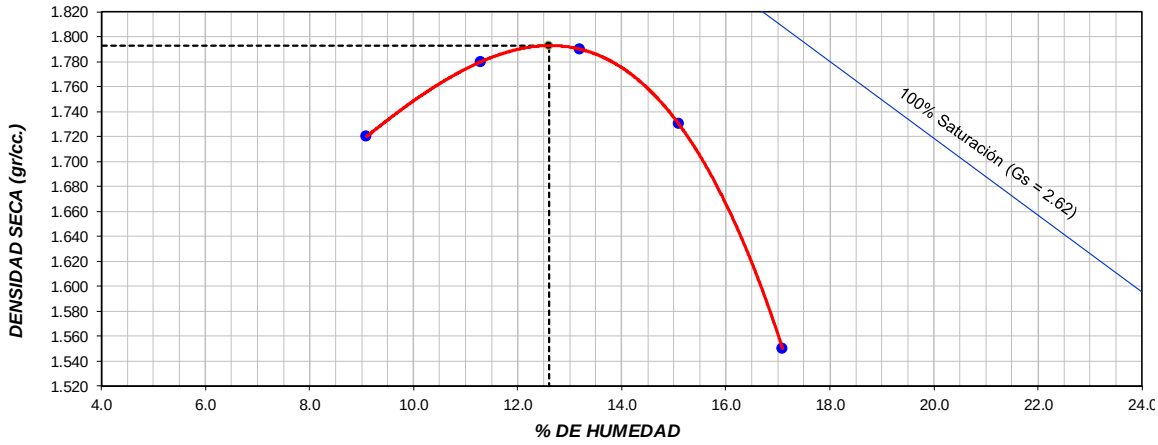
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 39: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la calicata C-3.*

Descripción	Unidad	Datos				
Determinación de la densidad húmeda						
Molde	N°	1	2	3	4	5
Masa del suelo + molde	g.	10487	10710	10806	10732	10356
Masa del molde	g.	6495	6495	6495	6495	6495
Masa del suelo húmedo compactado	g.	3992	4215	4311	4237	3861
Volumen del molde	cm^3	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6	2127.6
Densidad húmeda	g/cm^3	1.877	1.981	2.026	1.991	1.815
Contenido de humedad						
Masa de la tara	g.	186	320	157	196	184
Masa de muestra húmeda + tara	g.	686	820	657	696	776
Masa de muestra seca + tara	g.	644.3	769.2	598.7	630.4	689.6
Masa de agua	g.	41.7	50.8	58.3	65.6	86.4
Masa de muestra seca	g.	458.3	449.2	441.7	434.4	505.6
Contenido de agua	%	9.1	11.3	13.2	15.1	17.1
Determinación de la densidad seca						
Densidad seca	g/cm^3	1.72	1.78	1.79	1.73	1.55

Fuente: Elaboración propia

Figura 78: *Relación humedad – densidad seca de la muestra obtenida de la calicata C-3*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 78 se infiere lo siguiente:

- Máxima densidad seca de la muestra C-3: 1.793 g/cm3
- Contenido de humedad optima de la muestra C-3: 12.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.6. CBR

Las siglas C.B.R. significan California Bearing Ratio y se refieren al valor de soporte de California, el cual sirve para comparar la resistencia del suelo con la resistencia obtenida de la piedra de California. De acuerdo con la norma ASTM D1883, este método de ensayo limita el tamaño máximo del espécimen a 3/4 de pulgada y consiste en compactar 3 especímenes del mismo material con el óptimo contenido de humedad a razón de 56, 25 y 12 golpes sucesivamente.

El procedimiento realizado, primeramente, consistió en hacer un tamizado granulométrico utilizando las mallas 3/4", 3/8" y N° 4 para determinar la cantidad de material retenido en la malla 3/4", el cual debe ser eliminado y reemplazado por material de igual masa que pase el tamiz 3/4" y quede retenido en el tamiz N° 4. El cálculo de reemplazo de grava se hizo mediante cálculos matemáticos proporcionales con el fin de no alterar la curva granulométrica y se realizó de la siguiente manera:

1. Registro del porcentaje de material retenido en cada una de las siguientes mallas granulométricas: 3/4", 3/8", N° 4 y fondo.
2. Conocido el porcentaje de material retenido en las mallas 3/8" y N° 4, se calculó el porcentaje que representa el material retenido en la malla 3/4" respecto al material retenido en las mallas 3/8" y N° 4.
3. Finalmente, obtenidos los porcentajes retenidos en cada una de las mallas se procede a multiplicar el total de la muestra por los porcentajes que deben retener cada una de las mallas granulométricas.

Determinado el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, se prepararon 3 muestras con el óptimo contenido de humedad en el cual se varió la energía de compactación con 56, 25 y 12 golpes sucesivamente en 5 capas para cada uno de los especímenes, colocando previamente dentro del molde un disco espaciador y sobre el disco espaciador un papel filtro con el objetivo de evitar que el material fino se introduzca dentro de las ranuras perforadas en las placas y en la base.

Terminada la compactación de los especímenes, se procedió a saturar los especímenes durante 96 horas, previamente se registró la expansión inicial antes de saturar el espécimen y pasado el tiempo de saturación se tomó una lectura final con un dial analógico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Registrada la medición de la expansión de cada espécimen, se decantó el agua sobrante del espécimen retirado de la poza de saturación y se sometió a penetración en un marco de carga para CBR el cual tiene un pistón de penetración que hace contacto con la superficie del suelo y mide la penetración en mm o pulgadas mientras se va midiendo cuanto de carga va soportando en kg o lb con una velocidad de ensayo a razón de 1.3 mm por minuto o 0.5 pulgadas por minuto.

De acuerdo con la NTP 339.145 se debe reportar el esfuerzo a la penetración a 0.1" y 0.2", que resulta de la relación de la fuerza medida en el equipo y el área del pistón de penetración con el cual se realiza una gráfica de esfuerzo penetración.

La gráfica esfuerzo – penetración para la muestra obtenida de la calicata C-3 presenta una leve curvatura convexa al inicio, por lo que fue necesaria una corrección, trazando una línea recta alineada a la parte recta de la gráfica y los esfuerzos a 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración se desplazaron el espacio que se formó entre el origen de la gráfica y el corte de la línea de corrección con el eje de las abscisas.

Finalmente se dibujó una gráfica colocando en el eje de las abscisas el CBR correspondiente a 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración para cada espécimen y en el eje de las ordenadas la máxima densidad seca correspondiente a cada uno de los especímenes para cada muestra obtenida del material de subrasante.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 40: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-1.*

Cálculo de la relación de Soporte California (C.B.R.)

Descripción	Unidad	Datos		
Molde N°		1	2	3
Numero de capas		5	5	5
Numero de golpes		56	25	12
Condición de la muestra		No Saturado	No Saturado	No Saturado
Peso del suelo + molde	g.	11707	11230	11404
Peso del molde	g.	7432	7123	7455
Peso del suelo compactado	g.	4275	4107	3949
Volumen del molde	cm^3	2128	2140	2133
Densidad húmeda	g/cm^3	2.009	1.919	1.851
Densidad seca	g/cm^3	1.767	1.688	1.628

Contenido de humedad

Descripción	Unidad	Datos		
Masa de la tara	g.	320.0	321.0	320.0
Masa de muestra húmeda + tara	g.	819.6	819.4	820.7
Masa de muestra seca + tara	g.	759.4	759.3	760.4
Masa de agua	g.	60.2	60.1	60.3
Masa de muestra seca	g.	439.4	438.3	440.4
Contenido de humedad	%	13.7	13.7	13.7

Expansión

Fecha	Hora	Tiempo (h)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)
13-05	10:50	0	187	0.00	0.00	580	0.00	0.00	277	0.00	0.00
13-05	10:50	96	210	0.58	**0.50**	609	0.74	**0.63**	336	1.50	**1.29**

Penetración

Penetración		Molde N°1				Molde N°2				Molde N°3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
(pulg)	(mm.)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)
0.025	0.64	0.31	22			0.31	22			0.29	21		
0.050	1.27	0.61	44			0.57	41			0.52	38		
0.075	1.91	0.85	61			0.83	60			0.81	59		
0.100	2.54	1.19	86	83.0	8.3	1.14	82	78.0	7.8	1.07	77	72.0	7.2
0.125	3.18	1.41	102			1.35	98			1.25	90		
0.150	3.81	1.62	117			1.54	111			1.40	101		
0.175	4.45	1.77	128			1.68	121			1.62	117		
0.200	5.08	1.97	142	145.0	9.7	1.86	134	138.0	9.2	1.77	128	126.0	8.4
0.300	7.62	2.78	201			2.64	191			2.36	171		
0.400	10.16	3.38	244			3.10	224			2.88	208		
0.500	12.70	3.99	288			3.67	265			3.42	247		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el ensayo de Proctor modificado realizado de la muestra correspondiente a la calicata C-1 se tiene:

Máxima densidad seca: 1.767 g/cm^3

Máxima densidad seca al 95%: 1.679 g/cm^3

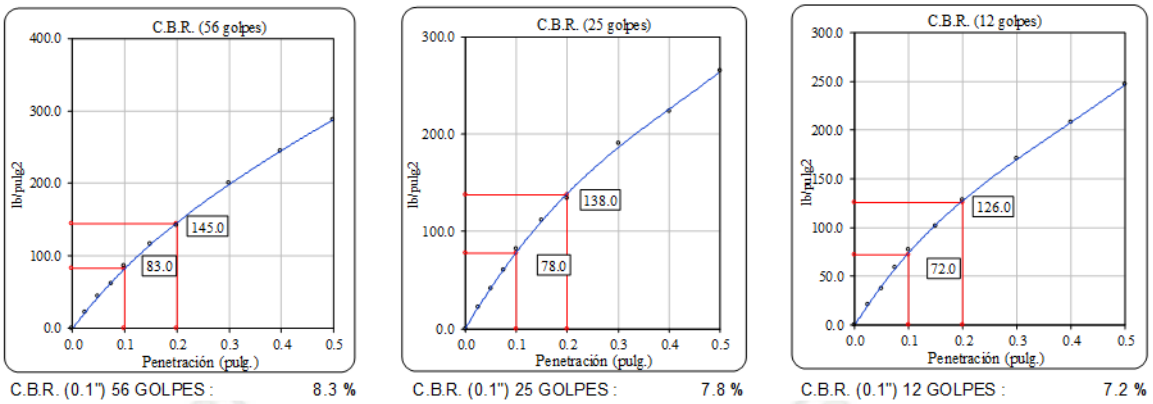
Optimo contenido de humedad: 13.70 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

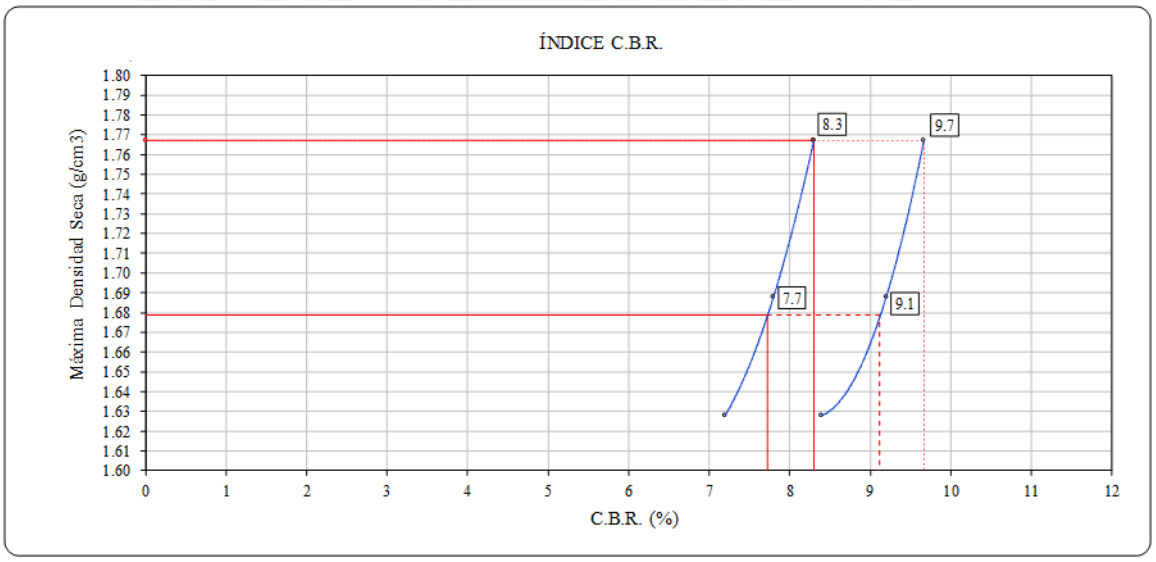
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 79: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-1.*



Fuente: Elaboración propia

Figura 80: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-1.*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 80 se infiere lo siguiente:

- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 8.3 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 7.7 %
- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 9.7 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 9.1 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 41: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-2.*

Cálculo de la relación de Soporte California (C.B.R.)

Descripción	Unidad	Datos		
Molde N°		1	2	3
Numero de capas		5	5	5
Numero de golpes		56	25	12
Condición de la muestra		No Saturado	No Saturado	No Saturado
Peso del suelo + molde	g.	12113	12269	12070
Peso del molde	g.	7939	8288	8220
Peso del suelo compactado	g.	4174	3981	3850
Volumen del molde	cm^3	2120	2118	2114
Densidad húmeda	g/cm^3	1.969	1.879	1.821
Densidad seca	g/cm^3	1.764	1.684	1.632

Contenido de humedad

Descripción	Unidad	Datos		
Masa de la tara	g.	320.0	341.0	332.0
Masa de muestra húmeda + tara	g.	866.2	781.8	556.1
Masa de muestra seca + tara	g.	809.4	736.0	532.8
Masa de agua	g.	56.8	45.8	23.3
Masa de muestra seca	g.	489.4	395.0	200.8
Contenido de humedad	%	11.6	11.6	11.6

Expansión

Fecha	Hora	Tiempo (h)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)
18-05	10:50	0	86	0.00	0.00	256	0.00	0.00	581	0.00	0.00
22-05	10:50	96	124	0.97	**0.83**	275	0.48	**0.41**	587	0.15	**0.13**

Penetración

Penetración		Molde N°1				Molde N°2				Molde N°3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
(pulg)	(mm.)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)
0.025	0.64	0.29	21			0.26	19			0.21	15		
0.050	1.27	0.52	38			0.45	33			0.42	30		
0.075	1.91	0.81	59			0.71	51			0.70	51		
0.100	2.54	1.07	77	80.0	8.0	0.99	72	68.0	6.8	0.91	66	63.0	6.3
0.125	3.18	1.26	91			1.15	83			1.09	79		
0.150	3.81	1.49	108			1.40	101			1.26	91		
0.175	4.45	1.77	128			1.62	117			1.47	106		
0.200	5.08	1.97	142	146.0	9.7	1.77	128	127.0	8.5	1.60	116	114.0	7.6
0.300	7.62	2.78	201			2.36	171			2.11	153		
0.400	10.16	3.38	244			2.88	208			2.50	181		
0.500	12.70	3.99	288			3.42	247			2.86	207		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el ensayo de Proctor modificado realizado de la muestra correspondiente a la calicata C-2 se tiene:

Máxima densidad seca: 1.764 g/cm^3

Máxima densidad seca al 95%: 1.676 g/cm^3

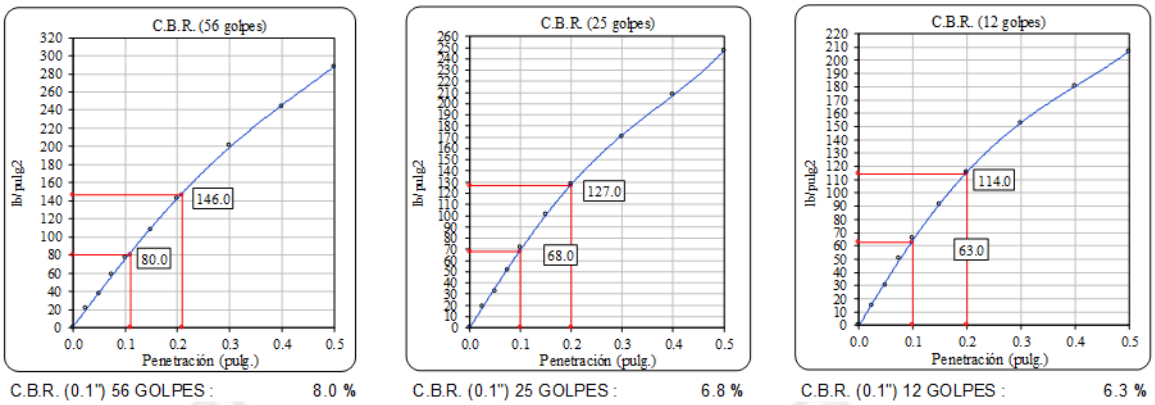
Optimo contenido de humedad: 11.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

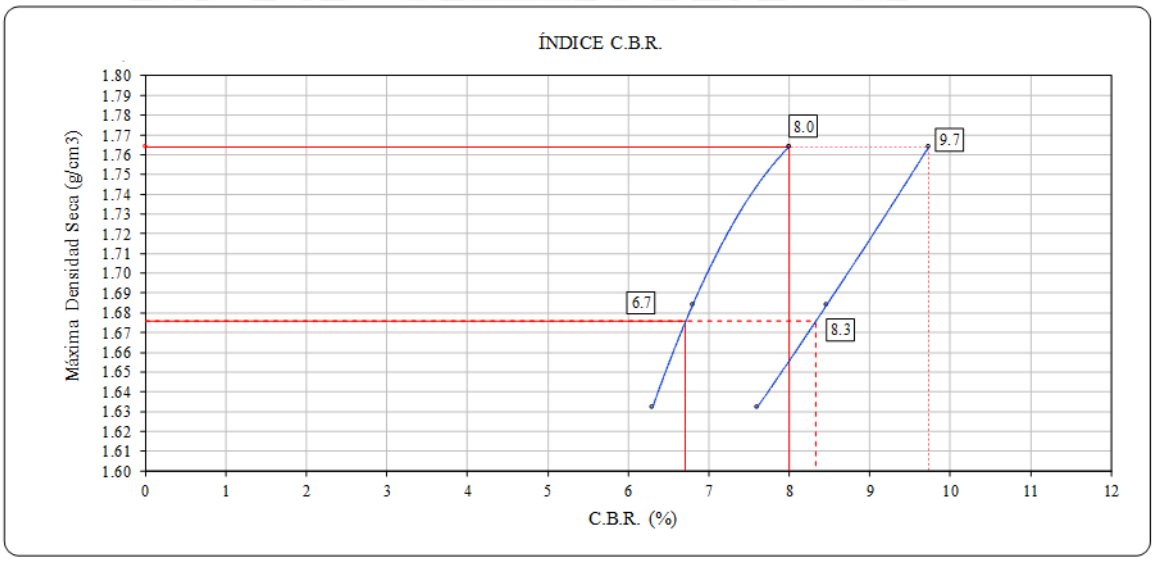
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 81: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-2*



Fuente: Elaboración propia

Figura 82: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-2*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 82 se infiere lo siguiente:

- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 8.0 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 6.7 %
- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 9.7 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 8.3 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 42: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra obtenida de la calicata C-3.*

Cálculo de la relación de Soporte California (C.B.R.)

Descripción	Unidad	Datos		
Molde N°		1	2	3
Numero de capas		5	5	5
Numero de golpes		56	25	12
Condición de la muestra		No Saturado	No Saturado	No Saturado
Peso del suelo + molde	g.	12607	12320	11537
Peso del molde	g.	8342	8229	7619
Peso del suelo compactado	g.	4265	4091	3918
Volumen del molde	cm^3	2113	2121	2131
Densidad húmeda	g/cm^3	2.019	1.929	1.839
Densidad seca	g/cm^3	1.793	1.713	1.633

Contenido de humedad

Descripción	Unidad	Datos		
Masa de la tara	g.	320.5	180.6	196.2
Masa de muestra húmeda + tara	g.	860.2	840.8	845.6
Masa de muestra seca + tara	g.	799.8	766.9	772.9
Masa de agua	g.	60.4	73.9	72.7
Masa de muestra seca	g.	479.3	586.3	576.7
Contenido de humedad	%	12.6	12.6	12.6

Expansión

Fecha	Hora	Tiempo (h)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)
24-05	8:00	0	184	0.00	0.00	331	0.00	0.00	201	0.00	0.00
28-05	8:00	96	208	0.61	**0.52**	358	0.69	**0.59**	231	0.76	**0.65**

Penetración

Penetración		Molde N°1				Molde N°2				Molde N°3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
(pulg)	(mm.)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)
0.025	0.64	0.20	14			0.11	8			0.13	9		
0.050	1.27	0.40	29			0.27	20			0.28	20		
0.075	1.91	0.65	47			0.47	34			0.45	33		
0.100	2.54	0.90	65	80.0	8.0	0.74	53	66.0	6.6	0.65	47	58.0	5.8
0.125	3.18	1.21	87			0.96	69			0.90	65		
0.150	3.81	1.55	112			1.27	92			1.11	80		
0.175	4.45	1.85	134			1.54	111			1.27	92		
0.200	5.08	2.07	150	162.0	10.8	1.75	127	138.0	9.2	1.44	104	114.0	7.6
0.300	7.62	2.91	210			2.49	180			2.05	148		
0.400	10.16	3.49	252			3.08	223			2.48	179		
0.500	12.70	4.04	292			3.60	260			2.88	208		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el ensayo de Proctor modificado realizado de la muestra correspondiente a la calicata C-3 se tiene:

Máxima densidad seca: 1.793 g/cm^3

Máxima densidad seca al 95%: 1.703 g/cm^3

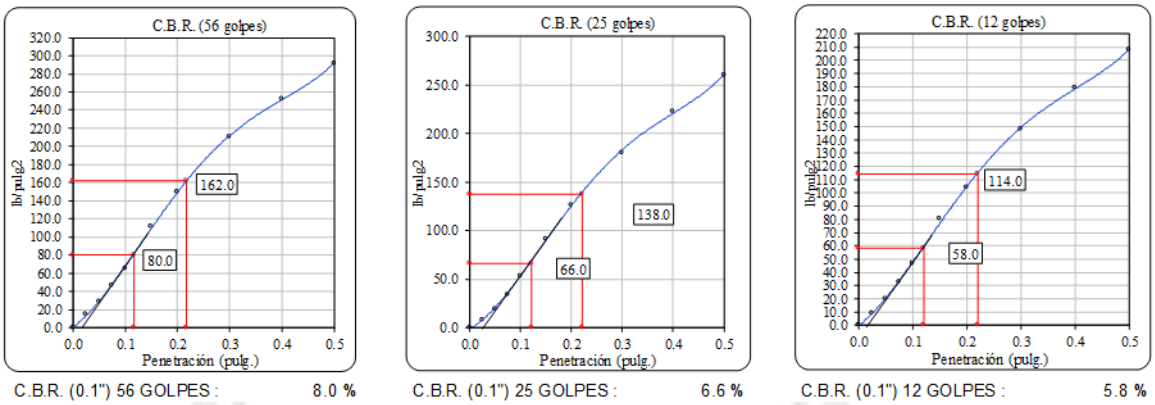
Optimo contenido de humedad: 12.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

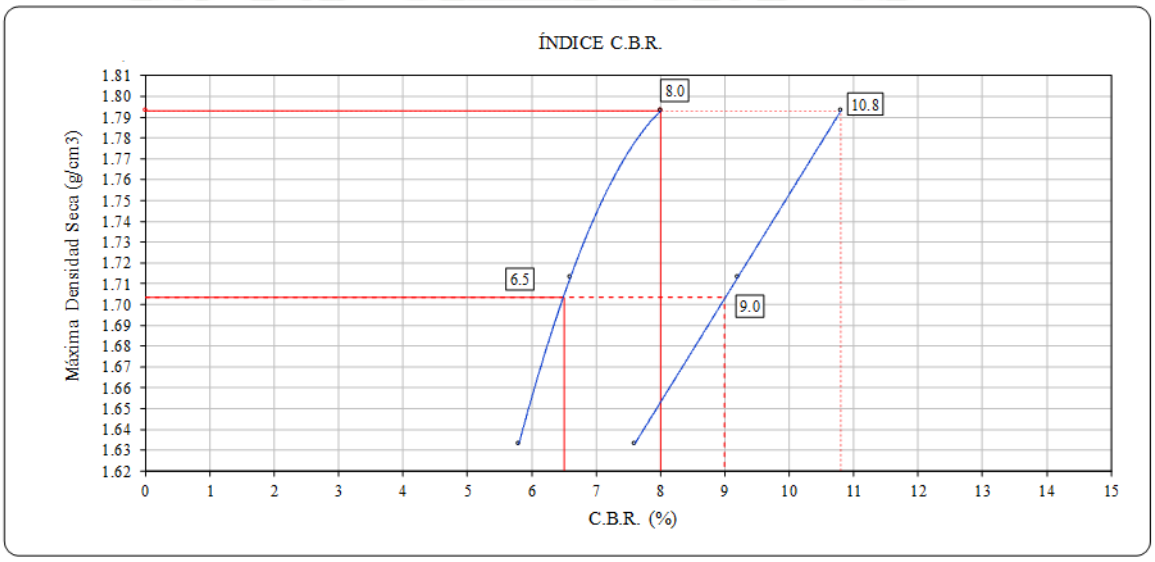
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 83: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra obtenida en la calicata C-3*



Fuente: Elaboración propia

Figura 84: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra obtenida en la calicata C-3*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 84 se infiere lo siguiente:

- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 8.0 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración: 6.5 %
- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 10.8 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.2” de penetración: 9.0 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.7. Sales solubles

El ensayo de sales solubles se realizó conforme al procedimiento descrito en la norma NTP 339.152 y su resultado indica la cantidad de partes por millón de sales solubles totales (sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, etc.) contenidas en la muestra de suelo.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Pesar 100 gramos de muestra (secada al aire y pasada por el tamiz N° 10, de 2 mm) en un frasco Erlenmeyer de 500 ml.
2. Adición de 300 ml de agua destilada, y proceder a agitarlo de manera manual con el frasco tapado durante una hora para disolver todas las sales. Terminado el proceso de agitación, se dejó sedimentar durante una hora.
3. Colocación de un filtro de microfibra de vidrio o papel filtro de 100 mm de diámetro en el embudo Buchner y filtrar la muestra (alícuota) con sales disueltas.
4. Registro del peso de un vaso Beaker en una balanza analítica con precisión a 4 decimales.
5. Registro del peso en el vaso Beaker, 50 ml de solución filtrada y llevarlo al horno por un periodo mínimo de 2 h a 180° C hasta que la muestra tenga una masa constante y solamente queden residuos de sales.
6. Colocación de la muestra en un desecador para que llegue a la temperatura ambiente.
7. Retiro de la muestra del desecador cuando la muestra ya se encuentre fría utilizando tenazas, con el propósito de no alterar los resultados del ensayo.
8. Registro del peso de la muestra con residuo de sales

Terminado el ensayo, se calculó el contenido de sales solubles de la muestra analizada. Generalmente cuando un suelo tiene más de 1500 ppm de sales solubles totales, se advierte que va a ocurrir una pérdida de resistencia en algún momento cuando el suelo se sature y sufra una pérdida de resistencia por lixiviación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 43: *Resultados del ensayo de contenido de sales solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.*

Descripción	Unidad	Datos
Relación de mezcla suelo – agua destilada	---	1:3
Peso de beaker	(g.)	29.6204
Peso del beaker + residuos de sales	(g.)	29.6391
Peso del residuo de sales	(g.)	0.0187
Volumen de solución tomada	(ml.)	50
Constituyentes de sales solubles en licuota	(p.p.m.)	374
Constituyentes de sales solubles en muestra	(p.p.m.)	1122
Constituyentes de sales solubles en peso seco	(%)	0.112

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.8. Contenido de sulfatos

El ensayo de contenido de sulfatos solubles en agua se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NTP 339.178 y su resultado indica la cantidad de partes por millón de sulfatos solubles contenidas en la muestra de suelo. Los sulfatos atacan al concreto produciendo un aumento de volumen, desmoronamiento y expansión en la pasta cementicia endurecida, formándose fisuras y disgregación del concreto.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Pesar 100 gramos de muestra (secada al aire y pasada por el tamiz N° 10, de 2 mm) en un frasco Erlenmeyer de 500 ml.
2. Adición de 300 ml de agua destilada, y proceder a agitarlo de manera manual con el frasco tapado durante una hora para disolver todas las sales. Terminado el proceso de agitación, dejar sedimentar durante una hora.
3. Repetición del proceso de agitado después de una hora.
4. Filtración de la muestra a través de un filtro de membrana o papel. Conservando el filtrado en un recipiente apropiado para su posterior análisis.
5. Colocación de 30 ml de la solución filtrada en una pipeta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6. Añadir a un Erlenmeyer de 250 ml, los 30 ml de la solución y llevarlo a ebullición lentamente.
7. Una vez que se encuentre hirviendo, se añadió 5 ml de solución caliente de cloruro de bario a la solución de extracto, con el propósito de mantener los sulfatos disueltos dentro de la solución mientras que los cloruros se sedimentan.
8. Mantener la temperatura justo por debajo del punto de ebullición hasta que el líquido empiece a clarificarse y los precipitados hayan sedimentado completamente.
9. Colocación de la muestra en el horno con una temperatura menor a 100° C por un periodo de 2 horas hasta observar que no haya ninguna partícula suspendida.
10. Filtrado de la solución de sulfato de bario ($BaSO_4$) sobre un papel filtro de textura fina
11. Colocación del material filtrado dentro de un crisol de porcelana, registrando previamente su masa.
12. Colocación del crisol de porcelana con muestra dentro del horno mufla para llevarlo a una temperatura de 800° C durante aproximadamente 1 hora, dejando enfriar y registrando el peso de sulfatos dentro del crisol.

Finalmente, terminado el ensayo, se calcula la cantidad de sulfatos en función a la alícuota de muestra multiplicada por la relación de la mezcla de solución.

Tabla 44: *Resultados del ensayo de contenido de sulfatos solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml)	300
Peso de suelo seco	(g)	100
Peso del crisol	---	19.4851
Peso del crisol + residuo de sulfatos	(g)	19.4907
Peso de residuo de sulfatos	(g)	0.0056
Volumen de la solución tomada	(ml)	30
Peso de la muestra en volumen de solución	(g)	10
Concentración de ion sulfatos	(p.p.m.)	230
Contenido de sulfatos	(%)	0.0230

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.3.9. Contenido de cloruros

El ensayo de contenido de cloruros solubles en agua se realizó conforme con el procedimiento descrito en la norma NTP 339.177 y su resultado indica la cantidad de partes por millón de cloruros solubles contenidos en la muestra de suelo. Cuando el contenido de ion cloruro, es mayor a 0.15%, se deben tomar las medidas de protección necesarias para el concreto.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Pesar 100 gramos de muestra (secada al aire y pasada por el tamiz N° 10, de 2 mm) en un frasco Erlenmeyer de 500 ml.
2. Adición de 300 ml de agua destilada, y proceder a agitarlo de manera manual con el frasco tapado durante veinte segundos para disolver todas las sales.
3. Repetición del proceso de agitación después de una hora.
4. Filtración de la muestra a través del filtro de membrana de 0.45 µm, conservando el filtrado en un recipiente apropiado para su posterior análisis.
5. Colocación de 30 ml de esta solución filtrada dentro de un medidor de porcelana.
6. Agregar 1 ml de solución de cromato de potasio (K_2CRO_4) combinado al 5% con agua destilada, a la solución filtrada
7. Llenado de la bureta y registro de la primera lectura de solución de nitrato de plata.
8. Agregar gotitas de nitrato de plata en la solución filtrada hasta que cambie a una coloración rojiza.

Finalmente, terminado el ensayo, se calcula el contenido de cloruros solubles en agua, en función a la alícuota de muestra, multiplicada por la relación de la mezcla de solución.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 45: *Resultados del ensayo de contenido de cloruros solubles para la muestra obtenida de la calicata C-2.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml.)	300
Peso de suelo seco	(g.)	100
Volumen de solución tomada	(ml.)	30
Titulación de la solución de nitrato de plata	(T)	0.906
Consumo de solución de nitrato de plata	(ml.)	10.0
Peso de muestra en volumen de solución	(g.)	10.0
Contenido de cloruros	(p.p.m.)	888
Contenido de cloruros	(%)	0.0888

Fuente: Elaboración propia

5.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE SUBBASE

El material utilizado proviene de la cantera Socabaya, la cual se ubica en el cauce del rio Socabaya Km 7.5 de la carretera Arequipa – Chiguata en el Distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa. El acceso a la cantera es por la zona de Lara. De acuerdo con la geología y geomorfología de la ubicación de la cantera, los suelos de la cantera se caracterizan por encontrarse dentro de la unidad estratigráfica, deposito Aluvial (Qh-al), arrastrando material granular en tiempos de precipitación desde el río Chiguata que luego toma el nombre de Sabandía, posteriormente Socabaya.

La potencia de la cantera depende del material arrastrado en época de precipitaciones (Diciembre – Marzo) y se puede encontrar piedra seleccionada natural de rio, piedra chancada de quijada y piedra seleccionada chancada. El material se puede extraer por medios mecánicos mediante excavadora y cargador frontal para el acopio y carguío.

Para la selección del material de subbase, se tomó en cuenta los siguientes parámetros: Idoneidad del material para su uso como material de subbase en la estructura del pavimento y cantidad apropiada de materiales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.3.1 Ejecución de ensayos de laboratorio

5.3.1.1. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.185 con el propósito de determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, secando tanto la humedad superficial como la humedad en los poros del agregado.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Identificación del recipiente.
2. Registro de la masa del recipiente.
3. Registro de la masa del recipiente con muestra húmeda.
4. Colocación del recipiente con muestra húmeda, en el horno durante 16 horas hasta tener una masa constante a una temperatura de 110 ± 5° C.
5. Registro de la masa del recipiente con muestra seca.

Tabla 46: *Resultados del ensayo de contenido de humedad de las muestras de subbase*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa de tara	(g)	821	894
Masa de muestra húmeda + tara	(g)	10906	8998
Masa de muestra seca + tara	(g)	10626	8773
Masa de muestra húmeda	(g)	10085	8103
Masa de muestra seca	(g)	9805	7879
Contenido de humedad	**(%)**	2.86	2.85

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.2. Análisis granulométrico

El ensayo de análisis granulométrico se realizó de acuerdo con la norma NTP 400.012 con el propósito de determinar la distribución de tamaños de las partículas del agregado fino y grueso permitiendo conocer las deficiencias o excesos de un tamaño particular y comparar la gradación del agregado con alguna especificación técnica determinada (husos granulométricos o limites granulométricos).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La cantidad mínima de muestra debe ser representativa del global de la misma, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Separación de la muestra en dos fracciones: Una retenida sobre el tamiz de 4.76 mm (N° 4) y otra que pase dicho tamiz.

2. Selección de cantidad de material en estado seco: 20 kg para el agregado grueso y 500 g. para el agregado fino.

Una vez obtenido el tamaño mínimo de muestra, se lavaron los agregados por separado con abundante agua en un recipiente filtrando el material fino a través de la malla 0.075 mm (N° 200), evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula retenida. Una vez clarificada el agua, se recoge lo retenido en un recipiente y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5° C hasta tener una masa constante.

Con la muestra lavada y seca, se realizó el análisis granulométrico de la fracción gruesa retenida en el tamiz de 4.76 mm (N° 4) y la fracción fina que pasa el tamiz de 4.76 mm (N° 4) usando los tamices normalizados correspondientes.

Se registran los pesos retenidos en cada tamiz y se procede a calcular el porcentaje pasante acumulado en cada una de ellas. Finalmente se graficó la curva granulométrica, la cual es representada en un plano cartesiano semi-logarítmico, colocando en el eje de las abscisas (escala logarítmica) el diámetro de los tamices en milímetros y en el eje de las ordenadas (escala aritmética) el porcentaje pasante acumulado de cada tamiz.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

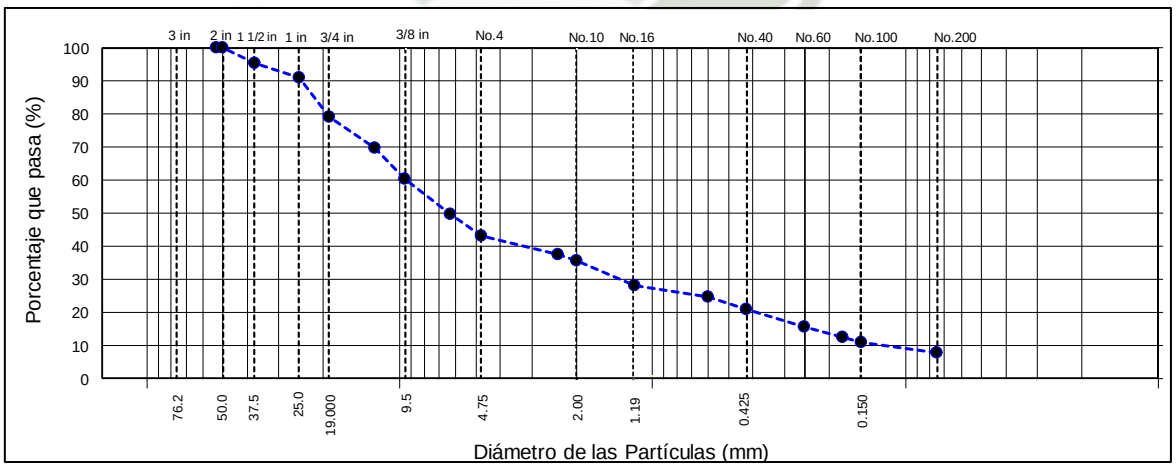
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 47: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida del material de subbase.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4"	100.0	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	53.0	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	37.5	570	4.72	4.72	95.28
1"	25.0	505	4.18	8.91	91.09
¾"	19.0	1444	11.96	20.87	79.13
½"	12.5	1122	9.30	30.17	69.83
3/8"	9.5	1128	9.35	39.51	60.49
¼"	6.3	1302	10.79	50.30	49.70
#4	4.75	780	6.46	56.77	43.23
#8	2.36	67.8	5.86	62.63	37.37
#10	2.00	20.2	1.75	64.37	35.63
#16	1.19	87.5	7.57	71.94	28.06
#30	0.60	39.6	3.42	75.36	24.64
#40	0.425	42.5	3.67	79.04	20.96
#60	0.25	62.8	5.43	84.47	15.53
#80	0.18	35.0	3.03	87.50	12.50
#100	0.15	17.2	1.49	88.98	11.02
#200	0.075	37.4	3.23	92.22	7.78
< #200		90.0	7.78	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 85: *Curva granulométrica de la muestra obtenida del material de subbase.*



Fuente: Elaboración propia

5.3.1.3. Límites de Atterberg

Se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.129 con el propósito de evaluar el efecto de la humedad en la consistencia de los suelos de manera cuantitativa que conforman el material

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de subbase. El procedimiento de ensayo consistió primeramente en cuartear la muestra hasta obtener una muestra representativa. Luego, se tamizo por vía húmeda a través de la malla N° 40 y el material pasante se secó a temperatura ambiente. Una vez seca la muestra se le agrego agua destilada hasta dejarla en estado plástico y proceder a realizar los ensayos de plasticidad.

El ensayo de limite liquido se determinó colocando una pasta de la muestra húmeda en la cuchara de la copa de Casagrande para luego dividirla en dos mitades con el ranurador y empezar a girar la manilla de la copa de Casagrande, la cual deja caer la cuchara una altura de 1 centímetro a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que la muestra dividida se vuelva a cerrar. Debido a que la cantidad de golpes requeridos para cerrar la muestra fue menor a los requeridos a los requeridos para distintos contenidos de humedad, se determinó que la muestra no presenta limite líquido.

El ensayo de limite plástico se determinó rolando dos muestras con los dedos sobre el vidrio esmerilado, haciendo barritas hasta obtener un diámetro de 3.2 mm de grosor y esperando que se fisure en un tiempo no mayor a 2 minutos. Finalmente, fue imposible formar barritas con la muestra sin que se desmoronaran antes de alcanzar el diámetro necesario, por lo que no se pudo establecer el límite plástico.

Tabla 48: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra M-1 obtenida del material de subbase.*

Descripción	Unidad	Datos		
Masa del suelo húmedo + capsula	(g)	---	---	---
Masa del suelo seco + capsula	(g)	---	---	---
Masa de la capsula	(g)	---	---	---
Masa del suelo seco	(g)	---	---	---
Masa del agua	(g)	---	---	---
Contenido de humedad	(%)	---	---	---
Numero de golpes, N	-	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 49: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra M-1 obtenida del material de subbase.*

LIMITES DE PLASTICIDAD M-1	
Limite liquido	N.P.
Limite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: *Resultados del ensayo de determinación del límite liquido de la muestra M-2 obtenida del material de subbase.*

Descripción	Unidad	Datos		
Masa del suelo húmedo + capsula	(g)	---	---	---
Masa del suelo seco + capsula	(g)	---	---	---
Masa de la capsula	(g)	---	---	---
Masa del suelo seco	(g)	---	---	---
Masa del agua	(g)	---	---	---
Contenido de humedad	(%)	---	---	---
Numero de golpes, N	-	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: *Determinación del índice de plasticidad de la muestra M-2 obtenida del material de subbase.*

LIMITES DE PLASTICIDAD M-2	
Limite liquido	N.P.
Limite plástico	N.P.
Índice de plasticidad	N.P.

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.4. Equivalente de arena

La prueba de equivalente de arena, que mide volumétricamente el porcentaje de arena y finos en un material dado, se realizó de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 339.146.

Para obtener una muestra representativa para la prueba, fue necesario realizar el proceso de cuarteo. A continuación, se añadió agua en una cantidad calculada para que el contenido de humedad de la muestra se aproximara lo más posible al porcentaje de absorción sin perder finos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Adición de 85 ml de solución stock en un galón de agua destilada.
2. Llenado de las probetas con la solución preparada hasta los 4 cm.
3. Colocación de la muestra en las probetas dentro de la solución medida con ayuda de un embudo.
4. Reposo de la muestra en las probetas durante 10 minutos.
5. Terminado el tiempo de reposo, se procedió a agitar la probeta de un lado a otro colocando una tapa, evitando de esta forma la pérdida del material.
6. Pasado el tiempo de agitación, se retiró la tapa de la probeta y enjuago con la solución stock de adentro hacia afuera hasta completar la altura de 38.1 mm. luego se procedió a dejarlo en reposo durante 20 minutos.
7. Finalmente se tomó lectura de la altura de la arcilla y después con el medidor de lectura de arena, la altura de la arena.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el equivalente de arena de la siguiente manera:

$$\text{Equivalente de arena (\%)} = \frac{\text{Altura maxima de la arena}}{\text{Altura maxima de material fino}} \text{x } 100$$

Tabla 52: *Resultados del ensayo de equivalente de arena promedio de las muestras de subbase.*

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS	
Solución de Stock	Formaldehido	
Método empleado	Manual	
Temperatura	21 °C ± 2 °C	
Tamaño máximo	N° 4	N° 4
Muestra N°	1	2
Hora de Entrada a saturación	14:37	14:39
Hora de Salida de saturación	14:47	14:49
IRRIGACIÓN		
Hora de entrada a reposo	14:49	14:51
Hora de salida de reposo	15:09	15:11
Altura máxima de material fino (cm.)	15.50	15.80
Altura máxima de la arena (cm.)	12.00	13.00
Equivalente de arena (%)	78.0	83.0
Equivalente de arena promedio (%)	80.5	

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.3.1.5. Abrasión al desgaste de los agregados gruesos

En la realización del ensayo de abrasión al desgaste de los agregados gruesos se siguió la norma NTP 400.019 el cual es aplicable para partículas menores al tamiz de 1 1/2". El método de prueba consiste en colocar el agregado grueso y esferas metálicas en la máquina de los ángeles para medir por diferencia de pesos el desgaste al impacto y a la flexión. Se utilizó el proceso de cuarteo para obtener una muestra representativa con el fin de preparar la muestra para el ensayo, teniendo en cuenta el tamaño mínimo de muestra requerido en función de la gradación correspondiente, como se indica en la Tabla 53.

Tabla 53: *Muestra mínima a ensayar para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles de acuerdo a la gradación correspondiente.*

Tamaño de tamices		Masa de tamaños indicados en gramos Gradación			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25			
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250 ± 25			
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500 ± 10	
6.3 mm (1/4")	4.75 (N° 4)			2500 ± 10	
4.75 (N° 4)	2.36 (N° 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Reproducido de la Norma ASTM C131 *"Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles"* por *ASTM Internacional, 2014*

El número de esferas que debe añadirse viene determinado por la gradación de la muestra y está de acuerdo a la tabla 54.

Tabla 54: *Numero y masa de esferas a añadir de acuerdo con la gradación correspondiente para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles*

Gradación	Numero de esferas	Masa de carga en gramos
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Reproducido de la Norma ASTM C131 *"Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles"* por *ASTM Internacional, 2014*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Colocación del material requerido de acuerdo con la gradación A en la máquina de los ángeles con 12 esferas, a una velocidad de rotación de 30 rpm durante 500 revoluciones.
2. Después del número prescrito de revoluciones, se descarga el material de la máquina de los ángeles y se hace una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso que el tamiz #12.
3. Para finalizar, se lava todo el material retenido en el tamiz #12 y se seca en el horno a una temperatura de 110° ± 5 °C hasta obtener una masa constante.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el desgaste por abrasión de la siguiente manera:

$$\text{Desgaste por abrasion (\%)} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} \text{x } 100$$

Tabla 55: *Resultados del ensayo de abrasión promedio de las muestras de subbase.*

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS	
Gradación de la muestra	A	
Muestra N°	1	2
Masa inicial lavada y seca	4996	5000
Masa final lavada y seca a las 500 revoluciones	3587	3631
Abrasión (%)	28	27
Abrasión promedio (%)	27.5	

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.6. Partículas chatas y alargadas

Dado que una cantidad excesiva de partículas planas y alargadas hace que el material no se adhiera adecuadamente con las otras partículas, comprometiendo su resistencia y haciéndolo susceptible a fallas cuando se compacta, la prueba de partículas planas y alargadas se realizó de acuerdo con la NTP 400.040 con el fin de informar la cantidad de partículas planas y alargadas y determinar si cumple con el requisito para su uso como material de subbase.

El procedimiento de ensayo consistió en realizar el siguiente procedimiento:

1. Separación previa de las partículas de una muestra a través de un proceso de tamizado con los tamices: 3”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8” y N° 4.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Registro de la masa de las partículas que cumplan con los requisitos para ser consideradas alargadas y chatas hasta el tamaño de 12.70 mm (1/2”).

$$\text{Alargada} = \frac{\text{Longitud}}{\text{Ancho}} > 3$$

$$\text{Chata} = \frac{\text{Ancho}}{\text{Espesor}} > 3$$

Terminado el procedimiento se procede a calcular el porcentaje de partículas chatas y alargadas en cada tamiz.

Tabla 56: *Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas de la muestra de subbase.*

Tamiz	Peso retenido gradación original	% Retenido	Peso de partículas chatas	Peso de partículas alargadas	Peso de partículas chatas y alargadas	Partículas chatas y alargadas (%)	% corregido
2”	---	---	---	---	---	---	---
1 ½”	341	6.55	---	---	---	---	---
1”	1400	26.90	---	---	---	---	---
¾”	789	15.16	42.2	0.0	0.0	5.35	0.81
½”	1232	23.67	51.7	0.0	0.0	4.20	0.99
3/8”	711	13.66	---	---	---	---	---
N° 4	732	14.06	---	---	---	---	---
Total	5205	100					1.8

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.7. Sales solubles

El ensayo de sales solubles se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NTP 339.152 y su resultado indica la cantidad de partes por millón de sales solubles totales (sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, etc.) contenidas en la muestra de material de subbase.

El procedimiento analítico aplicado es el mismo que se utiliza para determinar la cantidad de sales solubles en suelos y la muestra de suelo analizado consistió en pesar 100 gramos de muestra previamente secada al aire y pasada por el tamiz N° 10.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 57: *Resultados del contenido de sales solubles de la muestra de subbase.*

Descripción	Unidad	Datos
Relación de mezcla suelo – agua destilada	---	1:3
Peso de beaker	(g.)	29.5419
Peso del beaker + residuos de sales	(g.)	29.5679
Peso del residuo de sales	(g.)	0.0260
Volumen de solución tomada	(ml.)	50
Constituyentes de sales solubles en licuota	(p.p.m.)	520
Constituyentes de sales solubles en muestra	(p.p.m.)	1561
Constituyentes de sales solubles en peso seco	(%)	0.156

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.8. Ensayo de proctor

El ensayo de proctor se realizó con el propósito de determinar la máxima densidad seca del material en laboratorio. La norma técnica de edificación CE.010 "Pavimentos Urbanos" del Reglamento Nacional de edificaciones establece la realización del proctor estándar para suelos cohesivos y proctor modificado para suelos granulares.

El ensayo de proctor consiste en ensayar 4 muestras del mismo material con diferentes contenidos de humedad, aplicando un esfuerzo a través de una energía de compactación mediante la caída de un pisón cilíndrico en un molde cilíndrico y es aplicable únicamente para suelos que contienen 30% o menos de partículas retenidas en el tamiz de 19 mm (3/4"). De acuerdo con el tipo de suelo, se realizó el ensayo de proctor modificado acorde a la norma ASTM D1557 utilizando el método C, el cual es aplicable cuando el tamiz 3/4" retiene en el porcentaje retenido acumulado 30% o menos de material, utilizando un molde de 6" y compactando en material en 5 capas, aplicando 56 golpes por capa.

Se procedió a tamizar la muestra por la malla 3/4" hasta obtener un peso húmedo aproximado de 35 kg. Disgregando todos los terrones de material compacto y haciendo un mezclado homogéneo.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Preparación del material para una serie de cuatro especímenes de 6000 g.
2. Incremento gradual de la cantidad de agua, en progresión aritmética de 2% hasta encontrar el contenido óptimo de humedad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Colocación del material dentro de bolsas impermeables y proceder a sellarlas.
4. Saturación del material durante 3 horas como mínimo y proceder a ensayar los especímenes, colocando el molde elegido sobre una base rígida horizontal nivelado.
5. Colocación del material con el cucharon dentro del molde en capas, colocando el pisón de compactación sobre la porción vertida en el molde (primera capa) y luego levantando el mango hasta que el pisón llegue al extremo de la guía dejándolo caer sobre la porción (1 golpe), aplicándose a una velocidad uniforme sobre toda la superficie de la porción en el molde, aproximadamente a razón de un golpe por segundo.
6. Finalizada la compactación con el apisonador de la primera capa, se retiró el pisón del molde y se colocó una nueva capa, la cual se compacto de la misma manera como se indicó en el paso anterior, continuando de este modo hasta completar las tres o cinco capas requeridas, según el método seleccionado.
7. Terminada la compactación de las 5 capas, se retiró el collarín del molde, verificando que la capa final no quede a más de 6 mm por encima del collarín para proceder a enrasar la muestra.
8. Retiro del material suelto de los bordes del molde y registro del peso del espécimen con una precisión de 1 gramo.
9. Finalmente, se removió, mezclo y homogenizo el material compactado que se encuentra dentro del molde para obtener el contenido de humedad de acuerdo al procedimiento descrito en la norma NTP 339.127.

Terminado el procedimiento de ensayo, se determina la máxima densidad seca y el contenido de humedad para las cuatro muestras, con el propósito de construir una gráfica de humedad – densidad seca y ubicar el punto máximo de la curva. La proyección horizontal indica la máxima densidad seca y la proyección vertical indica el óptimo contenido de humedad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

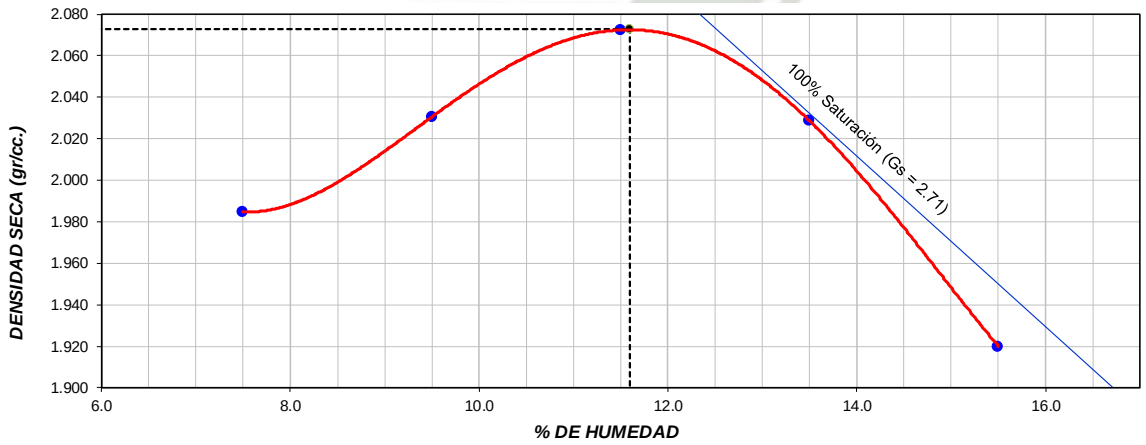
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 58: *Resultados del ensayo de proctor para determinar la máxima densidad seca de la muestra de subbase.*

Descripción	Unidad	Datos				
Determinación de la densidad húmeda						
Molde	N°	1	2	3	4	5
Masa del suelo + molde	g.	10752	10936	11115	11098	10924
Masa del molde	g.	6378	6378	6378	6378	6378
Masa del suelo húmedo compactado	g.	4374	4558	4737	4720	4546
Volumen del molde	cm^3	2049.97	2049.97	2049.97	2049.97	2049.97
Densidad húmeda	g/cm^3	2.134	2.223	2.311	2.302	2.218
Contenido de humedad						
Masa de la tara	g.	389.3	390.3	348.4	354.7	321.2
Masa de muestra húmeda + tara	g.	889.3	890.3	848.4	854.7	810.7
Masa de muestra seca + tara	g.	854.4	846.9	796.8	795.2	745.0
Masa de agua	g.	34.9	43.4	51.6	59.5	65.7
Masa de muestra seca	g.	465	457	448	441	424
Contenido de agua	%	7.5	9.5	11.5	13.5	15.5
Determinación de la densidad seca						
Densidad seca	g/cm^3	1.985	2.031	2.072	2.029	1.920

Fuente: Elaboración propia

Figura 86: *Relación humedad – densidad seca de la muestra de subbase*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 86 se infiere lo siguiente:

- Máxima densidad seca: 2.073 g/cm3
- Contenido de humedad optima: 11.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.3.1.9. CBR

El valor de soporte de California se determinó con el propósito de comparar la resistencia del suelo con la resistencia obtenida de la piedra de California. De acuerdo con la norma ASTM D1883, este método de ensayo limita el tamaño máximo del espécimen a 3/4 de pulgada y consiste en compactar 3 especímenes del mismo material con el óptimo contenido de humedad a razón de 56, 25 y 12 golpes sucesivamente.

El procedimiento realizado, primeramente, consistió en hacer un tamizado granulométrico utilizando las mallas 3/4", 3/8" y N° 4 para determinar la cantidad de material retenido en la malla 3/4", el cual debe ser eliminado y reemplazado por material de igual masa que pase el tamiz 3/4" y quede retenido en el tamiz N° 4. El cálculo de reemplazo de grava se hizo mediante cálculos matemáticos proporcionales con el fin de no alterar la curva granulométrica y se realizó de la siguiente manera:

1. Registro del porcentaje de material retenido en cada una de las siguientes mallas granulométricas: 3/4", 3/8", N° 4 y fondo.
2. Conocido el porcentaje de material retenido en las mallas 3/8" y N° 4, se calculó el porcentaje que representa el material retenido en la malla 3/4" respecto al material retenido en las mallas 3/8" y N° 4.
3. Finalmente, obtenidos los porcentajes retenidos en cada una de las mallas se procede a multiplicar el total de la muestra por los porcentajes que deben retener cada una de las mallas granulométricas.

Determinado el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, se prepararon 3 muestras con el óptimo contenido de humedad en el cual se varió la energía de compactación con 56, 25 y 12 golpes sucesivamente en 5 capas para cada uno de los especímenes, colocando previamente dentro del molde un disco espaciador y sobre el disco espaciador un papel filtro con el objetivo de evitar que el material fino se introduzca dentro de las ranuras perforadas en las placas y en la base.

Terminada la compactación de los especímenes, se procedió a saturar los especímenes durante 96 horas, previamente se registró la expansión inicial antes de saturar el espécimen y pasado el tiempo de saturación se tomó una lectura final con un dial analógico.

Registrada la medición de la expansión de cada espécimen, se decantó el agua sobrante del espécimen retirado de la poza de saturación y se sometió a penetración en un marco de carga

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para CBR el cual tiene un pistón de penetración que hace contacto con la superficie del suelo y mide la penetración en mm o pulgadas mientras se va midiendo cuanto de carga va soportando en kg o lb con una velocidad de ensayo a razón de 1.3 mm por minuto o 0.5 pulgadas por minuto.

De acuerdo con la NTP 339.145 se debe reportar el esfuerzo a la penetración a 0.1" y 0.2", que resulta de la relación de la fuerza medida en el equipo y el área del pistón de penetración con el cual se realiza una gráfica de esfuerzo penetración.

La gráfica esfuerzo – penetración para la muestra obtenida de la calicata C-3 presenta una leve curvatura convexa al inicio, por lo que fue necesaria una corrección, trazando una línea recta alineada a la parte recta de la gráfica y los esfuerzos a 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración se desplazaron el espacio que se formó entre el origen de la gráfica y el corte de la línea de corrección con el eje de las abscisas.

Finalmente se dibujó una gráfica colocando en el eje de las abscisas el CBR correspondiente a 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración para cada espécimen y en el eje de las ordenadas la máxima densidad seca correspondiente a cada uno de los especímenes de la muestra de material de subbase.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 59: *Resultados del ensayo de la relación de Soporte California (C.B.R) para la muestra de subbase.*

Cálculo de la relación de Soporte California (C.B.R.)

Descripción	Unidad	Datos		
Molde N°		1	2	3
Numero de capas		5	5	5
Numero de golpes		56	25	12
Condición de la muestra		No Saturado	No Saturado	No Saturado
Peso del suelo + molde	g.	12074	11976	12060
Peso del molde	g.	7123	7393	7695
Peso del suelo compactado	g.	4951	4583	4365
Volumen del molde	cm^3	2140	2126	2117
Densidad húmeda	g/cm^3	2.313	2.156	2.062
Densidad seca	g/cm^3	2.073	1.932	1.848

Contenido de humedad

Descripción	Unidad	Datos		
Masa de la tara	g.	390.9	355.0	348.4
Masa de muestra húmeda + tara	g.	890.9	855.0	848.4
Masa de muestra seca + tara	g.	838.9	803.0	796.4
Masa de agua	g.	52.0	52.0	52.0
Masa de muestra seca	g.	448.0	448.0	448.0
Contenido de humedad	%	11.6	11.6	11.6

Expansión

Fecha	Hora	Tiempo (h)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)	Dial 0.01"	Expansión (mm)	Expansión (%)
03-07	13:45	0	54	0.00	0.00	32	0.00	0.00	13	0.00	0.00
07-07	13:45	96	58	0.10	**0.09**	38	0.15	**0.13**	22	0.23	**0.20**

Penetración

Penetración		Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
(pulg)	(mm.)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)	kN	lb/pulg²	lb/pulg²	CBR (%)
0.025	0.64	2.24	162			1.20	87			0.63	46		
0.050	1.27	5.30	383			2.90	210			2.10	152		
0.075	1.91	8.73	631			5.10	369			4.01	290		
0.100	2.54	13.45	972	1050	105	8.60	622	750	75	5.54	400	510	51.0
0.125	3.18	16.60	1200			11.10	802			7.35	531		
0.150	3.81	19.69	1423			13.90	1005			9.58	693		
0.175	4.45	23.44	1694			16.10	1164			11.17	807		
0.200	5.08	26.68	1929	1950	130	18.50	1337	1475	98.3	12.71	919	1000.0	66.7
0.300	7.62	33.85	2447			25.60	1851			17.69	1279		
0.400	10.16	40.67	2940			31.66	2289			22.65	1637		
0.500	12.70	45.60	3296			35.53	2568			25.45	1840		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el ensayo de Proctor modificado realizado de la muestra correspondiente se tiene:

Máxima densidad seca: 2.073 g/cm^3

Máxima densidad seca al 95%: 1.969 g/cm^3

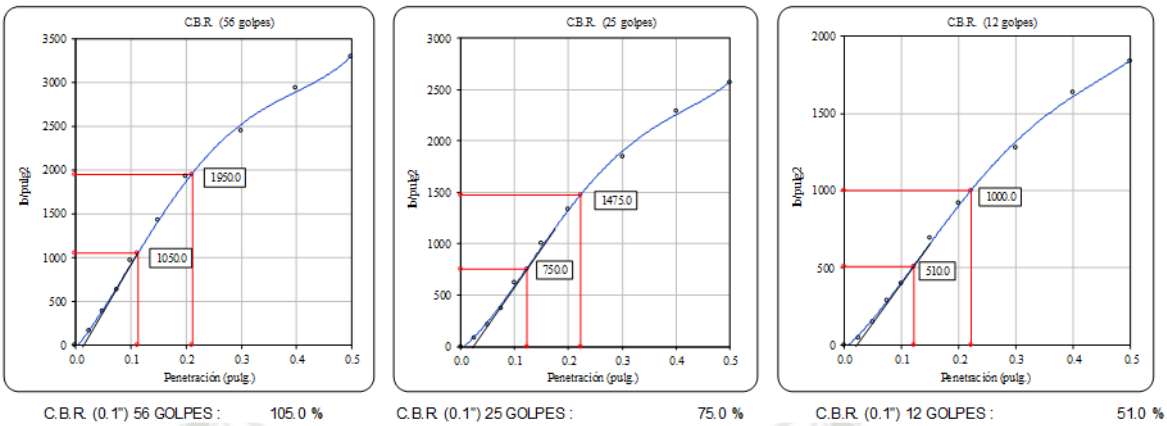
Optimo contenido de humedad: 11.60 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

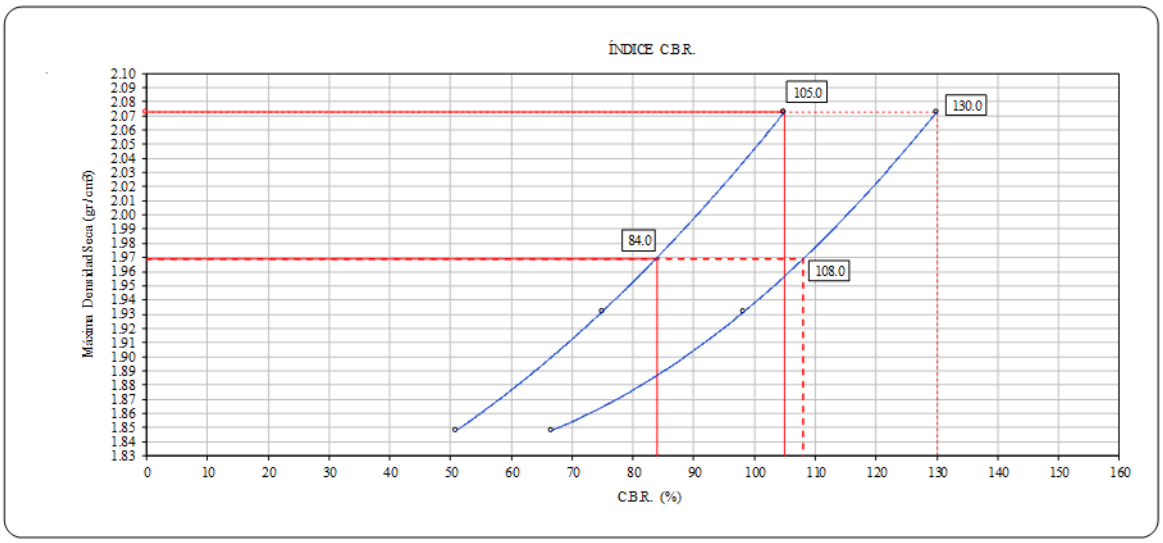
Figura 87: *Gráficos esfuerzo – penetración para la muestra de subbase*



C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : 105.0 %
C.B.R (0.1") 25 GOLPES : 75.0 %
C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : 51.0 %

Fuente: Elaboración propia

Figura 88: *Determinación del CBR de acuerdo a la máxima densidad seca de la muestra de subbase.*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 88 se infiere lo siguiente:

- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración: 105.0 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración: 84.0 %
- C.B.R. al 100% de la máxima densidad seca a 0.2" de penetración: 130.0 %
- C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca a 0.2" de penetración: 108.0 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Debe tener un enfoque por desempeño, el cual evalúe y garantice el nivel requerido de calidad del concreto con relación a la durabilidad esperada de la estructura, bajo el entorno en el que estará construido.

Comprende la evaluación física de los agregados como datos fundamentales para su dosificación en peso (laboratorio) y volumen de obra, así como la evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, las cuales se realizan en condiciones normales de fraguado y resistencia requerida para el pavimento industrial.

5.4.1 Materiales componentes

5.4.1.1. Cemento y adiciones minerales

En este diseño de mezclas, se emplea el cemento Portland Tipo IP de la marca Yura, disponible localmente y que satisface los estándares establecidos en la norma NTP 334.090. Este cemento se destaca por su elevada resistencia a la compresión, su capacidad para resistir el ataque de sulfatos y cloruros, así como por su mayor impermeabilidad y la reducción de la reacción álcali-agregado.

Tabla 60: *Características técnicas del Cemento Multipropósito Yura Tipo IP*

REQUISITOS	CEMENTO MULTIPROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595	
REQUISITOS QUÍMICOS				
MgO (%)			6.00 máximo	
SO_3 (%)	1.5 a 3.0		4.00 máximo	
Perdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 máximo	
REQUISITOS FÍSICOS				
Peso específico (g/cm^3)	2.75 a 2.85			
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 máximo	
Resistencia a la compresión	kgf/cm^2	MPa	kgf/cm^2	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 mínimo	13
7 días	225 a 255	22 a 25	204 mínimo	20
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 mínimo	25
Resistencia a los sulfatos	%		%	
% Expansión a los 6 meses	Menor a 0.04		0.05 máximo	
% Expansión a 1 año	Menor a 0.05		0.10 máximo	

Reproducido de *"Ficha Técnica Cemento Multipropósito Yura Tipo IP"* por *Cementos Yura, 2022*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.1.2. Agua

El agua utilizada en este estudio cumple los requisitos de la NTP 339.088 y es apta para el consumo humano.

Incluso el agua que no es apta para el consumo humano puede utilizarse para elaborar concreto, aunque esto depende en gran medida del tipo de cemento y de las impurezas de los demás ingredientes. En consecuencia, no existe un patrón definitivo sobre las limitaciones de composición química que debe tener el agua de mezcla. Los requisitos de la NTP 339.088 para el agua de mezclado y curado se resumen en la Tabla 61.

Tabla 61: *Requisitos para el agua de mezcla y curado*

Descripción	Limite permisible máximo
1) Solidos en suspensión	5000 ppm.
2) Materia orgánica	3 ppm.
3) Alcalinidad ($NaHCO_3$)	1000 ppm.
4) Sulfato (Ion SO_4)	600 ppm.
5) Cloruros (Ion CI)	1000 ppm.
6) pH	5 a 8

Reproducido de NTP 339.088 *"Agua para el concreto"* por *Indecopi, 2014*

5.4.1.3. Agregados

Los agregados utilizados son de la cantera Socabaya, ubicada en el distrito de Socabaya, provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. Para la caracterización del material de la cantera a ser utilizado en la mezcla de concreto, se debe verificar las propiedades físico – químicas de las muestras de materiales:

- Agregado grueso: Piedra chancada procesada y acopiada.
- Agregado fino: Arena zarandeada menor a 3/8", procesada y acopiada.

Los siguientes ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales utilizando muestras debidamente etiquetadas y protegidas:

5.4.1.3.1. Análisis granulométrico

El ensayo se realizo de acuerdo a la norma NTP 400.012 y ASTM C136 "Método de prueba estándar para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos" con el propósito de averiguar la distribución de tamaños de las partículas del agregado fino y grueso, y así conocer sus propiedades físicas (obtención del tamaño máximo, tamaño máximo nominal y módulo de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fineza) y propiedades de calidad al buscar comparar la gradación del agregado con una especificación técnica determinada (huso granulométrico o limites granulométricos).

La cantidad mínima de muestra debe ser representativa del global de la misma, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Cuarteo de las muestras de agregado.
2. Selección de cantidad de material en estado natural: 10 kg para la muestra 1 de agregado grueso, 2 kg para la muestra 2 de agregado grueso y 500 g. para el agregado fino.

Una vez obtenido el tamaño mínimo de muestra, se lavaron los agregados por separado con abundante agua en un recipiente filtrando el material fino a través de la malla 0.075 mm (N° 200), evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula retenida con la finalidad de eliminar las partículas de polvo que puedan afectar a las masas individuales adheridas al material retenido en cada tamiz. Una vez clarificada el agua, se recoge lo retenido en un recipiente y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5° C hasta tener una masa constante.

Con la muestra lavada y seca, se realizó el análisis granulométrico de la fracción gruesa retenida en el tamiz de 4.76 mm (N° 4) separando la porción de muestra en una serie de fracciones usando los tamices normalizados correspondientes.

La gradación del agregado grueso debe estar de acuerdo con alguno de los siguientes husos granulométricos propuestos en la norma técnica ASTM C33, que se muestran en la tabla 62.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 62: *Tamaño estándares de agregados procesados*

Huso	Tamaño máximo nominal (pulgadas)		Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
	(pulg)	(mm)	100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	3 ½ a 1 ½	90 a 37.5	100	90 a 100	…	25 a 60	…	0 a 15	…	0 a 5	…	…	…	…	…	…
2	2 ½ a 1 ½	63 a 37.5	…	…	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	…	0 a 5	…	…	…	…	…	…
3	2 a 1	50 a 25	…	…	…	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	…	0 a 5	…	…	…	…	…
357	2 a No. 4	50 a 4.75	…	…	…	100	95 a 100	…	35 a 70	…	10 a 30	…	0 a 5	…	…	…
4	1 ½ a ¾	37.5 a 19	…	…	…	…	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	…	0 a 5	…	…	…	…
467	1 ½ a No. 4	37.5 a 4.75	…	…	…	…	100	95 a 100	…	35 a 70	…	10 a 30	0 a 5	…	…	…
5	1 a 1/2	25 a 12.5	…	…	…	…	…	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	…	…	…	…
56	1 a 3/8	25 a 9.5	…	…	…	…	…	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	…	…	…
57	1 a No. 4	25 a 4.75	…	…	…	…	…	100	95 a 100	…	25 a 60	…	0 a 10	0 a 5	…	…
6	3/4 a 3/8	19 a 9.5	…	…	…	…	…	…	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	…	…	…
67	3/4 a No. 4	19 a 4.75	…	…	…	…	…	…	100	90 a 100	…	20 a 55	0 a 10	0 a 5	…	…
7	1/2 a No. 4	12.5 a 4.75	…	…	…	…	…	…	…	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	…	…
8	3/8 a No. 8	9.5 a 2.36	…	…	…	…	…	…	…	…	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	…
89	1/2 a 3/8	12.5 a 9.5	…	…	…	…	…	…	…	…	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9[A]	No. 4 a No. 16	4.75 a 1.18	…	…	…	…	…	…	…	…	…	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Reproducido de la Norma ASTM C33 *"Especificaciones estándar para agregados de concreto"* por *ASTM, 2018*

El análisis granulométrico del agregado fino se realiza en una serie de fracciones usando los tamices: 2.36 mm (N° 8), 1.18 mm (N° 16), 600 µm (N° 30), 300 µm (N° 50), 150 µm (N° 100) y 75 µm (N° 200).

La gradación del agregado fino debe ubicarse dentro los limites granulométricos propuestos en la norma NTP 400.037, los cuales se muestran en la tabla 63.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 63: *Limites granulométricos del agregado fino para su uso en la elaboración de concreto.*

TAMIZ	% QUE PASA
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	10 a 30
150 µm (N° 100)	2 a 10

Reproducido de la Norma NTP 400.0.37 *"Especificaciones normalizadas para agregados en concreto"* por *INACAL, 2014*

Para mantener la muestra en movimiento sobre la malla del tamiz, el procedimiento de tamizado manual consiste en hacer girar el tamiz o tamices de un lado a otro. A continuación, se determina el peso de cada fracción con una balanza que tenga una sensibilidad del 0,1% teniendo en cuenta que no debe haber una desviación superior al 1% entre la masa inicial de la muestra y la masa total de todas las fracciones.

Los porcentajes retenidos en relación con la totalidad de la muestra analizada se calculan tras el registro de los pesos retenidos en cada tamiz. Posteriormente, los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz se restan acumulativamente del 100% para determinar el porcentaje más fino.

Finalmente, para trazar la curva granulométrica en un plano cartesiano semilogarítmico, se coloca el diámetro de los tamices en milímetros en el eje de abscisas (escala logarítmica) y el porcentaje pasante acumulado de cada tamiz en el eje de ordenadas (escala aritmética).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

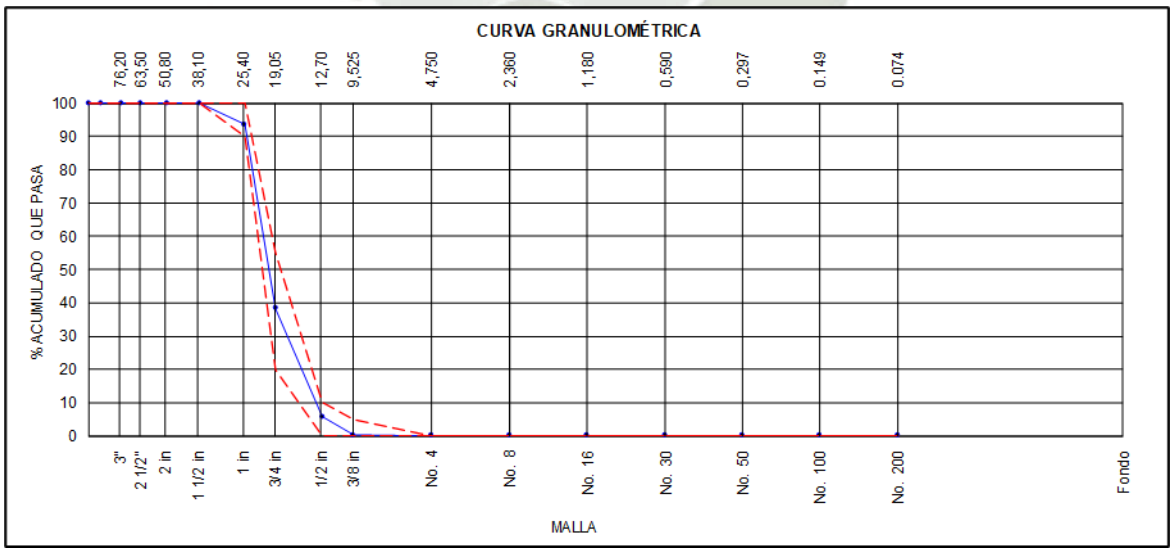
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 64: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra 1 de agregado grueso.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4”	100.0				
3”	76.2				
2 ½”	53.0				
2”	50.0				
1 ½”	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1”	25.0	643	6.40	6.40	93.60
¾”	19.0	5562	55.32	61.72	38.28
½”	12.5	3273	32.55	94.27	5.73
3/8”	9.5	550	5.47	99.74	0.26
#4	4.75	16	0.16	99.90	0.10
#8	2.36	4	0.04	99.94	0.06
#10	2.00				
#16	1.19				
#30	0.60				
#40	0.425				
#60	0.25				
#80	0.18				
#100	0.15				
#200	0.075				
< #200		6.0	0.06	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 89: *Curva granulométrica de la muestra 1 de agregado grueso.*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

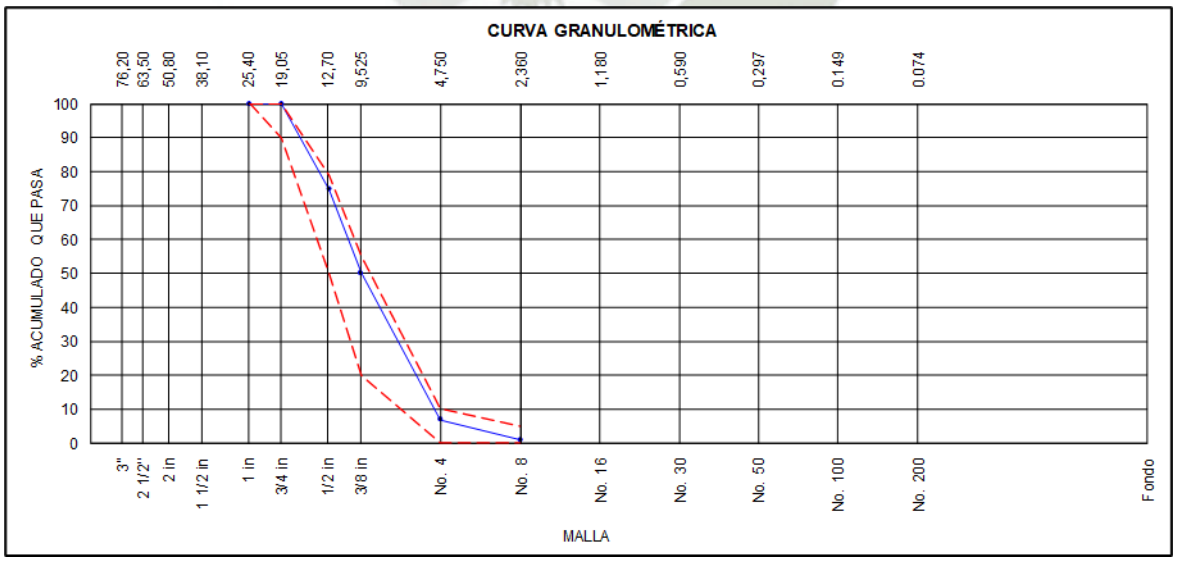
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 65: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra 2 de agregado grueso.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
4”	100.0				
3”	76.2				
2 ½”	53.0				
2”	50.0				
1 ½”	37.5				
1”	25.0				
¾”	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
½”	12.5	1060	25.30	25.30	74.70
3/8”	9.5	1027	24.52	49.82	50.18
¼”	6.3	1813	43.28	93.10	6.90
#4	4.75	249	5.94	99.05	0.95
#8	2.36				
#10	2.00				
#16	1.19				
#30	0.60				
#40	0.425				
#60	0.25				
#80	0.18				
#100	0.15				
#200	0.075				
< #200		40	0.95	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 90: *Curva granulométrica de la muestra 2 de agregado grueso.*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

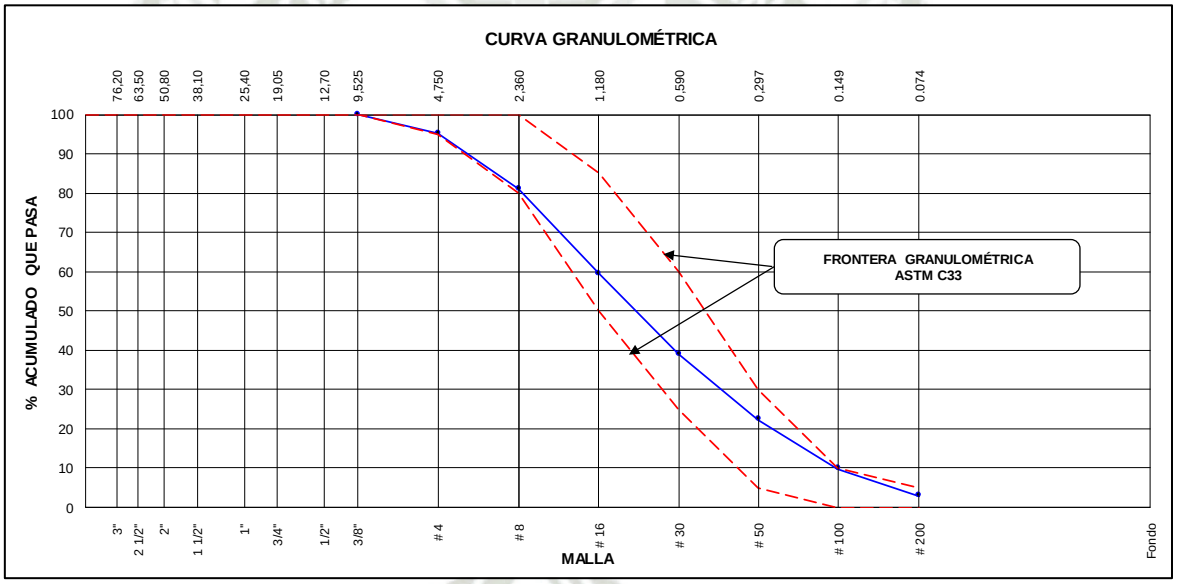
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 66: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra de agregado fino.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	24.2	4.84	4.84	95.16
# 8	2.36	70.6	14.12	18.96	81.04
# 16	1.18	108.1	21.62	40.58	59.42
# 30	0.60	102.3	20.46	61.04	38.96
# 50	0.30	83.5	16.70	77.74	22.26
# 100	0.15	62.4	12.48	90.22	9.78
# 200	0.075	34.7	6.94	97.16	2.84
< #200		14.2	2.84	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 91: *Curva granulométrica del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.2. Terrones de arcillas y partículas deleznables

La proporción de terrones de arcillas y partículas deleznables tiene relación con la resistencia mecánica del agregado y con su capacidad de permanecer inalterable a través del manejo, transporte y amasado. Este método de ensayo esta descrito en la norma NTP 400.015 y consiste en la determinación aproximada de grumos de arcilla y partículas friables en agregados (partículas deletéreas o partículas desmenuzables y deleznables) mediante la inmersión en agua destilada, compresión y lavado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para preparar la muestra para la prueba, primero se realizó el proceso de cuarteo para obtener una muestra representativa, y luego se secó en un horno para lograr un peso constante que cumpliera con los requisitos de la muestra mínima de prueba tanto para el agregado fino como para el grueso.

Para el agregado grueso, se separa la muestra en diferentes tamaños usando los siguientes tamices: 4.75 mm (N° 4), 9.5 mm (3/8"), 19 mm (3/4") y 37.5 mm (1 ½"). Cada tamiz de prueba debe retener una masa no inferior a la indicado en la tabla 67.

Tabla 67: *Masa de muestra mínima retenida en cada tamiz para el ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables*

Tamaño de partículas retenidas en el tamiz	Masa de muestra de prueba (g)
4.75 a 9.5 mm (N° 4 a 3/8")	1000
9.5 a 19.0 mm (3/8" a 3/4")	2000
19.0 mm a 37.5 mm (3/4" a 1 ½")	3000
Mayor a 37.5 mm (1 ½")	5000

Reproducido de la Norma ASTM C142 *"Método estándar de ensayo para terrones de arcilla y partículas deleznables en agregados"* por *ASTM, 2017*

En cuanto al agregado fino, la muestra de ensayo debe pesar al menos 25 gramos y estar compuesta por partículas más gruesas que las que pueden pasar por un tamiz de 1,18 mm (Nº 16).

El procedimiento de ensayo consistió en realizar el siguiente procedimiento:

1. Registro de la masa de la muestra de prueba
2. Cubrir la muestra con agua destilada en un recipiente y saturarla durante un periodo de 24 ± 4 horas.
3. Terminado el tiempo de saturación, se deshacen las partículas desmenuzables comprimiéndolas y frotándolas entre los dedos.
4. Finalmente, después de que se hayan roto todos los grumos de arcilla y partículas friables discernibles, se separó el residuo del resto de la muestra mediante tamizado húmedo sobre el tamiz prescrito en la tabla 68.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 68: *Tamaño del tamiz para eliminar residuos de terrones de arcilla y partículas friables*

Tamaño de partículas	Tamaño del tamiz para eliminar residuos de terrones de arcilla y partículas friables
Agregado fino (retenido en el tamiz 1.18 mm (N° 16))	850 µm (N° 20)
4.75 a 9.5 mm (N° 4 a 3/8")	2.36 mm (N° 8)
9.5 a 19.0 mm (3/8" a 3/4")	4.75 mm (N° 4)
19.0 mm a 37.5 mm (3/4" a 1 ½")	4.75 mm (N° 4)
Mayor a 37.5 mm (1 ½")	4.75 mm (N° 4)

Nota. Reproducido de la Norma ASTM C142 *"Método estándar de ensayo para terrones de arcilla y partículas deleznables en agregados"* por *ASTM, 2017*

Una vez realizado el tamizado húmedo, se retiraron las partículas retenidas cuidadosamente del tamiz y se secaron hasta que alcanzaron una masa constante para luego registrar la masa seca.

Terminado el procedimiento se procede a calcular el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables. Para los agregados gruesos, el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznables se calcula como un promedio a partir de los porcentajes de partículas friables y terrones de arcilla en cada fracción de tamaño de tamiz, que se pondera en función de la distribución de la muestra original antes de la separación.

Tabla 69: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra 1 de agregado grueso.*

Tamaño de tamices (pulgadas)		Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje de partículas friables y terrones de arcilla	Porcentaje retenido	Porcentaje de perdida corregido
Pasante	Retenido					
> 1 1/2"		---	---	---	---	---
1 1/2"	3/4"	3003.4	2999.1	0.14	61.64	0.09
3/4"	3/8"	2004.3	2000.3	0.20	38.10	0.08
3/8"	N° 4	1000.1	996.9	0.32	0.26	0.00
			Promedio			**0.17**

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 70: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra 2 de agregado grueso.*

Tamaño de tamices (pulgadas)		Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje de partículas friables y terrones de arcilla	Porcentaje retenido	Porcentaje de perdida corregido
Pasante	Retenido					
> 1 1/2"		---	---	---	---	---
1 1/2"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	3/8"	2000.8	1996.2	0.23	49.82	0.11
3/8"	N° 4	1000.3	995.0	0.53	50.18	0.27
			Promedio			**0.38**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: *Resultado del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de la muestra de agregado fino.*

Tamaño de tamices (pulgadas)		Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje de partículas friables y terrones de arcilla	Porcentaje retenido	Porcentaje de perdida corregido
Pasante	Retenido					
N° 4	N° 16	100.0	99.6	0.40	40.58	0.16
			Promedio			**0.16**

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.3. Cantidad de material fino que pasa el tamiz #200

Esta prueba se realizó de acuerdo con la norma NTP 400.018 con el propósito de determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 µm (N° 200) en el agregado mediante lavado. Estas partículas en cantidades considerables son perjudiciales para el concreto, evita que la pasta se adhiera firmemente a la superficie de los agregados, interfiriendo en la resistencia del concreto.

La norma ASTM C33 y NTP 400.037, sobre las especificaciones de los agregados, indican el porcentaje máximo de material más fino que la malla normalizada 75 µm (N° 200), de la siguiente manera:

- Agregado fino: 3% para concreto sujeto a abrasión y 5% para otros concretos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Agregado grueso natural: hasta 1%
- Agregado grueso triturado: hasta 1.5%

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la cantidad de muestra minina a ensayar de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 72: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz #200.*

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima gramos
4.75 mm (N° 4) o más pequeño	300
9.5 mm (3/8 pulg)	1000
19 mm (3/4 pulg)	2500
37.5 mm (1 1/2 pulg) o más grande	5000

Reproducido de la Norma ASTM C117 *"Método de prueba estándar para materiales de tamiz superior a 75 µm en agregados minerales de ensayo para terrones de arcilla y partículas deleznables en agregados"* por *ASTM, 2017*

El procedimiento de ensayo consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Colocación de la muestra en un recipiente.
2. Cubrir la muestra con suficiente agua para proceder a lavarla con suficiente vigor, como para resultar en una separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de 75 µm (N° 200) de las partículas más gruesas, y para suspender el material fino.
3. Inmediatamente después se vierte el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos sobre los tamices dispuestos con el tamiz más grueso en la parte superior, teniendo mucho cuidado de no decantar partículas más gruesas de la muestra.
4. Se agrega una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, se agita y decanta. Esta operación se repite hasta que el agua de lavado este limpia.
5. Finalmente, se devuelve el material retenido en los tamices anidados mediante lavado a la muestra lavada para luego proceder a secar el agregado lavado en el horno a masa constante a una temperatura de 110 ± 5° C y determinar la masa al 0.1% más cercano de la masa original de la muestra.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el porcentaje de material más fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado, de la siguiente manera:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$A = \frac{B - C + D}{B} x\ 100$$

Donde:

A (%) : Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado.

B (g) : Peso inicial de la muestra seca (antes de lavarla).

C (g) : Peso de la muestra seca (después de lavarla).

D (g) : Peso de la muestra seca (después de lavarla) pasante de la malla N° 200.

Tabla 73: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de la muestra 1 de agregado grueso.*

Peso inicial de la muestra seca (g)	Peso de la muestra seca después de lavada (g)	Pasante de la malla N° 200 tamizada en seco (g)	Porcentaje pasante de la malla N° 200
5557	5551	0.1	0.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de la muestra 2 de agregado grueso.*

Peso inicial de la muestra seca (g)	Peso de la muestra seca después de lavada (g)	Pasante de la malla N° 200 tamizada en seco (g)	Porcentaje pasante de la malla N° 200
2527	2511	7.2	0.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75: *Resultado del ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 de agregado fino.*

Peso inicial de la muestra seca (g)	Peso de la muestra seca después de lavada (g)	Pasante de la malla N° 200 tamizada en seco (g)	Porcentaje pasante de la malla N° 200
552	541	4.8	2.86

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.4. Carbón y lignito

El ensayo de carbón y lignito se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.023 con el propósito de determinar la cantidad de partículas de bajo peso específico en el agregado utilizando una solución pesada que tenga más densidad que la muestra de agregado. Estas partículas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

generalmente son de baja resistencia, afectan la adherencia con la pasta cementicia y la resistencia del concreto.

La muestra para el ensayo se preparó obteniendo una muestra representativa mediante el proceso de cuarteo, considerando la cantidad de minina a ensayar de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 76: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de carbón y lignito*

Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima de la muestra (g)
N° 4 o menor	200
3/8"	1500
1/2" a 3/4"	3000
1" a 1/2"	5000
2" o mayor	10000

Reproducido de la Norma ASTM C123 *"Método de prueba estándar para partículas ligeras en el agregado"* por *ASTM, 2014*

El procedimiento de ensayo para el agregado fino consistió en secar la muestra mínima y tamizarla sobre el tamiz N° 50 para determinar la masa del material más grueso que el tamiz N° 50 al 0.1 g más cercano. Luego, se llevó la muestra de material retenido en el tamiz N° 50 a una condición saturada de superficie seca utilizando el mismo método descrito en la norma NTP 400.022 "Gravedad especifica y absorción del agregado fino".

El procedimiento de ensayo para el agregado grueso consistió en secar la muestra mínima de acuerdo con el tamaño máximo nominal y tamizarla sobre el tamiz de 4.75 mm (N° 4) para determinar la masa del material más grueso al gramo más cercano. Luego, se llevó la muestra de material retenido en el tamiz N° 4 a una condición saturada de superficie seca utilizando el mismo método descrito en la norma NTP 400.021 "Gravedad especifica y absorción del agregado grueso".

Ambas muestras de material en condición saturada de superficie seca, tanto grueso como fino, se añadieron a un recipiente lo suficientemente grande como para contener el líquido pesado, el cual debe ser al menos tres veces el volumen absoluto del agregado.
Después de un período de tiempo prudente, se vertió el líquido con las partículas flotantes en un segundo recipiente pasándolo a través del colador, asegurando que solo las partículas flotantes se viertan con el líquido. El proceso se repite hasta que la muestra esté libre de partículas flotantes. Finalmente, se lavaron las partículas flotantes decantadas contenidas en el colador con un solvente apropiado para eliminar el líquido pesado, se cepillaron las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

partículas decantadas secas del colador en una bandeja y se colocaron en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener una masa constante, se dejó enfriar y se registró la masa al 0,1 g. más cercano para el agregado fino y 1 g. más cercano para el agregado grueso. Terminado el procedimiento, se procede a calcular el porcentaje en masa de partículas ligeras de la siguiente manera:

- Agregado Fino:

$$L = \frac{W_1}{W_2} x\ 100$$

- Agregado Grueso:

$$L = \frac{W_1}{W_3} x\ 100$$

Donde:

L : Porcentaje en masa de partículas ligeras

W_1 : Masa seca de partículas que flotan

W_2 : Masa seca de una porción de muestra más gruesa que un tamiz de 300 µm (N° 50)

W_3 : Masa seca de la porción de muestra más gruesa que el tamiz de 4.75 mm (N° 4)

Tabla 77: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras de la muestra 1 de agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Liquido pesado utilizado	Solución de bromuro de zinc
Peso específico del líquido pesado utilizado	2.39
Masa de partículas flotantes	11.1
Masa seca de muestra retenida en el tamiz N° 50	5001.6
% de partículas livianas	0.22 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras de la muestra 2 de agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Liquido pesado utilizado	Solución de bromuro de zinc
Peso específico del líquido pesado utilizado	2.39
Masa de partículas flotantes	5.2
Masa seca de muestra retenida en el tamiz N° 50	3002.8
% de partículas livianas	0.17 %

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 79: *Resultado del ensayo de porcentaje de partículas ligeras del agregado fino.*

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Liquido pesado utilizado	Solución de bromuro de zinc
Peso específico del líquido pesado utilizado	2.39
Masa de partículas flotantes	0.7
Masa seca de muestra retenida en el tamiz N° 50	458.3
% de partículas livianas	0.15 %

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.5. Abrasión al desgaste de los agregados gruesos

El ensayo de abrasión al desgaste de los agregados gruesos se realizó de acuerdo con la norma NTP 400.019 el cual es aplicable para partículas menores al tamiz de 1 1/2". El método de prueba consiste en colocar el agregado grueso junto con unas esferas metálicas en la máquina de los ángeles para medir por diferencia de pesos el desgaste al impacto y a la flexión.

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la muestra minina a ensayar de acuerdo con la gradación correspondiente, según la tabla 80.

Tabla 80: *Muestra mínima a ensayar para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles de acuerdo con la gradación correspondiente.*

Tamaño de tamices		Masa de tamaños indicados en gramos Gradación			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25			
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250 ± 25			
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500 ± 10	
6.3 mm (1/4")	4.75 (N° 4)			2500 ± 10	
4.75 (N° 4)	2.36 (N° 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Reproducido de la Norma ASTM C131 *"Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles"* por *ASTM Internacional, 2014*

Dependiendo de la clasificación de la muestra, la carga de esferas a añadir será de acuerdo con la tabla 81.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 81: *Numero y masa de esferas a añadir de acuerdo con la gradación correspondiente para realizar el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles*

Gradación	Numero de esferas	Masa de carga en gramos
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Reproducido de la Norma ASTM C131 *"Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles"* por *ASTM Internacional, 2014*

El procedimiento de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Colocación del material requerido de acuerdo con la gradación A en la máquina de los ángeles con 12 esferas, a una velocidad de rotación de 30 rpm durante 500 revoluciones.
2. Después del número prescrito de revoluciones, se descarga el material de la máquina de los ángeles y se hace una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso que el tamiz N° 12.
3. Finalmente se lava todo el material retenido en la malla N° 12 y se seca en el horno a una temperatura de 110° ± 5 °C hasta obtener una masa constante.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el desgaste por abrasión de la siguiente manera:

$$\text{Desgaste por abrasion } (\%) = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} \text{x } 100$$

Tabla 82: *Resultado del ensayo de abrasión promedio de la muestra 1 de agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS
Gradación de la muestra	A
Muestra N°	1
Masa inicial lavada y seca	5002
Masa final lavada y seca a las 500 revoluciones	3288
Abrasión (%)	34

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 83: *Resultado del ensayo de abrasión promedio de la muestra 2 de agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS
Gradación de la muestra	A
Muestra N°	1
Masa inicial lavada y seca	5000
Masa final lavada y seca a las 500 revoluciones	4015
Abrasión (%)	20

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.6. Impurezas orgánicas

Este método de ensayo se realizó de acuerdo con la NTP 400.024 con el propósito de determinar la cantidad de impurezas orgánicas que no son compatibles con el conglomerante hidráulico (cemento) en el agregado mediante un método colorimétrico ya que la materia orgánica con el tiempo se desintegra, desaparece y genera vacíos que hacen perder resistencia al concreto.

La muestra para ensayar se conformó de la siguiente manera: 130 ml de nivel de agregado fino y 200 ml de nivel de solución de hidróxido de sodio al 3%.

El ensayo consistió en llenar en un recipiente de vidrio transparente de igual diámetro en todo su contorno, un tercio con arena en estado suelto, nivelarlo y luego completar con hidróxido de sodio hasta que pase un poco. Agitar y dejar saturando la muestra durante 24 horas.

Terminado el tiempo de saturación se compara el color de la muestra con el colorímetro que consta de 5 colores y representan lo siguiente:

- Color #1 contenido nulo
- Color #2 contenido bajo de materia orgánica
- Color #3 contenido medio a bajo de materia orgánica
- Color #4 contenido alto de materia orgánica
- Color #5 contenido muy alto de materia orgánica

La especificación técnica de las normas ACI 318 Y ASTM C33 indica que el agregado fino tendrá como máximo el color #3. El resultado obtenido de la muestra al finalizar el periodo de reposo, comparando el color del líquido resultante con una placa orgánica de colores, se determinó que equivale al color del colorímetro N° 2.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.1.3.7. Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.146 y consiste en determinar de forma volumétrica que porcentaje de arena y porcentaje de finos contiene un determinado material.

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, para después agregar una cantidad de agua que lleve el contenido de humedad cercano al porcentaje de absorción, de tal manera que se evite la perdida de finos.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Adición de 85 ml de solución stock en un galón de agua destilada.
2. Llenado de las probetas con la solución preparada hasta los 4 cm.
3. Colocación de la muestra en las probetas dentro de la solución medida con ayuda de un embudo.
4. Reposo de la muestra en las probetas durante 10 minutos.
5. Terminado el tiempo de reposo, se procedió a agitar la probeta de un lado a otro colocando una tapa para evitar la pérdida del material.
6. Pasado el tiempo de agitación, se retiró la tapa de la probeta y enjuago con la solución stock de adentro hacia afuera hasta completar la altura de 38.1 mm. luego se procedió a dejarlo en reposo durante 20 minutos.
7. Finalmente se tomó lectura de la altura de la arcilla y después con el medidor de lectura de arena, la altura de la arena.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el equivalente de arena de la siguiente manera:

$$\text{Equivalente de arena (\%)} = \frac{\text{Altura maxima de la arena}}{\text{Altura maxima de material fino}} * 100$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 84: *Resultado del ensayo de equivalente de arena promedio del agregado fino.*

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS	
Solución de Stock	Formaldehido	
Método empleado	Manual	
Temperatura	21 °C ± 2 °C	
Tamaño máximo	N° 4	N° 4
Muestra N°	1	2
Hora de Entrada a saturación	15:33	15:35
Hora de Salida de saturación	15:43	15:45
IRRIGACIÓN		
Hora de entrada a reposo	15:45	15:47
Hora de salida de reposo	16:05	16:07
Altura máxima de material fino (cm.)	13.00	12.90
Altura máxima de la arena (cm.)	12.00	12.00
Equivalente de arena (%)	93.0	94.0
Equivalente de arena promedio (%)	93.5	

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.8. Contenido de sulfatos

El ensayo de contenido de sulfatos se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NTP 400.042, el cual es aplicable a los agregados empleados en la elaboración de mezclas de concreto y mortero. Los sulfatos afectan directamente al cemento por lo que la norma técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones y el ACI 318 limitan el contenido de sulfatos a 0.15% como máximo e indican el tipo de cemento a utilizar en función a la cantidad de sulfatos presentes.

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa de agregado realizando el proceso de cuarteo para luego secarla en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener una masa constante.

Las muestras de ensayo deben tener los siguientes tamaños mínimos:

- Agregado fino: 300 g.
- Agregado grueso: 3000 g.

El procedimiento de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. Trituración de las muestras de agregado grueso hasta que pasen por el tamiz N° 4 (4.75 mm) y luego reducirlas a 300 gramos, los cuales son molidos hasta pasar por el tamiz N° 50 (300 µm).
2. Selección de 100 gramos de muestra de suelo y 300 mililitros de agua destilada para disolver las sales totales, agitando la mezcla durante 20 segundos y después dejar la mezcla en reposo durante una hora. Terminado el tiempo de reposo, se agita nuevamente durante 20 segundos y se espera que sedimente durante 20 minutos.
3. Filtrado de material hasta que el agua este traslucida y colocación de 30 ml de solución filtrada dentro de un medidor de porcelana, agregando unas gotas de solución de nitrato de plata y ácido clorhídrico para eliminar los cloruros, se agita y deja en reposo durante 30 minutos.
4. Colocación de la solución obtenida en un crisol de platino, para luego llevarla al horno a una temperatura de 450° C durante un tiempo de 2 horas. Terminado el tiempo de secado, se deja enfriar y se registra el peso de sulfatos dentro del crisol.

Finalmente, terminado el ensayo, se calcula la cantidad de sulfatos de la siguiente manera.:

a) Primero se determina el peso del residuo de sulfatos.

$$(\text{Peso del crisol} + \text{residuo de sulfatos}) - \text{Peso del crisol}$$

b) Se calcula el peso de la muestra en volumen de solución de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Volumen de la solucion tomanda (ml)}}{\text{Volumen de agua destilada (ml)}} \text{x Peso del suelo seco (g)}$$

c) Luego, se calcula la concentración de ion sulfato:

$$\text{Peso de residuo de sulfatos x } \frac{411500}{\text{Peso de la muestra en volumen de solucion}} \text{ (p. p. m.)}$$

d) Por último, el contenido de sulfatos se expresa en porcentaje:

$$\frac{\text{Concentracion de ión sulfato}}{10000} \text{ (\%)}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 85: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra 1 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml)	300
Peso de suelo seco	(g)	100
Peso del crisol	(g)	19.6001
Peso del crisol + residuo de sulfatos	(g)	19.6114
Peso de residuo de sulfatos	(g)	0.0113
Volumen de la solución tomada	(ml)	30
Peso de la muestra en volumen de solución	(g)	10
Concentración de ion sulfato	(p.p.m.)	467
Contenido de sulfatos	(%)	0.0467

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra 2 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml)	300
Peso de suelo seco	(g)	100
Peso del crisol	(g)	19.1001
Peso del crisol + residuo de sulfatos	(g)	19.1135
Peso de residuo de sulfatos	(g)	0.0134
Volumen de la solución tomada	(ml)	30
Peso de la muestra en volumen de solución	(g)	10
Concentración de ion sulfato	(p.p.m.)	550
Contenido de sulfatos	(%)	0.0550

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: *Contenido de sulfatos solubles de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml)	300
Peso de suelo seco	(g)	100
Peso del crisol	(g)	19.4560
Peso del crisol + residuo de sulfatos	(g)	19.4815
Peso de residuo de sulfatos	(g)	0.0255
Volumen de la solución tomada	(ml)	30
Peso de la muestra en volumen de solución	(g)	10
Concentración de ion sulfato	(p.p.m.)	1050
Contenido de sulfatos	(%)	0.1050

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.1.3.9. Contenido de cloruros

El ensayo de contenido de sulfatos se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NTP 400.042, el cual es aplicable a los agregados empleados en la elaboración de mezclas de concreto y mortero.

De acuerdo con la norma E060 "Concreto Armado" del Reglamento nacional de edificaciones, el contenido máximo de iones cloruro para la protección contra la corrosión del refuerzo es el mostrado en la tabla 88.

Tabla 88: *Requisitos para condiciones especiales de exposición del concreto*

Tipo de elemento	Contenido máximo de iones de cloruro solubles en agua en el concreto (porcentaje en peso del cemento)
Concreto preesforzado	0.06
Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0.15
Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1.00
Otras construcciones de concreto armado	0.30

Reproducido del Reglamento nacional de edificaciones NTE E.060 *"Concreto Armado"* por *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009*

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa de agregado realizando el proceso de cuarteo para luego secarla en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener una masa constante.

Las muestras de ensayo deben tener los siguientes tamaños mínimos:

- Agregado fino: 300 g.
- Agregado grueso: 3000 g.

El procedimiento de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Trituración de las muestras de agregado grueso hasta que pasen por el tamiz N° 4 (4.75 mm) y luego reducirlas a 300 gramos, los cuales son molidos hasta pasar por el tamiz N° 50 (300 µm).
2. Selección de 100 gramos de muestra de suelo y 300 mililitros de agua destilada para disolver las sales totales, agitando la mezcla durante 20 segundos y después dejar la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mezcla en reposo durante una hora. Terminado el tiempo de reposo, se agita nuevamente durante 20 segundos y se espera que sedimente durante 20 minutos.

3. Filtrado de material hasta que el agua este traslucida y colocación de 30 ml de solución filtrada dentro de un medidor de porcelana, agregando cromato de potasio (K_2CRO_4) combinado al 5% con agua destilada a la solución filtrada para proceder a estandarizar agregando 0.1 ml de nitrato de plata.
4. Registro de la lectura inicial de solución de nitrato de plata y adición de suficiente cantidad hasta que cambie a una coloración rojiza.
5. Por último, se registra la lectura final del consumo de nitrato de plata.

Finalmente, terminado el ensayo, se calcula la cantidad de sulfatos de la siguiente manera.:

a) Se determina el peso de muestra en volumen de solución:

$$\frac{\text{Volumen de solucion tomada (ml)}}{\text{Volumen de agua destilada (ml)}} \text{ x Peso del suelo seco (g)}$$

b) Cálculo del contenido de cloruros en p.p.m.:

$$\frac{(\text{Consumo de solucion de nitrato de plata} - 0.2) \text{ x Titulacion de la solucion de nitrao de plata x } 1000}{\text{Peso de la muestra en volumen de solucion}}$$

c) Finalmente, el contenido de cloruros se expresa en porcentaje:

$$\frac{\text{Concentracion de cloruros}}{10000} \ (\%)$$

Tabla 89: *Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles de la muestra 1 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml.)	300
Peso de suelo seco	(g.)	100
Volumen de solución tomada	(ml.)	30
Titulación de la solución de nitrato de plata	(T)	0.460
Consumo de solución de nitrato de plata	(ml.)	6.40
Peso de muestra en volumen de solución	(g.)	10.0
Contenido de cloruros	(p.p.m.)	285
Contenido de cloruros	(%)	0.0285

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 90: *Resultado del ensayo de contenido de sulfatos solubles de la muestra 2 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml.)	300
Peso de suelo seco	(g.)	100
Volumen de solución tomada	(ml.)	30
Titulación de la solución de nitrato de plata	(T)	0.460
Consumo de solución de nitrato de plata	(ml.)	3.47
Peso de muestra en volumen de solución	(g.)	10.0
Contenido de cloruros	(p.p.m.)	150
Contenido de cloruros	(%)	0.0150

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: *Resultado del ensayo de contenido de cloruros solubles de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos
Volumen de agua destilada	(ml.)	300
Peso de suelo seco	(g.)	100
Volumen de solución tomada	(ml.)	30
Titulación de la solución de nitrato de plata	(T)	0.460
Consumo de solución de nitrato de plata	(ml.)	20.00
Peso de muestra en volumen de solución	(g.)	10.0
Contenido de cloruros	(p.p.m.)	910
Contenido de cloruros	(%)	0.091

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.10. Peso unitario suelto y compactado

La densidad aparente también conocida como “Peso Unitario” se define como la relación entre la masa y el volumen que ocupa un sólido, y es determinado por los procedimientos descritos en la NTP 400.017 con el propósito de determinar la cantidad de agregado o material que entra en un metro cubico incluyendo sus vacíos, en estado suelto y compactado.

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la capacidad del molde, la cual se ajusta al tamaño máximo nominal del agregado. El tamaño de la muestra de prueba debe estar entre 125 y 200% la cantidad requerida para llenar el molde, y debe manejarse de manera que se evite la segregación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 92: *Capacidad del molde requerido de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.*

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad de la medida	
mm	pulgadas	m^3 (L)	ft^3
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.014 (14)	½
75	3	0.028 (28)	1
100	4	0.070 (70)	2 ½
125	5	0.100 (100)	3 ½

Reproducido de la Norma ASTM C29 *"Método de prueba estándar para densidad aparente y vacíos en el agregado"* por *ASTM Internacional, 2017*

Antes de empezar el ensayo se determinó el volumen del molde, lo que implica registrar la masa del molde vacío, llenar el molde con agua a temperatura ambiente y cubrirlo con una placa de vidrio de manera que se eliminen los grumos y el exceso de agua. Después de determinar la masa de agua, se elimina el agua que pueda haberse evaporado del molde o de la placa de vidrio. Luego, se registra la temperatura del agua y determina su densidad utilizando la siguiente formula:

$$\rho_W = 1.00034038 - (7.77\ x\ 10^{-6})\ x\ T - (4.95\ x\ 10^{-6})\ x\ T^2$$

Donde:

ρ_w : Densidad del agua g/ml

T : Temperatura del agua en °C

Finalmente, el volumen del molde es determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_W = \frac{(\text{masa del molde} + \text{agua}) - \text{masa del molde}}{\text{volumen del molde}}$$

El procedimiento del método de ensayo para determinar la densidad aparente puede realizarse mediante los siguientes métodos:

- Método A - Rodding (Varillado): Para determinar la densidad aparente compactada de agregados que tienen un tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½ pulgadas) o menos.
- Método B - Jigging (Percusión): Para determinar la densidad aparente de agregados que tienen un tamaño máximo nominal mayor de 37.5 mm (1 ½ pulgadas) y no superior a 125 mm (5 pulgadas).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Método C - Peso Unitario suelto: Para determinar la densidad aparente suelta del agregado.

Para la muestra de agregado se utilizó el método A y el método C, siguiendo el siguiente procedimiento:

El método A – Rodding (Varillado):

a) Llenado del molde en tres capas aproximadamente iguales, varillando cada capa de agregado con 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, teniendo en cuenta que la última capa debe ser llenada hasta rebosar el molde.
b) Nivelación de la superficie del agregado con una regla o sus dedos a la superficie del agregado de tal forma que alguna proyección ligera de las piezas más grandes del agregado grueso equilibre aproximadamente los vacíos más grandes en la superficie debajo de la parte superior del molde.

El método C – Peso Unitario suelto:

a) Llenado del molde hasta que se desborde por medio de una cuchara o pala, descargando el agregado desde una altura que no exceda los 50 mm (2 pulgadas) por encima de la parte superior del molde.
b) Nivelación de la superficie del agregado con los dedos o una regla de tal manera que cualquier ligera proyección de las piezas más grandes del agregado grueso equilibre aproximadamente los vacíos más grandes en la superficie debajo de la parte superior del molde.

Finalmente, se realizaron los cálculos para determinar la densidad aparente de ambos métodos, dividiendo la masa de la muestra suelta o compactada entre el volumen del molde.

Tabla 93: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra 1 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	5.012	5.012
Volumen del molde	(m^3)	0.009315	0.009315
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	17.301	17.314
Masa de muestra suelta	(kg)	12.289	12.302
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1319.3	1320.7
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1320	

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 94: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra 1 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	5.012	5.012
Volumen del molde	(m^3)	0.009315	0.009315
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	17.951	17.964
Masa de muestra suelta	(kg)	12.939	12.952
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1389	1390
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1390	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra 2 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	5.012	5.012
Volumen del molde	(m^3)	0.009315	0.009315
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	18.561	18.542
Masa de muestra suelta	(kg)	13.549	13.530
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1455	1452
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1454	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra 2 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	5.012	5.012
Volumen del molde	(m^3)	0.009315	0.009315
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	19.445	19.457
Masa de muestra suelta	(kg)	14.433	14.445
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1549	1551
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1550	

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 97: *Resultado del ensayo de peso unitario suelto de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	1.562	1.562
Volumen del molde	(m^3)	0.002731	0.002731
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	6.058	6.061
Masa de muestra suelta	(kg)	4.496	4.499
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1646	1647
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1647	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98: *Resultado del ensayo de peso unitario compactado de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos	
Muestra		1	2
Masa del molde	(kg)	1.562	1.562
Volumen del molde	(m^3)	0.002731	0.002731
Masa del molde + muestra suelta	(kg)	6.451	6.454
Masa de muestra suelta	(kg)	4.889	4.892
Densidad aparente suelta	(kg/m^3)	1790	1791
Densidad aparente suelta promedio	(kg/m^3)	1791	

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.11. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó de acuerdo con la norma NTP 339.185 con el propósito de determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, secando tanto la humedad superficial como la humedad en los poros del agregado.

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la cantidad de muestra minina a ensayar de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 99: *Cantidad mínima requerida de muestra para el ensayo de contenido de humedad.*

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg)	Masa mínima de muestra (kg)
4.75 (N° 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 ½)	6
50 (2)	8
63 (2 ½)	10
75 (3)	13
90 (3 ½)	16
100 (4)	25
150 (6)	250

Reproducido de la Norma ASTM C566-19 *"Método de prueba estándar para el contenido total de humedad evaporable del agregado por secado"* por ASTM Internacional, 2019

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Identificación del recipiente.
2. Registro de la masa del recipiente.
3. Registro de la masa del recipiente con muestra húmeda.
4. Colocación del recipiente con muestra húmeda, en el horno durante 16 horas hasta tener una masa constante a una temperatura de 110 ± 5° C.
5. Registro de la masa del recipiente con muestra seca.

Terminado el procedimiento, se procede a calcular el porcentaje de contenido de humedad de la siguiente manera:

$$\omega\ (\%) = \frac{\text{Masa de la muestra humeda} - \text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra seca}} \text{ x } 100$$

Tabla 100: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra 1 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Masa de tara	(g)	918
Masa de muestra húmeda + tara	(g)	11155
Masa de muestra seca + tara	(g)	11114
Contenido de humedad	**(%)**	0.40

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 101: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra 2 de agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos
Masa de tara	(g)	916
Masa de muestra húmeda + tara	(g)	4147
Masa de muestra seca + tara	(g)	4131
Contenido de humedad	**(%)**	0.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 102: *Resultado del ensayo de contenido de humedad de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos
Masa de tara	(g)	302.9
Masa de muestra húmeda + tara	(g)	1160.1
Masa de muestra seca + tara	(g)	1156.3
Contenido de humedad	**(%)**	0.45

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3.12. Gravedad especifica y absorción de agregados

La gravedad especifica y absorción son propiedades de los agregados que dependen de la porosidad de los agregados y están determinados por los procedimientos descritos en la NTP 400.021 para agregado grueso y NTP 400.022 para agregado fino.

La gravedad especifica también conocida como densidad relativa, se define como la diferencia entre la masa en el aire y la masa cuando la muestra se sumerge en agua, la cual es igual a la masa de agua desplazada por la muestra (Principio de Arquímedes), mientras que la absorción se define como la cantidad de agua que ingresa en el material, a través de sus poros permeables. También se refiere al incremento en la masa, por la penetración de líquidos en los poros permeables.

La gravedad especifica en función al cálculo se expresa de la siguiente forma:

- Gravedad específica secada al horno (OD).
- Gravedad específica saturada con superficie seca (SSD).
- Densidad relativa aparente (gravedad específica).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Gravedad especifica y absorción del agregado grueso:

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la cantidad de muestra minina a ensayar de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 103: *Cantidad mínima de muestra representativa global para realizar el ensayo de gravedad especifica y absorción de agregados*

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima en kilogramos
12.5 mm (N° 4) o más pequeño	2
19 mm (3/4 pulg)	3
25 mm (1 pulg)	4
37.5 mm (1 1/2 pulg)	5
50 mm (2 pulg)	8
63 mm (2 1/2 pulg)	12
75 mm (3 pulg)	18
90 mm (3 1/2 pulg)	25
100 mm (4 pulg)	40
125 mm (5 pulg)	75

Reproducido de la Norma ASTM C127 *"Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad especifica) y absorción del agregado grueso"* por *ASTM Internacional, 2015*

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Lavado de la muestra a través del tamiz N° 4 y eliminación del material pasante.
2. Secar la muestra de agregado en el horno a temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener una masa constante y dejar enfriar a temperatura ambiente.
3. Cubrir el agregado con agua y dejar saturando 24 ± 4 horas para llenar sus vacíos.
4. Eliminar el agua de saturación o retirar la muestra del agua y cubrir con un paño absorbente secando la superficie el tiempo necesario hasta que la superficie cambie a aspecto seco (color opaco sin brillo de agua) y registrar la masa del agregado en estado saturado con superficie seca (SSD).
5. Inmediatamente después colocar la muestra de prueba SSD en la canastilla y determinar su masa aparente sumergida en agua a 23 ± 2 °C.
6. Secar la muestra de prueba en el horno a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar en aire a temperatura ambiente y determinar la masa seca.

Terminado el procedimiento, se procede a realizar los cálculos de la siguiente manera:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Gravedad especifica secada al horno (OD):

$$\frac{\text{Masa de la muestra seca en el horno (OD)}}{\text{Masa de la muestra al aire (SSD)} - \text{Masa de la muestra sumergida}}$$

- Gravedad especifica saturada con superficie seca (SSD):

$$\frac{\text{Masa de la muestra al aire (SSD)}}{\text{Masa de la muestra al aire (SSD)} - \text{Masa de la muestra sumergida}}$$

- Densidad relativa aparente (Gravedad especifica):

$$\frac{\text{Masa de la muestra al aire (SSD)}}{\text{Masa de la muestra al aire (SSD)} - \text{Masa de la muestra sumergida}}$$

- Absorción (%):

$$\frac{\text{Masa de la muestra al aire} - \text{Masa de la muestra seca en el horno}}{\text{Masa de la muestra seca en el horno}} \text{ x } 100$$

Gravedad especifica y absorción del agregado fino:

La preparación de la muestra para el ensayo consistió en obtener una muestra representativa realizando el proceso de cuarteo, teniendo en consideración la cantidad de muestra minina a ensayar, la cual debe ser de 1 kg, para luego secarla en un horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C y dejarla enfriar a temperatura ambiente.

El procedimiento consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Saturar el agregado fino por inundación y dejarlo en reposo por un tiempo de 24 ± 4 horas con la finalidad de llenar los poros del agregado con agua.
2. Pasado el tiempo, decantar el exceso de agua y esparcir la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente de aire caliente que se mueva suavemente y agitar frecuentemente para asegurar un secado homogéneo.
3. Realizar la prueba de humedad superficial sosteniendo el molde metálico firmemente sobre una superficie lisa no absorbente con el diámetro grande hacia abajo. Colocar una porción del agregado fino parcialmente seco sin apretar en el molde llenándolo hasta que se desborde. Golpear ligeramente el agregado fino en el molde con 25 golpes de pisón con una altura de caída de aproximadamente 5 mm. Retirar la arena

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

suelta de la base y levantar el molde verticalmente. Si todavía hay humedad en la superficie, el agregado fino retendrá la forma moldeada, por el contrario, si se produce un desmoronamiento parcial este nos indica que el agregado fino se encuentra en condición saturada con superficie seca.

4. Se procede a llenar parcialmente el picnómetro con agua hasta la marca de calibración y registrar la masa con aproximación a 0.1 g.
5. Con el picnómetro parcialmente lleno de agua, introducir en el picnómetro 500 ± 10 g de agregado fino saturado con superficie seca y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.
6. Agitar el picnómetro manualmente con el fin de eliminar las burbujas de aire visible. Normalmente se requieren entre 15 y 20 minutos para eliminar las burbujas de aire y la espuma acumulada puede ser eliminada con la punta de una toalla de papel introduciéndola en el picnómetro. Se pueden utilizar otras técnicas para eliminar las burbujas como hervido hasta el punto de ebullición o bomba de vacíos.
7. Una vez lograda la eliminación de burbujas de aire visibles, se lleva la temperatura del agua que contiene el picnómetro a 23 ± 2 °C, se completa con agua hasta la marca de calibración y se registra la masa (picnómetro + muestra SSS + agua).
8. Se registra la masa de un recipiente hondo resistente al calor, y se coloca dentro del mismo todo el contenido del material de ensayo (agua + muestra ensayada). Se deja sedimentar unos minutos y elimina el agua cristalina con un succionador de hule. Se registra esta masa y luego se coloca en el horno a temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas o hasta masa constante. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente y se registra la masa del recipiente con muestra seca.

Terminado el procedimiento, se procede a realizar los cálculos de la siguiente manera:

- Gravedad especifica secada al horno (OD):

$$\frac{A}{B+S-C}$$

- Gravedad especifica saturada con superficie seca (SSD):

$$\frac{S}{B+S-C}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Densidad relativa aparente (Gravedad especifica):

$$\frac{A}{B + A - C}$$

- Absorción (%):

$$\frac{S - A}{S} x\ 100$$

Donde:

A: Masa secada al horno (OD).

B: Masa del picnómetro con agua hasta la marca.

C: Masa del picnómetro con agua + muestra saturada con superficie seca (SSS).

S: Masa saturada con superficie seca.

Tabla 104: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra 1 del agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos		Promedio
Muestra		1	2	---
Masa de la muestra seca en el horno	(g)	3642	3657	---
Masa de la muestra al aire (Saturada con superficie seca)	(g)	3733	3748	---
Masa de la muestra sumergida	(g)	2203	2207	---
Gravedad especifica secada en el horno (OD)	g/cm^3	2.38	2.37	2.38
Gravedad especifica saturada con superficie seca (SSD)	g/cm^3	2.44	2.43	2.44
Densidad relativa aparente (Gravedad especifica)	g/cm^3	2.53	2.52	2.53
Absorción	%	2.50	2.49	2.49

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 105: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra 2 del agregado grueso.*

Descripción	Unidad	Datos		Promedio
Muestra		1	2	---
Masa de la muestra seca en el horno	(g)	1987	1984	---
Masa de la muestra al aire (Saturada con superficie seca)	(g)	2006	2003.8	---
Masa de la muestra sumergida	(g)	1256.5	1255.8	---
Gravedad especifica secada en el honro (OD)	g/cm^3	2.65	2.65	2.65
Gravedad especifica saturada con superficie seca (SSD)	g/cm^3	2.68	2.68	2.68
Densidad relativa aparente (Gravedad especifica)	g/cm^3	2.72	2.72	2.72
Absorción	%	0.96	1.0	0.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106: *Resultado del ensayo de gravedad especifica y absorción de la muestra de agregado fino.*

Descripción	Unidad	Datos		Promedio
Muestra		1	2	---
Masa de la muestra seca en el horno	(g)	502.0	499.5	---
Masa de picnómetro con agua hasta la marca	(g)	669.6	666.6	---
Masa de picnómetro con agua + muestra SSS	(g)	981.3	976.2	---
Masa saturada con superficie seca (SSS)	(g)	508.0	505.0	---
Gravedad especifica secada en el honro (OD)	g/cm^3	2.56	2.56	2.56
Gravedad especifica saturada con superficie seca (SSD)	g/cm^3	2.59	2.58	2.59
Densidad relativa aparente (Gravedad especifica)	g/cm^3	2.64	2.63	2.63
Absorción	%	1.2	1.1	1.2

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.4. Aditivos

El aditivo utilizado es SikaCem Plastificante de la marca Sika el cual de acuerdo con su ficha técnica es un aditivo líquido para elaborar morteros y concretos fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia y no contiene cloruros, de modo que no corroe los metales. Se caracteriza por ser un líquido de color marrón oscuro, compuesto por una mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos, con una densidad de 1.20 ± 0.02 g/cm^3.

La dosificación recomendada es:

- Como plastificante: 250 ml por bolsa de cemento de 42.5 kg.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Como superplastificante: hasta 500 ml por bolsa de cemento de 42.5 kg.

Se aplica a la mezcla de concreto junto con el agua de mezclado. Se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.

5.4.1.5. Fibras

Las fibras de acero para el refuerzo del concreto utilizadas son fibras metálicas 4D 65/60 BG de la marca comercial Dramix, suministrado por Bekaert y distribuido en Perú por Prodac S.A, las cuales se caracterizan por ser fibras de acero trefilado en frio con tecnología encolada y anclaje optimizado con extremos deformados tipo 4D que garantizan un anclaje optimo.

De acuerdo con su ficha técnica las propiedades del material son las siguientes:

- Longitud: 60 mm
- Diámetro: 0.9 mm
- Ratio de esbeltez: 65
- Filamento de alambre redondo trefilado en frio, cortados y deformados con bajo contenido de carbono.
- Resistencia nominal a la tracción: 1600 N/mm2
- Módulo de Young: 200000 N/mm^2
- Deformación máxima en tracción: 0.8%
- Configuración: Fibras encoladas, los cuales al contacto con el agua y la fricción con el concreto se separan permitiendo de esta manera una distribución homogénea y tridimensional de las fibras evitando la formación de erizos de fibras.

De acuerdo con la teoría del espaciamiento de McKee la dosificación mínima de la fibra de acero dentro de la mezcla de concreto para que funcione correctamente es:

$$D_m \geq \frac{\gamma * \pi}{0.256 * \lambda^2} = \frac{7840 * \pi}{0.256 * 65^2} = 23\ kg/m^3$$

Donde:

- γ = Peso específico de la fibra de acero
- λ = Ratio de esbeltez

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.2 Optimización del agregado

Con el objetivo de maximizar el desempeño de la mezcla, se realizó la evaluación de la granulometría integral con el fin de facilitar la elección de los porcentajes de cada material que permita una distribución lo más continua y conveniente posible, utilizando las granulometrías individuales de los agregados disponibles para el proyecto.

El ensamblaje de agregados está conformado de la siguiente manera: 30% de la muestra 1 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1", 25% de la muestra 2 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1/2" y 45% de agregado fino.

Tabla 107: *Porcentaje de participación de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

PORCENTAJE DE VOLUMEN DE AGREGADOS	
Grava I	30.00%
Grava II	25.00%
Arena I	45.00%

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1. Carta Shilstone

La carta de Shilstone es una herramienta que reúne convenientemente la elección de la granulometría de los agregados y la facilidad de colocación (trabajabilidad) de la mezcla de concreto ya que combina el cuerpo o estructura de los agregados con el factor que define su trabajabilidad.

De acuerdo con la granulometría global de los agregados seleccionados para el diseño de mezclas del proyecto, se separan tres grupos:

- Partículas gruesas
- Partículas intermedias
- Partículas finas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 108: *Porcentaje retenido combinado de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

GRUPO	TAMIZ	% PASANTE ACUMULADO COMBINADO	% RETENIDO COMBINADO
PARTÍCULAS GRUESAS	2"	100.00	0.00
	1 1/2"	100.00	0.00
	1"	98.08	1.92
	3/4"	81.48	16.60
	1/2"	65.39	16.09
PARTÍCULAS INTERMEDIAS	3/8"	57.62	7.77
	# 4	44.59	13.03
	# 8	36.71	7.89
	# 16	26.90	9.81
	# 30	17.72	9.18
PARTÍCULAS FINAS	#50	10.25	7.47
	# 100	4.58	5.67
	# 200	1.52	3.06
	< # 200	0.00	1.52

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje retenido en cada uno de los grupos es utilizado para calcular el factor de grosor y el factor de trabajabilidad.

- Factor de grosor:

$$\text{Factor de grosor} = \frac{\%\ \text{Particulas gruesas}}{\%\ \text{Particulas gruesas} + \%\ \text{Particulas intermedias}} \text{x } 100$$

$$\text{Factor de grosor} = \frac{42.38}{42.38 + 20.92} \text{x } 100 = 67$$

- Factor de trabajabilidad:

$$\text{Factor de trabajabilidad} = \%\ \text{Particulas finas} + \left[\left(\frac{\text{M. Cementicio} - 335}{56}\right) \text{x } 2.5\right]$$

$$\text{Factor de trabajabilidad} = 36.71 + \left[\left(\frac{385 - 335}{56}\right) \text{x } 2.5\right] = 39$$

5.4.2.2. Curva de la tarántula

La curva de la tarántula es una herramienta grafica que representa porcentajes retenidos en distintos tamices, recomendados para concretos a ser utilizados en pavimentos, permitiendo que uno o hasta tres puntos se encuentren fuera o en las inmediaciones de sus límites. Se realiza calculando el porcentaje pasante acumulado global con las proporciones de volumen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de agregados adecuadas para que el porcentaje retenido del ensamblaje de agregados se encuentre dentro de los límites de la curva de la tarántula.

Tabla 109: *Porcentaje pasante acumulado de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

TAMIZ	% PASANTE ACUMULADO		
	GRAVA T.M.N. 1"	GRAVA T.M.N. 1/2"	ARENA
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00
1"	93.60	100.00	100.00
3/4"	38.28	100.00	100.00
1/2"	5.73	74.70	100.00
3/8"	0.26	50.18	100.00
# 4	0.10	6.90	95.20
# 8	0.06	0.95	81.00
# 16	0.06	0.95	59.20
# 30	0.06	0.95	38.80
#50	0.06	0.95	22.20
# 100	0.06	0.95	9.60
# 200	0.06	0.95	2.80
< # 200	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 110: *Porcentaje retenido combinado de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

TAMIZ	% PASANTE ACUMULADO COMBINADO	% RETENIDO COMBINADO	LIMITE MÁXIMO	LIMITE MÍNIMO
2"	100.00	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	100.00	0.00	0.00	0.00
1"	98.08	1.92	16.00	0.00
3/4"	81.48	16.60	20.00	0.00
1/2"	65.39	16.09	20.00	4.00
3/8"	57.62	7.77	20.00	4.00
# 4	44.59	13.03	20.00	4.00
# 8	36.71	7.89	12.00	0.00
# 16	26.90	9.81	12.00	0.00
# 30	17.72	9.18	20.00	4.00
#50	10.25	7.47	20.00	4.00
# 100	4.58	5.67	10.00	0.00
# 200	1.52	3.06	2.00	0.00
< # 200	0.00	1.52		

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.3 Resistencia de diseño a compresión

De acuerdo con la norma CE.010 "Pavimentos Urbanos" el módulo de rotura a 28 días debe ser mayor igual a 3.4 MPa (34 kg/cm^2) para pavimentos rígidos.

La relación entre módulo de rotura y resistencia a la compresión, según el ACI 363, se puede calcular como:

$$M_r = a\sqrt{f'c} \text{ (valores en kg/cm}^2\text{)}$$

Donde los valores de "a" varían entre 1.99 a 3.18

Utilizando la correlación propuesta, se contempla para el proyecto una resistencia a la compresión requerida de 280 kg/cm^2 utilizando insumos locales y disponibles para el proyecto.

5.4.4 Diseño de mezcla

El procedimiento de diseño de mezclas utilizado es calculado por medio de los aportes de los volúmenes absolutos de los materiales a ser utilizados, mostrados en la tabla 111.

Tabla 111: *Constantes físicas de cada uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Datos de laboratorio	Cemento YURA TIPO IP	Aditivo Sikacem Plastificante	Grava 1"	Grava ½"	Arena
Peso específico (g/cm^3)	2.80	1.20	2.44	2.68	2.59
Peso unitario suelto (kg/m^3)			1320	1454	1647
Peso seco compactado (kg/m^3)			1390	1550	1791
Módulo de fineza					2.94
Contenido de Humedad (%)			0.40	0.50	0.45
Absorción (%)			2.49	0.98	1.20

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento de diseño consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Relación A/C: Definida para el proyecto como 0.47
2. Cantidad de agua: 181 litros/m^3.
3. Cantidad de cemento: 385 kg/m^3.
4. Porcentaje de aire atrapado: 1.5%.
5. Aporte de volúmenes absolutos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 112: *Aporte de volúmenes absolutos de los insumos utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Porcentaje de participación	Volumen Absoluto
Cemento		0.1375 m^3
Agua		0.1810 m^3
Aire atrapado	1.50%	0.0150 m^3
Aditivo	1.18%	0.0038 m^3
Vol. Pasta		**0.3373 m^3**

Fuente: Elaboración propia

6. Volumen absoluto de agregados:

$$1\ m^3 - 0.3373\ m^3 = 0.6627\ m^3$$

Tabla 113: *Volumen absoluto de cada uno de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Porcentaje de participación del volumen absoluto de agregados	Volumen Absoluto
Vol. Grava 1"	30%	0.1988 m^3
Vol. Grava ½"	25%	0.1657 m^3
Vol. Arena	45%	0.2982 m^3
Vol. Agregados		**0.6627 m^3**

Fuente: Elaboración propia

7. Cantidad de materiales en peso seco por metro cubico:

Tabla 114: *Cantidad de insumos en peso seco por metro cubico utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Pesos Secos por m^3
Cemento	385.11 kg
Aditivo	4.54 kg
Agua	181.00 L
Grava 1"	485.08 kg
Grava ½"	443.99 kg
Arena	772.35 kg

Fuente: Elaboración propia

8. Corrección por humedad y absorción

Tabla 115: *Corrección por humedad de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Agua libre (L)
Grava 1"	1.94
Grava ½"	2.22
Arena	3.47
Total	7.63

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 116: *Corrección por absorción de los agregados utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Agua libre (L)
Grava 1”	12.08
Grava ½”	4.35
Arena	9.26
Total	25.69

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua por corregir es:

$$(\text{Humedad} - \text{Absorcion}) = (7.63 - 25.69) = -18.06 \text{ litros}$$

Agua efectiva corregida por absorción y humedad:

$$181 - (-18.06) = 199 \text{ litros}$$

9. Cantidad de materiales corregidos en peso húmedo por metro cubico

Tabla 117: *Cantidad de insumos corregidos en peso húmedo por metro cubico utilizados para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Insumos	Pesos Húmedos por m^3
Cemento	385.11 kg
Aditivo	4.54 kg
Agua	199.06 L
Grava 1”	487.02 kg
Grava ½”	446.21 kg
Arena	775.82 kg
Peso Unitario	2298 kg

Fuente: Elaboración propia

10. Proporción en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg:

Tabla 118: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg*

Insumos	Proporción en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg
Cemento	1
Aditivo	0.0118
Agua	21.97 L
Grava 1”	1.26
Grava ½”	1.16
Arena	2.01

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

11. Proporción en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg:

Tabla 119: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg*

Insumos	Proporción en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg
Cemento	1
Aditivo	418 mL
Agua	21.97 L
Grava 1"	1.44
Grava ½"	1.20
Arena	1.84

Fuente: Elaboración propia

5.4.5 Especificaciones para el diseño de mezcla

El documento ACI 302.1R-15 "Guía para la construcción de pisos y losas de concreto", recomienda una máxima relación agua/cemento de 0.50, T.M.N. del agregado grueso de 25 mm y asentamiento de 4" a 6" (10 a 15 cm). También, recomienda limitar algunos aspectos del concreto, como la fracción de pasta y fracción de mortero para evitar problemas en la ejecución y posterior comportamiento.

5.4.5.1. Fracción de pasta

La fracción es la suma del porcentaje de participación de los insumos del concreto sin considerar los agregados. Esta fracción no debe ser superior al 35% ya que se producen despegues superficiales generando fisuras superficiales por exceso de finura, ni menor al 25% ya que al tener pocos finos se dificulta realizar el pulido, quedando oquedades en la superficie.

De acuerdo a la tabla 112, la fracción de pasta del diseño de mezclas evaluado es del 33.73%.

5.4.5.2. Fracción de mortero

La fracción de mortero es el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 8 (2.36 mm) respecto del total de la mezcla en volumen, según la siguiente formula:

$$FM = \frac{\frac{Cc}{PEc} + \frac{\frac{\%\text{ de arena que pasa el tamiz N°8}}{100} * \text{PA total}}{Dsss} + \text{Agua libre} + \text{Aditivo} + \%\text{ Aire}}{1000\ (L)} \text{ x } 100$$

$$FM = \frac{\frac{385.11}{2800} \text{x } 1000 + \frac{\frac{36.71}{100} * 1709.05}{2590} \text{x } 1000 + 199.06 + 3.78 + 0.015}{1000} \text{ x } 100$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$FM = \frac{137.54 + 242.24 + 199.06 + 3.78 + 0.015}{1000} x\ 100 = 58\%$$

Donde:

Cc : Cemento (kg)

PEc : Peso específico del cemento (kg/l)

PA total : Peso del agregado total (kg)

Dsss : Densidad relativa del agregado fino en condición saturada superficialmente seca (kg/l)

El agua libre, el aditivo y el porcentaje de aire se deben considerar en litros. De acuerdo con las recomendaciones del ACI se debe limitar esta fracción entre el 55% - 58% para agregado triturado, con el propósito de garantizar un buen acabado. La fracción de mortero de la mezcla evaluada es del 58 %.

5.4.6 Ensayos en estado fresco

5.4.6.1. Control de asentamiento

El asentamiento es un índice de la consistencia del concreto, relacionado con su estado de fluidez y es determinado mediante el ensayo de control de asentamiento descrito en la norma NTP 339.035, la cual no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 37.5 mm (1 ½") o cuando el concreto no es plástico o cohesivo.

El procedimiento de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Colocar una base plana no absorbente y humedecer los instrumentos mecánicos a utilizar.
2. Mantener el cono firme contra la base, colocando ambos pies encima de las dos aletas y llenarlo con concreto en tres capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una, varillando cada capa con 25 golpes. La compactación debe distribuirse en toda el área y aplicarse comenzando por el borde del molde, acercándose en espiral hacia el centro de la sección, manteniendo la misma intensidad en todos los golpes. La capa inferior se compacta en todo su espesor. En las capas siguientes se penetra toda su profundidad y ligeramente la capa inferior. Al compactar la capa superior se debe mantener el concreto sobrepasando el tope del molde.
3. Enrasar el concreto usando la barra compactadora.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Colocar las manos en las asas del cono y levantar el molde 30 cm, demorándose en la operación 5 ± 2 segundos.
5. Colocar el cono invertido al lado del concreto deformado.
6. Medir la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior del concreto, con una aproximación de ¼".

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, debe hacerse sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos. El ensayo de asentamiento debe comenzarse a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.

Tabla 120: *Resultados del ensayo de slump de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.*

Muestra	Dosificación de fibra metálica (kg/m^3)	Slump
1	20	5"
2	25	5"
3	30	4 ¼"
4	35	4"
5	40	4"

Fuente: Elaboración propia

5.4.6.2. Peso unitario del concreto

Este ensayo se realiza con el propósito de determinar la densidad del concreto en estado fresco y el procedimiento de ensayo esta descrito en la norma NTP 339.046. La cantidad de muestra de concreto fresco y la capacidad del recipiente de medición está en función al tamaño máximo nominal del agregado grueso, como se muestra en la tabla 121.

Tabla 121: *Capacidad del molde requerido de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso.*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición	
pulgadas	mm	pie^3	L
1	25.0	0.2	6
1 ½"	37.5	0.4	11
2	50	0.5	14
3	75	1.0	28
4 ½"	112	2.5	70
6	150	3.5	100

Reproducido de la Norma NTP 339.046 *"Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)"* por *INDECOPI, 2008*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El procedimiento del método de ensayo para determinar la densidad del concreto en estado fresco puede realizarse mediante los siguientes métodos:

- Método de consolidación del concreto fresco por apisonado: Consiste en colocar el concreto fresco en tres capas aproximadamente iguales. Cuando se utilicen recipientes con una medida nominal de 14 litros o menos, aplicar 25 golpes de la barra compactadora a cada capa; cuando se utilicen recipientes con medida nominal de 28 litros, aplicar 50 golpes; y para recipientes más grandes aplicar un golpe por cada 15 cm^2 de superficie. Después de varillar cada capa, golpear ligeramente los lados del molde con el martillo de goma de 10 a 15 veces y enrasar al tope del molde.
- Método de consolidación del concreto fresco por vibración consiste en llenar el molde con concreto fresco en dos capas aproximadamente iguales y vibrar en tres puntos diferentes cada capa. La vibración se continua por un tiempo suficiente para lograr la consolidación apropiada del concreto.

Para la muestra de concreto se utilizó el método de consolidación por apisonado en un recipiente de medición de 11 L. asegurando una distribución homogénea del concreto con segregación mínima.

Tabla 122: *Resultados del ensayo de peso unitario de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.*

Muestra	Dosificación de fibra metálica (kg/m^3)	Peso unitario teórico (kg/m^3)	Peso unitario real (kg/m^3)	Rendimiento
1	20		2253	1.0200
2	25		2311	0.9944
3	30	2298	2312	0.9939
4	35		2267	1.0137
5	40		2301	0.9987

Fuente: Elaboración propia

5.4.6.3. Contenido de aire del concreto

Se realizo de acuerdo con la norma NTP 339.046 con el propósito de determinar el contenido de aire en el concreto fresco.

El procedimiento de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos:

1. Humedecer las herramientas a usar, el molde y la tapa del equipo de aire.
2. Realizar el llenado en 3 capas iguales, en el caso de la capa superior se debe mantener el concreto sobrepasando ligeramente el tope del molde.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Compactar cada capa dando 25 golpes, distribuidos uniformemente en toda el área. La capa inferior se compacta en todo su espesor y en la siguientes se incluye la capa inferior 2.5 cm.
4. Después de varillar cada capa, se golpea ligeramente las paredes del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma y se enrasa al tope del molde.
5. Enrasar la superficie de la olla con la regla metálica, sin golpear el molde.
6. Limpiar el molde y la tapa del equipo.
7. Asegurar la tapa del molde, cerrando todos los seguros.
8. Cerrar la válvula de purga de aire del pistón.
9. Abrir las válvulas para el ingreso del agua al molde.
10. Inyectar agua en una de las válvulas, hasta que emerja por la otra. Se continúa inyectando agua, mientras se agita suavemente el conjunto, hasta que todo el aire haya salido por la otra válvula.
11. Cerrar las válvulas de agua, de forma que el recipiente quede hermético.
12. Bombear aire, con el pistón gradualmente hasta que la aguja del manómetro señale la presión inicial.
13. Abrir la válvula de aire para liberar la presión dentro del molde.
14. Tomar la lectura del manómetro y expresarla en porcentaje.
15. Abrir la válvula de purga del pistón para dejar salir el aire a presión.
16. Abrir las válvulas laterales para evacuar el remanente de aire.
17. Una vez evacuado todo el aire, abrir los seguros y remover la tapa.
18. Desechar el concreto del molde y limpiar todos los elementos empleados en la prueba.

Tabla 123: *Resultados del ensayo de contenido de aire de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.*

Muestra	Dosificación de fibra metálica (kg/m^3)	Contenido de aire (%)
1	20	1.6
2	25	1.8
3	30	1.6
4	35	1.7
5	40	1.8

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.4.7 Ensayos en estado endurecido

5.4.7.1. Ensayo de resistencia a la compresión

Este ensayo se describe en la norma NTP 339.034 y se realiza con el propósito de determinar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto cilíndricos, como cilindros moldeados y núcleos perforados.

Para preparar los testigos de concreto para el ensayo, el molde se llena con muestra de concreto fresco en dos o tres capas de aproximadamente la misma altura. Una varilla o vibrador se emplea en cada capa para compactarla. Si se usa una varilla, se aplica 25 golpes en diversos sitios de la superficie del concreto. Los tamaños de los cilindros determinan la longitud y diámetro de la varilla, así como el número de capas y numero de golpes por capa como se puede observar en las tablas 124 y 125. Si se utiliza un vibrador se llena en dos capas, compactando cada una con un numero de inserciones que depende del diámetro del cilindro, tal como se muestra en la tabla 126.

Tabla 124: *Tamaño de la varilla a utilizar para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.*

Diámetro del cilindro o ancho de la vigueta, mm	Diámetro de la varilla, mm
< 150	10 ± 2
≥ 150	15 ± 2

Reproducido de la Norma ASTM C39 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico"* por *ASTM Internacional, 2020*

Tabla 125: *Numero de capas y de golpes por capa que se debe aplicar en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando una varilla para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.*

Diámetro del cilindro, mm	N° de capas	N° de golpes/capa
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Reproducido de la Norma ASTM C39 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico"* por *ASTM Internacional, 2020*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 126: *Numero de inserciones para diferentes diámetros de cilindro en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando vibrado para la elaboración de probetas que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.*

Diámetro del cilindro, mm	N° de capas	N° de inserciones/capa
100	2	1
150	3	2
225	4	4

Reproducido de la Norma ASTM C39 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico"* por *ASTM Internacional, 2020*

El procedimiento de elaboración de las probetas de ensayo, utilizando una varilla para compactar cada una de las capas de la muestra de concreto, consistió en realizar los siguientes pasos:

1. Compactar la capa de fondo en toda su profundidad, mientras que, en las superiores, la varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente.
2. Una vez terminada la compactación, se completa el molde con más mezcla y se enrasa la superficie con una espátula o cualquier otro instrumento adecuado.
3. Completadas las capas de concreto, se golpea en las paredes del molde con un martillo de caucho, con el propósito de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire que pueden haber quedado atrapados dentro de la masa de concreto.
4. Se marcan los cilindros y se tapan con un material no absorbente, dejándolos en un sitio con humedad relativa superior al 50% y a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, protegiéndolos de la luz solar directa y de la calefacción radiante.
5. Se desmoldan dentro de 24 h ± 8 h y almacenan en un ambiente húmedo, o con una capa de agua libre sobre la superficie, a una temperatura de 23 °C ± 2 °C hasta la edad de rotura.
6. Las pruebas de compresión de las muestras curadas en húmedo se realizan tan pronto como sea posible después de retirarlas de la poza de curado. Las tolerancias se muestran en la tabla 127.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 127: *Tolerancias permisibles en tiempo para las pruebas de compresión de las muestras curadas en húmedo.*

Prueba de edad	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h
3 días	± 2 h
7 días	± 6 h
28 días	± 20 h
90 días	± 2 días

Reproducido de la Norma ASTM C39 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico"* por *ASTM Internacional, 2020*

El procedimiento de ensayo de los testigos de concreto sometidos a compresión, es el siguiente:

1. Determinar el diámetro de la sección transversal, promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.
2. Colocación del bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de compresión, y seguidamente, colocar la probeta sobre el bloque inferior directamente debajo del bloque superior de carga.
3. Aplicar una velocidad de carga continua, hasta que la muestra falle y registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Si los testigos cilíndricos no cumplen con la relación de esbeltez 1:2, se aplica un factor de corrección de acuerdo con lo mostrado en la tabla 140 que está en función de la relación entre la altura (L) y diámetro (D) del cilindro.

Tabla 128: *Factor de corrección para los resultados obtenidos de acuerdo a la relación de esbeltez del testigo cilíndrico ensayado.*

Esbeltez L/D	Factor de corrección
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Reproducido de la Norma ASTM C39 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico"* por *ASTM Internacional, 2020*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 129: *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto sin adición de fibras obtenida a 3,7 y 28 días.*

Identificación	Edad (días)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Área (cm^2)	Relación Altura/Diámetro	Fuerza máxima (kg)	Esfuerzo kg/cm^2
1-3D	3	10.00	20.00	78.5	2.00	13453	171.3
2-3D	3	10.00	20.00	78.5	2.00	13297	169.3
3-3D	3	9.97	19.90	78.1	2.00	13268	170.0
1-7D	7	10.00	20.00	78.5	2.00	17521	223.1
2-7D	7	9.95	19.85	77.8	1.99	17486	224.9
3-7D	7	10.00	20.00	78.5	2.00	17642	224.6
1-28D	28	10.00	20.00	78.5	2.00	26499	337.4
2-28D	28	10.00	19.95	78.5	2.00	25223	321.1
3-28D	28	10.00	20.00	78.5	2.00	25158	320.3

Fuente: Elaboración propia

5.4.7.2. Ensayo para determinar la resistencia a la flexión

El módulo de rotura es una medida de la resistencia a la flexotracción y se determina mediante cualquiera de los siguientes ensayos:

- AASHTO T 97 y ASTM C 78: Resistencia a la flexión del concreto (Usando una probeta prismática, cargada en el tercio medio).
- AASHTO T 177 y ASTM C 293: Resistencia a la flexión del concreto (Usando una probeta prismática, cargada en punto medio).

En general, se recomienda el ensayo de resistencia a la flexión del concreto usando una probeta prismática cargada en el tercio central, ya que en el mismo queda una zona central con corte nulo donde se produce flexión pura y un área de falla algo mayor, frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cual la rotura se producirá indefectiblemente en el punto medio (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector y el esfuerzo cortante son máximos. (Becker & Chaix, 2019)

Las probetas se elaboran vaciando el concreto fresco en capas, usando moldes metálicos. Cuando se compacta con la varilla lisa, el número de golpes es de uno por cada 14 cm^2 de área, de modo que, para una vigueta de 500 mm de longitud, se requiere de 60 golpes por capa, tal como se relaciona en la tabla 130.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 130: *Numero de capas y de golpes por capa que se debe aplicar en el proceso de compactación de la muestra de concreto utilizando una varilla.*

Ancho de vigueta, mm	N° de capas	N° de golpes / capa
100 a 200	2	1 por cada 14 cm^2 del área de la superficie superior
> 200	3 o mas	

Reproducido de la Norma ASTM C78 *"Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto (Usando una probeta prismática, cargada en el tercio medio)* por *ASTM Internacional, 2018*

El procedimiento de ensayo de acuerdo a la norma ASTM C78 y NTP 339.079, usando una probeta prismática cargada en el tercio medio, consiste en apoyar la vigueta a 25 mm de sus extremos dejando una luz intermedia en la que se carga en dos puntos situados en los tercios medios de los apoyos.

El módulo de rotura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f_r = \frac{MC}{I}$$

Donde:

- f_r: módulo de rotura
- M: momento flector en el instante de rotura $\left(\frac{PL}{6}\right)$ o $\left(\frac{PL}{4}\right)$
- C: distancia desde el eje neutro al punto de interés $\left(\frac{h}{2}\right)$
- I: momento de inercia de la sección transversal de la probeta $\left(\frac{bh^3}{12}\right)$

Reemplazando se tiene que:

$$MR = \frac{P_{rotura} L}{bd^2}$$

Donde:

- MR: módulo de rotura (kgf/cm^2).
- P: carga de rotura (kg).
- L: luz entre apoyos extremos (cm).
- b: ancho de la viga (cm).
- d: altura de la viga (cm).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Si la falla ocurre fuera del tercio, pero no mayor del 5% de la luz libre, se aplica la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3.P.a}{b.h^2}$$

Donde:

- a: distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano medido sobre el largo de la línea central de la superficie inferior de la viga (cm)

Si la falla ocurre fuera del tercio central y a una distancia mayor del 5% de la luz libre se descarta el ensayo. Los resultados obtenidos con diferentes adiciones de fibra metálica DRAMIX 4D 65/60 BG en kilogramos por metro cubico se muestran en la tabla 131.

Tabla 131: *Modulo de rotura de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.*

Identificación (muestra – adición de fibra kg/m³)	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Luz libre (mm)	Fuerza máxima (kN)	Módulo de rotura (MPa)
1-20	05/08/21	02/09/21	28	150	150	450	33.60	4.48
2-20	05/08/21	02/09/21	28	150	150	450	3320	4.34
3-20	05/08/21	02/09/21	28	149	151	450	3471	4.57
1-25	06/08/21	03/09/21	28	150	152	450	3483	4.49
2-25	06/08/21	03/09/21	28	150	152	450	3561	4.59
3-25	06/08/21	03/09/21	28	151	151	450	3522	4.51
1-30	08/08/21	05/09/21	28	150	152	450	3620	4.67
2-30	08/08/21	05/09/21	28	151	151	450	3691	4.73
3-30	08/08/21	05/09/21	28	152	150	450	3652	4.65
1-35	09/08/21	06/09/21	28	152	150	450	3698	4.71
2-35	09/08/21	06/09/21	28	149	151	450	3590	4.66
3-35	09/08/21	06/09/21	28	150	150	450	3600	4.71
1-40	10/08/21	07/09/21	28	150	150	450	3679	4.81
2-40	10/08/21	07/09/21	28	150	150	450	3656	4.78
3-40	10/08/21	07/09/21	28	150	150	450	3656	4.79

Fuente: Elaboración propia

5.4.7.3. Ensayo para determinar la resistencia residual

Este ensayo se realiza para determinar la capacidad adicional de carga (tenacidad) cuando el espécimen llega a una deformación de 3 mm en la vertical después de alcanzar la carga máxima. El procedimiento de ensayo se encuentra descrito en la norma ASTM C1399 y es aplicable a concreto reforzado con fibra de acero y consiste en realizar lo siguiente:

Después de determinar la carga máxima, comienza a aparecer la fisura y las fibras comienzan a trabajar, se empiezan a reacomodar los esfuerzos y por lo tanto no hay una falla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

frágil o un colapso súbito del elemento estructural, se deforma el espécimen hasta llegar a los 3 mm de desplazamiento y se registra la fuerza aplicada para distintos desplazamientos.

La capacidad de carga adicional se determina calculando el área bajo la curva de la gráfica carga - desplazamiento y se expresa en porcentaje con respecto al valor adicional. Se determina de la siguiente manera:

$$\mathrm{Re},3 = \frac{f_{fct,eq,150}}{f_{fct}}\ (\%)$$

Donde:

- $\mathrm{Re},3$: Factor de resistencia residual, %
- $f_{fct,eq,150}$: Tensión admisible a tracción por flexión determinada a los 3 milímetros de deflexión.
- f_{fct}: Modulo de rotura del concreto

La tensión admisible a tracción por flexión se calcula de la siguiente manera:

$$f_{fct,eq,150} = \frac{\mathrm{Pe},3\ .\ L}{b.\ d^2}$$

Donde:

- $\mathrm{Pe},3$: Relación entre el área bajo la curva y 3 milímetros de deflexión.
- $\mathrm{Pe},3 = \frac{\text{Area bajo la curva de la grafica carga}-\text{desplazamiento}}{3\ \text{mm}}$

El módulo de rotura del concreto es calculado de la siguiente manera:

$$f_{fct} = \frac{P.\ L}{b.\ d^2}$$

Donde:

- f_{fct}: Modulo de rotura del concreto
- P: Carga de rotura.
- L: Luz entre apoyos extremos.
- b: Ancho de la viga.
- d: Altura de la viga.

Los resultados promedio de resistencia residual (Re,3) obtenidos para las vigas de concreto ensayadas con distintas dosificaciones de fibra de acero utilizada (20, 25, 30, 35 y 40 kg/m^3 respectivamente) se muestra en la tabla 132.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 132: *Resistencia residual (Re,3) de las muestras de concreto para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.*

Identificación (muestra – adición de fibra kg/m³)	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Resistencia residual (Re,3) %
1-20	05/08/21	02/09/21	28	64.6
2-20	05/08/21	02/09/21	28	64.5
3-20	05/08/21	02/09/21	28	64.8
1-25	06/08/21	03/09/21	28	69.4
2-25	06/08/21	03/09/21	28	69.2
3-25	06/08/21	03/09/21	28	70.6
1-30	08/08/21	05/09/21	28	73.7
2-30	08/08/21	05/09/21	28	74.6
3-30	08/08/21	05/09/21	28	74.9
1-35	09/08/21	06/09/21	28	80.3
2-35	09/08/21	06/09/21	28	82.0
3-35	09/08/21	06/09/21	28	80.6
1-40	10/08/21	07/09/21	28	85.7
2-40	10/08/21	07/09/21	28	84.7
3-40	10/08/21	07/09/21	28	88.2

Fuente: Elaboración propia

5.5. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO INDUSTRIAL

5.5.1 Estudio de cargas

5.5.1.1. Carga Puntual

El proyecto contempla el uso de sistemas de estanterías convencionales, las cuales presentan las siguientes características:

- Altura libre de la estantería: 9 m.
- Número de posiciones de paletización posibles: $\frac{9}{1.5} = 6$
- Número de pallets por altura: 2
- Carga de pallet: 1200 kg/pallet
- Área de contacto de los apoyos: 23 x 23 cm = 529 cm^2
- Distancia entre ejes de soportes: y = 1875 mm
- Distancia entre ejes de soportes: x = 1000 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 92: *Sistema de almacenamiento convencional*



Reproducido de *"Logística y Abastecimiento"* por *B. Salazar, 2021*

El cálculo de carga por bastidor se realiza de la siguiente manera:

- Bastidor central: Numero de alturas x número de pallets x carga de pallet
  - Bastidor central: 6 x 2 pallet x 1200 kg/pallet = 14400 kg/bastidor
  - Apoyo del bastidor central = 7200 kg/apoyo
- Bastidor extremo: (Carga en el bastidor central) /2
  - Bastidor extremo: 14400/2 = 7200 kg/bastidor
  - Apoyo del bastidor extremo = 3600 kg/apoyo

5.5.1.2. Carga Dinámica

El proyecto contempla el uso de un montacargas modelo DFG 430s del fabricante Jungheinrich, el cual, de acuerdo a su ficha técnica presenta las siguientes características:

- Peso por eje con carga delantera: 6520 kg
- Carga por rueda en el eje delantero: 3260 kg/rueda
- Espaciamiento entre los neumáticos del eje delantero: 1060 mm
- Longitud hasta el extremo de la horquilla: 2723 mm
- Tipo de ejes: Eje simple
- Numero de ejes: 2
- Numero de neumáticos por cada eje: Rueda simple
- Tipo de neumáticos: Acorde a la tabla 133.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 133: *Tipo de neumáticos de acuerdo con la hoja técnica montacarga Jungheinrich*

Descripción	Eje delantero	Eje trasero
Tipo	255/75-12	6.5-10
Ancho	255 mm	178 mm
Diámetro externo	690 mm	590 mm
Tamaño del aro	12 pulgadas	10 pulgadas

Reproducido de *"Hoja técnica montacarga Jungheinrich"* por *Jungheinrich, 2021.*

De acuerdo con las características de los neumáticos, el área de contacto de la rueda más crítica se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Área de contacto} = \text{radio del circulo equivalente x ancho} = \sqrt{\frac{Q}{P.\pi}} \text{ x b}$$

Donde:

- Q: Carga que transmite la rueda
- P: Presión de contacto de la rueda, típicamente 0.75 N/mm^2 para carretilla de neumáticos.

$$\text{Área de contacto} = \sqrt{\frac{31948\ \text{N}}{0.75\ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\ \text{x}\ \pi}} \text{x } 255\ \text{mm} = 116.4 \text{ x } 255 = 29693\ \text{mm}^2$$

Además, se estima para el proyecto que el vehículo de diseño operara a una velocidad de 20 km/hora y pasara 250 veces por día a través de las juntas.

5.5.2 Teoría de Westergaard

5.5.2.1. Verificación de esfuerzos para carga puntual

Para el cálculo de los esfuerzos requeridos en la losa producidos por una carga puntual se requieren los siguientes datos de entrada:

- Espesor de losa asumido: 250 mm
- Coeficiente de poisson: 0.15
- Carga máxima P: 70607 N
- Factor de seguridad: 1.2
- Carga máxima amplificada $P_{amplificado}$: 84728 N
- Módulo de elasticidad del concreto: 25029 MPa
- Ancho de apoyo de la estantería: 230 mm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Módulo de reacción de la subrasante k: 0.041 N/mm^3
- Módulo de ruptura del concreto $\sigma_{ctd,fl}$: 4.53 MPa
- Resistencia residual para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D 65/60: 69.70 %

De acuerdo con los datos de entrada se obtienen los siguientes datos necesarios para el cálculo:

- Módulo de ruptura admisible σ_{adm}: 3.16 MPa
- Radio del círculo equivalente a la superficie de apoyo de la carga puntual a: 129.76 mm
- Radio de rigidez relativa l: 949.6 mm

a) Carga en el interior de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{0.275(1+\mu)}{h^2} P \log\left(\frac{0.36 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.275(1+0.15)}{250^2} 84728 \log\left(\frac{0.36(25029)250^3}{0.041(129.76)^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 1.75 \text{ MPa}$$

b) Carga sobre el borde de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = 0.529(1+0.54\mu)\frac{P}{h^2}\log\left(\frac{0.20 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 0.529(1+0.54(0.15))\frac{84728}{250^2}\log\left(\frac{0.20(25029)250^3}{0.041(129.76)^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 2.97 \text{ MPa}$$

c) Carga sobre la esquina de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right]$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$\sigma_{max} = \frac{3(84728)}{250^2}\left[1 - \left(\frac{129.76\sqrt{2}}{949.6}\right)^{0.6}\right]$$

$$\sigma_{max} = 2.55 \text{ MPa}$$

Tabla 134: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga para un mismo espesor de losa.*

Verificación de esfuerzos	Espesor de losa (mm)	Esfuerzo de ruptura admisible del concreto a la tracción (MPa)	Esfuerzo de tensión por flexión máxima (MPa)	Criterio de aceptación
Carga en el interior	250	3.16	1.75	Correcto
Carga en el borde	250	3.16	2.97	Correcto
Carga en esquina	250	3.16	2.55	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con fibras de acero, tal como se muestra en la tabla 153, determinándose que el espesor mínimo que satisface todas las condiciones de carga es de 250 mm, pudiendo optimizarse el espesor de losa en el interior y esquina, tal como se muestra en la tabla 135.

Tabla 135: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga utilizando distintos espesores de losa.*

Verificación de esfuerzos	Espesor de losa (mm)	Esfuerzo de ruptura admisible del concreto a la tracción (MPa)	Esfuerzo de tensión por flexión máxima (MPa)	Criterio de aceptación
Carga en el interior	180	3.16	3.02	Correcto
Carga en el borde	250	3.16	3.16	Correcto
Carga en esquina	230	3.16	2.94	Correcto

Fuente: Elaboración propia

5.5.2.2. Verificación de esfuerzos para carga dinámica

Para el cálculo de los esfuerzos requeridos en la losa producidos por una carga dinámica se requieren los siguientes datos de entrada:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Espesor de losa asumido: 180 mm
- Coeficiente de poisson: 0.20
- Carga máxima P: 31970 N
- Factor de seguridad: 1.6
- Carga máxima amplificada $P_{amplificado}$: 51151 N
- Módulo de elasticidad del concreto: 33402 MPa
- Presión de inflado del neumático: 0.75 N/mm^2.
- Módulo de reacción de la subrasante k: 0.041 N/mm^3
- Módulo de ruptura del concreto $\sigma_{ctd,fl}$: 4.53 MPa
- Resistencia residual para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D: 69.70 %

De acuerdo con los datos de entrada se obtienen los siguientes datos necesarios para el cálculo:

- Módulo de ruptura admisible σ_{adm}: 3.16 MPa
- Radio equivalente del área de contacto del neumático: 147.34 mm
- Radio de rigidez relativa l: 801.4 mm

a) Carga en el interior de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{0.275(1+\mu)}{h^2} P \log\left(\frac{0.36 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.275(1+0.20)}{180^2} 51151 \log\left(\frac{0.36(33402)180^3}{0.041(147.34)^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 1.85 \text{ MPa}$$

b) Carga sobre el borde de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = 0.529(1+0.54\mu)\frac{P}{h^2}\log\left(\frac{0.20 E_c h^3}{k a^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 0.529(1+0.54(0.20))\frac{51151}{180^2}\log\left(\frac{0.20(33402)180^3}{0.041(147.34)^4}\right)$$

$$\sigma_{max} = 3.06 \text{ MPa}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) Carga sobre la esquina de la losa

Para esta condición de carga del pavimento, la tensión de flexión máxima es:

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right]$$

$$\sigma_{max} = \frac{3(51151)}{180^2}\left[1 - \left(\frac{147.34\sqrt{2}}{801.4}\right)^{0.6}\right]$$

$$\sigma_{max} = 2.63 \text{ MPa}$$

Tabla 136: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga sin considerar coeficientes de ponderación dinámica y tráfico.*

Verificación de esfuerzos	Espesor de losa (mm)	Esfuerzo de ruptura admisible del concreto a la tracción (MPa)	Esfuerzo de tensión por flexión máxima (MPa)	Criterio de aceptación
Carga en el interior	180	3.16	1.85	Correcto
Carga en el borde	180	3.16	3.06	Correcto
Carga en esquina	180	3.16	2.63	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con fibras de acero, tal como se muestra en la tabla 136, determinándose que el espesor mínimo que satisface todas las condiciones de carga es de 180 mm.

Considerando que la carga dinámica pasa 50 veces al día a través de la junta y que lo hace a una velocidad de 15 km/hora, los coeficientes de ponderación aplicables a los esfuerzos máximos obtenidos, son:

- Coeficiente de ponderación para el tráfico: $\log(10 + \frac{50}{16}) = 1.12$
- Coeficiente de ponderación dinámica: $1 + \frac{0.3x15^2}{15^2+200} = 1.16$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 137: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos amplificados por coeficientes de ponderación para el tráfico y vibración producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga.*

Verificación de esfuerzos	Espesor de losa (mm)	Esfuerzo de ruptura admisible del concreto a la tracción (MPa)	Esfuerzo de tensión por flexión máxima (MPa)	Criterio de aceptación
Carga en el interior	210	3.16	1.87	Correcto
Carga en el borde	210	3.16	3.10	Correcto
Carga en esquina	210	3.16	2.64	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos amplificados por coeficientes de ponderación dinámica y de tráfico, se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con fibras de acero, tal como se muestra en la tabla 137, determinándose que el espesor mínimo que satisface todas las condiciones de carga es de 210 mm, pudiendo optimizarse el espesor de losa en el interior y esquina, tal como se muestra en la tabla 138.

Tabla 138: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.*

Verificación de esfuerzos	Espesor de losa (mm)	Esfuerzo de ruptura admisible del concreto a la tracción (MPa)	Esfuerzo de tensión por flexión máxima (MPa)	Criterio de aceptación
Carga en el interior	160	3.16	2.92	Correcto
Carga en el borde	210	3.16	3.10	Correcto
Carga en esquina	230	3.16	3.12	Correcto

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Método “Yield Line Theory”

5.5.3.1. Verificación de esfuerzos para carga puntual

Para el cálculo de los esfuerzos requeridos en la losa producidos por una carga puntual se requieren los siguientes datos de entrada:

- Espesor de losa asumido: 200 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Coeficiente de poisson: 0.15
- Módulo de elasticidad del concreto: 25029 MPa
- Carga máxima P: 70.6 kN
- Factor de seguridad: 1.2
- Carga máxima amplificada $P_{amplificado}$: 84.7 kN
- Ancho de apoyo: 230 mm
- Longitud de apoyo: 230 mm
- Módulo de reacción de la subrasante k: 0.041 N/mm^3
- Módulo de ruptura del concreto $\sigma_{ctd,fl}$: 4.53 MPa
- Esfuerzo residual de flexión $COMD_1$ a 0.5 mm para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D: 2.75 MPa
- Esfuerzo residual de flexión $COMD_4$ a 3.5 mm para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D: 2.70 MPa
- Factor de seguridad aplicado al concreto reforzado con fibras de acero γ_m: 1.43

De acuerdo con los datos de entrada se obtienen los siguientes datos necesarios para el cálculo:

- Radio del círculo equivalente a la superficie de apoyo de la carga puntual a: 129.76 mm
- Radio de rigidez relativa l: 803.3 mm
- Relación entre el radio equivalente del área de contacto y la rigidez relativa: 0.162
- Esfuerzo residual $COMD_1$

$$\sigma_{r1} = 0.45 \text{ x } f_{R1} = 0.45 \text{ x } 2.75 = 1.24 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo residual $COMD_4$

$$\sigma_{r4} = 0.37 \text{ x } f_{R4} = 0.37 \text{ x } 2.70 = 1.00 \text{ MPa}$$

- Capacidad de momento positivo:

$$M_{up} = \frac{h^2}{\gamma_m} \text{x } (0.29 \text{ x } \sigma_{r4} + 0.16 \text{ x } \sigma_{r1})$$

$$M_{up} = \frac{\frac{200^2}{1.43} \text{x } (0.29 \text{ x } 1 + 0.16 \text{ x } 1.24)}{1000} = 13.6 \text{ kN. m/m}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Capacidad de momento negativo:

$$M_{un} = \frac{f_{ctd,fl}}{\gamma_m}\left(\frac{h^2}{6}\right)$$

$$M_{un} = \frac{\frac{4.53}{1.43}\left(\frac{200^2}{6}\right)}{1000} = 21.1\ \text{kN.m/m}$$

De acuerdo con Meyerhof la capacidad de carga de una losa de piso se obtiene para dos relaciones: $\frac{a}{l} = 0$ y $\frac{a}{l} \geq 0.2$ donde:

- a: radio equivalente del área de contacto de la carga.
- l: radio de rigidez relativa.

En todos los casos, para valores de $\frac{a}{l}$ comprendidos entre 0 y 0.2 se debe obtener valores de Pu a través de interpolación lineal.

a) Carga en un solo punto

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P = 70.6 \text{ x } 1.2 = 84.7\ \text{kN}$$

a) Para carga en el interior de la losa

- a/l = 0

$$P_{u,0} = 2.\pi.(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 2.\pi.(13.6 + 21.1) = 218.4\ \text{kN}$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(M_p + M_n)}{1 - \left(\frac{a}{3l}\right)}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(13.6 + 21.1)}{1 - \left(\frac{129.76}{3x803.3}\right)} = 461.7\ \text{kN}$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.162} = 218.4 + (461.7 - 218.4)\ \text{x}\frac{0.162}{0.2} = 414.9\ \text{kN}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Para carga libre de borde

- a/l = 0

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(M_p + M_n)}{2} + 2M_n$$

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(13.6 + 21.1)}{2} + 2\ x\ 21.1 = 96.8\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{\pi(M_p + M_n) + 4M_n}{1 - \frac{2a}{3l}}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{\pi(13.6 + 21.1) + 4\ x\ 20.1}{1 - \frac{2\ x\ 129.76}{3\ x\ 803.3}} = 217.1\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.162} = 96.8 + (217.1 - 96.8)\ x \frac{0.162}{0.2} = 193.9\ kN$$

c) Para carga de esquina

- a/l = 0

$$P_{u,0} = 2M_n$$

$$P_{u,0} = 2\ x\ 21.1 = 42.2\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{4M_n}{1 - \frac{a}{l}}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\ x\ 21.1}{1 - \frac{129.76}{803.3}} = 100.8\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.162} = 42.2 + (100.8 - 42.2)\ x \frac{0.162}{0.2} = 89.5\ kN$$

b) Carga en dos puntos

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P = (70.6 + 70.6)\ x\ 1.2 = 169.5\ kN$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

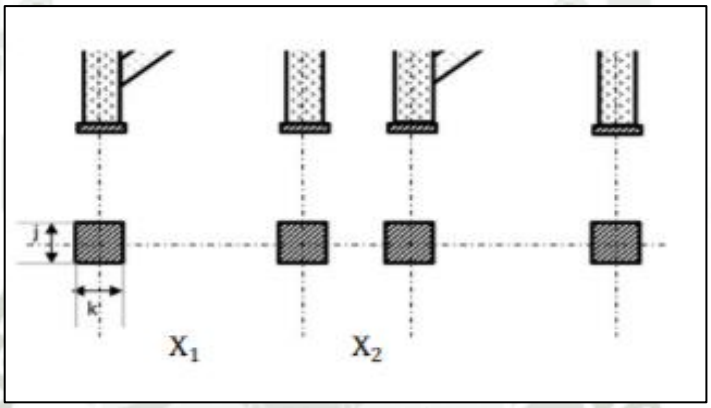
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Distancia entre centros de dos puntos de carga

$$x_2 = 200 \text{ mm}$$

Ya que la distancia entre centros de aplicación de carga es menor al doble del espesor de la losa, se considera que actúan conjuntamente como una sola carga en un área de contacto que es equivalente a las cargas individuales expresadas como círculos más el área entre ellas y se analiza como carga en un solo punto.

Figura 93: *Estantería convencional "back to back"*



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del radio equivalente del área de contacto de 2 cargas|:

Las dimensiones del área de contacto son de 230 mm x 230 mm (l_i x l_w)

$$a = \left[\frac{\left(2.\left(\frac{l_i x l_w}{\pi}\right)^{0.5}.X\right) + (l_i + l_w)}{\pi}\right]^{0.5} = \left[\frac{\left(2.\left(\frac{230x230}{\pi}\right)^{0.5}.200\right) + (230 + 230)}{\pi}\right]^{0.5} = 182.6 \text{ mm}$$

El comportamiento combinado debe determinarse a partir de las siguientes ecuaciones:

a) Para carga interna:

- a/l = 0

$$P_{u,0} = 2\pi\,.\,(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 2\pi\,.\,(13.6 + 21.1) = 218.4 \text{ kN}$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(M_p + M_n)}{1 - \frac{a}{3l}}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(13.6 + 21.1)}{1 - \frac{182.6}{3(803.3)}} = 472.6 \text{ kN}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Interpolación para a/l

$$\frac{a}{l} = \frac{182.6}{803.3} = 0.227$$

$$P_{u,0.227} = 218.4 + (472.6 - 218.4)\ x \frac{0.227}{0.2} = 507.5\ kN$$

b) Para carga libre de borde:

- a/l = 0

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(M_p + M_n)}{2} + 2M_n$$

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(13.6 + 21.1)}{2} + 2(21.1) = 96.8\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{\pi(M_p + M_n) + 4M_n}{1 - \frac{2a}{3l}}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{\pi(13.6 + 21.1) + 4(21.1)}{1 - \frac{2(182.6)}{3(803.3)}} = 228.3\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$\frac{a}{l} = \frac{182.6}{803.3} = 0.227$$

$$P_{u,0.227} = 96.8 + (228.3 - 96.8)\ x \frac{0.227}{0.2} = 246.3\ kN$$

c) Carga en cuatro puntos

Para un grupo de cargas puntuales en cuatro puntos con separación entre líneas centrales de "x" e "y", la carga de falla total viene dada por el valor mínimo de los siguientes casos:

a) La carga interna producida en cuatro puntos
b) La suma de las cargas de falla en un solo punto.
c) La suma de las cargas de falla concentradas en dos puntos.

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P = (70.6 + 70.6 + 70.6 + 70.6)\ x\ 1.2 = 338.9\ kN$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Distancia entre centros de dos puntos de carga:

$$x = 1000 \text{ mm}$$

$$y = 1875 \text{ mm}$$

a) Para carga interna:

- a/l = 0

$$P_{u,0} = \left(2\pi + \frac{1.8(x+y)}{l}\right) . (M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = \left(2\pi + \frac{1.8 . (1000 + 1875)}{803.3}\right) . (13.6 + 21.1) = 442.4 \text{ kN}$$

- $a/l \geq 0.2$

$$P_{u,0.2} = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8(x+y)}{l - \frac{a}{2}}\right] . (M_p + M_n)$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi}{1 - \frac{129.76}{3x803.3}} + \frac{1.8 \text{ x } (1000 + 1875)}{862.8 - \frac{129.76}{2}} . (13.6 + 21.1) = 705.3 \text{ kN}$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.162} = 442.4 + (705.3 - 442.4) \text{ x} \frac{0.162}{0.2} = 654.7 \text{ kN}$$

Finalmente se toma el valor mínimo entre las 3 situaciones siguientes:

a) Carga para carga interna con la relación a/l

$$P_{u,0.162} = 654.7 \text{ kN}$$

b) 4 veces la capacidad de carga interna en un solo punto

$$P_{u,0.162} = 4 \text{ x } 414.9 = 1659.6 \text{ kN}$$

c) 2 veces la capacidad de carga interna en dos puntos

$$P_{u,0.162} = 2 \text{ x } 507.5 = 1015 \text{ kN}$$

Se toma el valor mínimo de las tres situaciones calculadas:

$$\min(624.2; 1582.2; 967.5) = 654.7 \text{ kN}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 139: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga*

Condición de carga	Ubicación de carga	Capacidad de tensión admisible (kN)	Carga máxima de diseño (kN)	Criterio de aceptación
Carga en un solo punto	Carga en el interior	414.9	84.7	Correcto
	Carga en el borde	193.9	84.7	Correcto
	Carga de esquina	89.5	84.7	Correcto
Carga en dos puntos	Carga en el interior	507.5	169.5	Correcto
	Carga en el borde	246.3	169.5	Correcto
Carga en cuatro puntos	Carga en el interior	654.7	338.9	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con fibras de acero, tal como se muestra en la tabla 139, determinándose que el espesor mínimo que satisface todas las condiciones de carga es de 200 mm, pudiendo optimizarse el espesor de losa en el interior, tal como se muestra en la tabla 140.

Tabla 140: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.*

Condición de carga	Ubicación de carga	Espesor de losa (mm)	Capacidad de tensión admisible (kN)	Carga máxima de diseño (kN)	Criterio de aceptación
Carga en un solo punto	Carga en el interior	150	263.6	84.7	Correcto
	Carga en el borde	190	179.3	84.7	Correcto
	Carga de esquina	200	89.5	84.7	Correcto
Carga en dos puntos	Carga en el interior	150	332.1	169.5	Correcto
	Carga en el borde	190	229.3	169.5	Correcto
Carga en cuatro puntos	Carga en el interior	150	437.4	338.9	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.5.3.2. Verificación de esfuerzos para carga dinámica

Para el cálculo de los esfuerzos requeridos en la losa producidos por una carga dinámica se requieren los siguientes datos de entrada:

- Espesor de losa asumido: 170 mm
- Coeficiente de poisson: 0.20
- Módulo de elasticidad del concreto: 33402 MPa
- Carga máxima P: 31970 N
- Factor de seguridad: 1.6
- Carga máxima amplificada $P_{amplificado}$: 51151 N
- Presión de contacto del neumático: 0.75 N/mm^2
- Módulo de reacción de la subrasante k: 0.041 N/mm^3
- Módulo de ruptura del concreto $\sigma_{ctd,fl}$: 4.53 MPa
- Esfuerzo residual de flexión $COMD_1$ a 0.5 mm para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D: 2.75 MPa
- Esfuerzo residual de flexión $COMD_4$ a 3.5 mm para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D: 2.70 MPa
- Factor de seguridad aplicado al concreto reforzado con fibras de acero γ_m: 1.43

De acuerdo con los datos de entrada se obtienen los siguientes datos necesarios para el cálculo:

- Radio equivalente del área de contacto del neumático: 147.34 mm
- Radio de rigidez relativa l: 767.8 mm
- Relación entre el radio equivalente del área de contacto y el radio de rigidez relativa (a/l): 0.192
- Esfuerzo residual $COMD_1$

$$\sigma_{r1} = 0.45 \text{ x } f_{R1} = 0.45 \text{ x } 2.75 = 1.24 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo residual $COMD_4$

$$\sigma_{r4} = 0.37 \text{ x } f_{R4} = 0.37 \text{ x } 2.70 = 1.00 \text{ MPa}$$

- Capacidad de momento positivo:

$$M_{up} = \frac{h^2}{\gamma_m} \text{x } (0.29 \text{ x } \sigma_{r4} + 0.16 \text{ x } \sigma_{r1})$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$M_{up} = \frac{\frac{170^2}{1.43} x\ (0.29\ x\ 1 + 0.16\ x\ 1.24)}{1000} = 9.9\ kN.\ m/m$$

- Capacidad de momento negativo:

$$M_{un} = \frac{f_{ctd,fl}}{\gamma_m}\left(\frac{h^2}{6}\right)$$

$$M_{un} = \frac{\frac{4.53}{1.43}\left(\frac{170^2}{6}\right)}{1000} = 15.3\ kN.\ m/m$$

Considerando que la carga dinámica pasa 50 veces al día a través de la junta y que lo hace a una velocidad de 15 km/hora, los coeficientes de ponderación aplicables a los esfuerzos máximos obtenidos, son:

- Coeficiente de ponderación para el tráfico: $\log(10 + \frac{50}{16}) = 1.12$
- Coeficiente de ponderación dinámica: $1 + \frac{0.3x15^2}{15^2+200} = 1.16$

a) Carga en un solo punto

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P^* = (32\ x\ 1.6\ x\ 1.12\ x\ 1.16) = 66.5\ kN$$

a) Para carga en el interior de la losa

- a/l = 0

$$P_{u,0} = 2.\pi.(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 2.\pi.(9.9 + 15.3) = 157.8\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(M_p + M_n)}{1 - \left(\frac{a}{3l}\right)}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi(9.9 + 15.3)}{1 - \left(\frac{147.34}{3x767.8}\right)} = 337.2\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.192} = 157.8 + (337.2 - 157.8)\ x\frac{0.192}{0.2} = 329.9\ kN$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Para carga libre de borde

- a/l = 0

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(M_p + M_n)}{2} + 2M_n$$

$$P_{u,0} = \frac{\pi.(9.9 + 15.3)}{2} + 2\ x15.3 = 70.0\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{\pi(M_p + M_n) + 4M_n}{1 - \frac{2a}{3l}}$$

$$P_{u,0.192} = \frac{\pi(9.9 + 15.3) + 4\ x\ 15.3}{1 - \frac{2\ x\ 147.34}{3\ x\ 767.8}} = 160.5\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.192} = 70.0 + (160.5 - 70.0)\ x\frac{0.192}{0.2} = 156.8\ kN$$

c) Para carga de esquina

- a/l = 0

$$P_{u,0} = 2M_n$$

$$P_{u,0} = 2\ x\ 15.3 = 30.5\ kN$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \frac{4M_n}{1 - \frac{a}{l}}$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\ x\ 15.3}{1 - \frac{147.34}{767.8}} = 75.5\ kN$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.192} = 30.5 + (75.5 - 30.5)\ x\frac{0.192}{0.2} = 73.7\ kN$$

b) Carga en dos puntos

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P = (32 + 32)\ x\ 1.6\ x\ 1.12\ x\ 1.16 = 132.9\ kN$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Distancia entre centros de dos puntos de carga

$$x_2 = 1060 \text{ mm}$$

La capacidad resistente del comportamiento combinado debe determinarse a partir de las siguientes ecuaciones:

a) Para carga en el interior de la losa:

- a/l = 0

$$P_u = \left(2\pi + \left(\frac{1.8x}{l}\right)\right).(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = \left(2\pi + \left(\frac{1.8(1060)}{767.8}\right)\right).(9.9 + 15.3) = 220.2 \text{ kN}$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_u = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8x}{l - \frac{a}{2}}\right](M_p + M_n)$$

$$P_u = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{147.3}{3(767.8)}} + \frac{1.8(1060)}{767.8 - \frac{147.3}{2}}\right](9.9 + 15.3) = 406.2 \text{ kN}$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.192} = 220.2 + (406.2 - 220.2)\, x \frac{0.192}{0.2} = 398.7 \text{ kN}$$

b) Para carga libre de borde:

Acorde al documento técnico N° 34 TR-34 publicado por la sociedad del concreto del reino unido (Concrete Society), cuando cargas duales se encuentran cerca al borde, la capacidad de carga interna puede ser factorizada por la relación entre la capacidad de carga interna y borde para una carga en un solo punto.

- Capacidad de carga interna para carga aplicada en un solo punto: 329.9 kN
- Capacidad de carga en borde libre para carga aplicada en un solo punto: 156.8 kN

  Factor multiplicador: 156.8/329.9 = 0.48
- Capacidad de carga en dos puntos para carga libre de borde:

$$398.7 \text{ x } 0.48 = 189.5 \text{ kN}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) Carga en cuatro puntos

Para un grupo de cargas puntuales en cuatro puntos con separación entre líneas centrales de "x" e "y", la carga de falla total viene dada por el valor mínimo de los siguientes casos:

a) La carga interna producida en cuatro puntos
b) La suma de las cargas de falla en un solo punto.
c) La suma de las cargas de falla concentradas en dos puntos.

Carga en el punto de diseño ultimo:

$$P = (32 + 32 + 4.5 + 4.5)\ \text{x}\ 1.6\ \text{x}\ 1.12\ \text{x}\ 1.16 = 151.7\ \text{kN}$$

Distancia entre centros de dos puntos de carga:

$$x = 2723\ \text{mm}$$
$$y = 1060\ \text{mm}$$

b) Para carga interna:

- a/l = 0

$$P_{u,0} = \left(2\pi + \frac{1.8(x+y)}{l}\right).(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = \left(2\pi + \frac{1.8\,.\,(2723 + 1060)}{867.3}\right).(9.9 + 15.3) = 380.6\ \text{kN}$$

- a/l ≥ 0.2

$$P_{u,0.2} = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8(x+y)}{l - \frac{a}{2}}\right].(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0.2} = \frac{4\pi}{1 - \frac{147.34}{3x767.8}} + \frac{1.8\ \text{x}\ (2723 + 1060)}{767.8 - \frac{147.34}{2}}.(9.9 + 15.3) = 583.6\ \text{kN}$$

- Interpolación para a/l

$$P_{u,0.192} = 380.6 + (583.6 - 380.6)\ \text{x}\frac{0.192}{0.2} = 575.4\ \text{kN}$$

Finalmente se toma el valor mínimo entre las 3 situaciones siguientes:

a) Carga para carga interna con la relación a/l

$$P_{u,0.192} = 575.4\ \text{kN}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) 4 veces la capacidad de carga interna en un solo punto

$$P_{u,0.192} = 4 \text{ x } 329.9 = 1319.6 \text{ kN}$$

c) 2 veces la capacidad de carga interna en dos puntos

$$P_{u,0.192} = 2 \text{ x } 398.7 = 797.4 \text{ kN}$$

Se toma el valor mínimo de las tres situaciones calculadas:

$$\min(575.4; 1319.6; 797.4) = 575.4 \text{ kN}$$

Tabla 141: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga dinámica en distintas ubicaciones de carga*

Condición de carga	Ubicación de carga	Capacidad de tensión admisible (kN)	Carga máxima de diseño (kN)	Criterio de aceptación
Carga en un solo punto	Carga en el interior	329.9	86.5	Correcto
	Carga en el borde	156.8	86.5	Correcto
	Carga de esquina	73.7	86.5	Correcto
Carga en dos puntos	Carga en el interior	398.7	132.9	Correcto
	Carga en el borde	189.5	132.9	Correcto
Carga en cuatro puntos	Carga en el interior	575.4	151.7	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con fibras de acero, tal como se muestra en la tabla 141, determinándose que el espesor mínimo que satisface todas las condiciones de carga es de 170 mm, pudiendo optimizarse el espesor de losa en el interior y borde, tal como se muestra en la tabla 142.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 142: *Verificación de esfuerzos actuantes máximos producidos por la carga puntual en distintas ubicaciones de carga optimizando el espesor de losa.*

Condición de carga	Ubicación de carga	Espesor de losa (mm)	Capacidad de tensión admisible (kN)	Carga máxima de diseño (kN)	Criterio de aceptación
Carga en un solo punto	Carga en el interior	150	271.9	66.5	Correcto
	Carga en el borde	150	130.7	66.5	Correcto
	Carga de esquina	170	73.7	66.5	Correcto
Carga en dos puntos	Carga en el interior	150	331.9	132.9	Correcto
	Carga en el borde	150	159.5	132.9	Correcto
Carga en cuatro puntos	Carga en el interior	150	486.1	151.7	Correcto

Fuente: Elaboración propia

5.5.4 PCA (Portland Cement Association)

El cálculo del espesor del pavimento utilizando el método propuesto por la PCA, asume un espesor de losa de prueba, por iteración, del espesor mínimo de la losa requerido. Si el espesor de diseño difiere sustancialmente del valor asumido, el proceso se repite hasta que se obtenga una diferencia mínima.

Este método gráfico, basado en el análisis de Westergaard, asume un valor constante del módulo de reacción de soporte, un coeficiente de poisson de 0.15 y un módulo de elasticidad del concreto de 28000 MPa considerando sólo cargas interiores.

5.5.4.1. Verificación de esfuerzos para carga estática

Para llevar a cabo el dimensionamiento de un pavimento que debe soportar las cargas transmitidas por los apoyos de las estanterías, es necesario conocer el valor de los siguientes datos:

- Propiedades de los materiales y sitio
  - Resistencia a la compresión del concreto f'c: 280 kg/cm2
  - Módulo de reacción de la subrasante k: 152.82 lb/pulg^3
  - Módulo de ruptura del concreto: 657.02 psi

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Especificaciones de la estantería
  - Carga del bastidor de la estantería: 15.87 kips
  - Área de contacto de la placa para cada apoyo: 82 pulg^2
  - Espaciamiento de bastidores en la dirección Y: 59 pulg.
  - Espaciamiento de bastidores en la dirección X: 39 pulg.
- Factor de seguridad: 1.43

El procedimiento de cálculo consiste en lo siguiente:

a) Se elige el ábaco correspondiente al valor del módulo de reacción del soporte de la subrasante. Para el proyecto de aplicación, el módulo de reacción K de la subrasante es de 152.82 pci por lo que se debe interpolar entre el valor obtenido utilizando el ábaco de 100 pci y 200 pci.

b) A continuación, se ingresa al ábaco con la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras de carga del pilar.

La tensión admisible se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Tension admisible: } \frac{657.02 \text{ psi}}{1.43} = 459.45 \text{ psi}$$

Y la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras de carga del pilar, se obtiene dividiendo el valor resultante de la tensión admisible por la carga, en kN, de la carga del pilar.

$$\text{Esfuerzo por tension por cada 1000 libras de carga del pilar: } \frac{459.45 \text{ psi}}{15.87 \text{ kips}} = 29$$

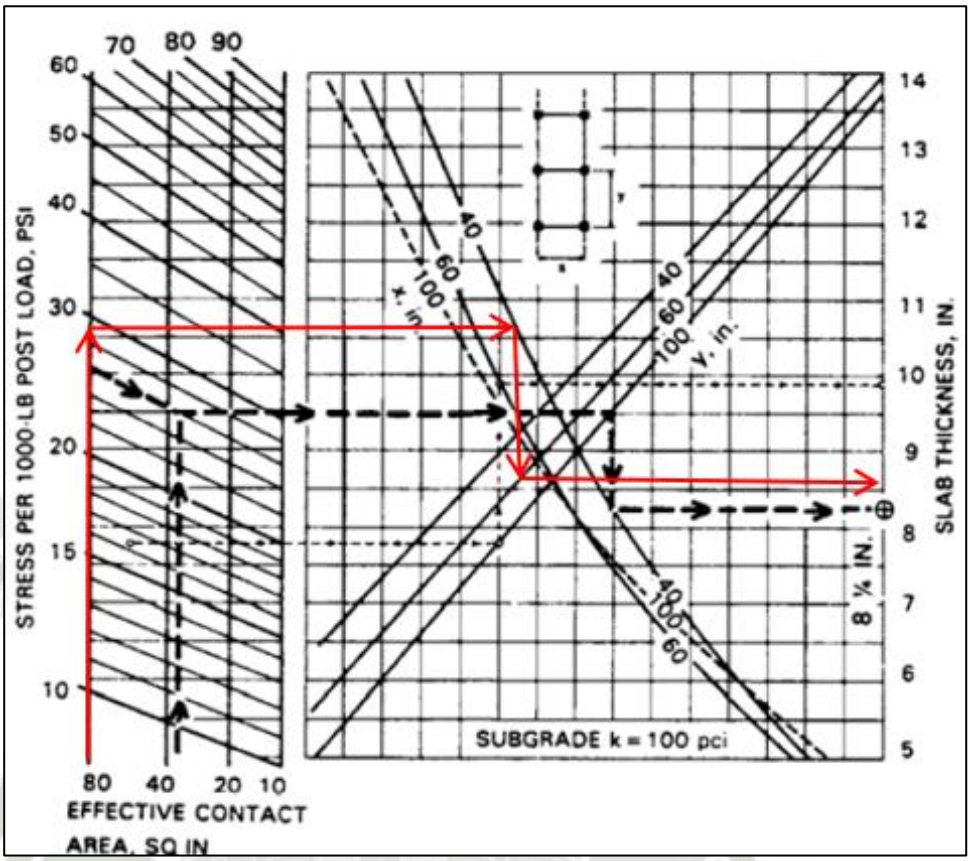
c) Se entra al nomograma con el dato del área efectiva de contacto y se intercepta con el esfuerzo por tensión por cada 1000 libras de carga del pilar, luego se proyecta una línea horizontal que intercepte la disposición de los apoyos en la dirección Y, después se proyecta una línea vertical que intercepte la disposición de los apoyos en la dirección X. Finalmente se determina el espesor necesario del pavimento de concreto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 94: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas puntuales con un coeficiente de balasto K de 100 pci.*

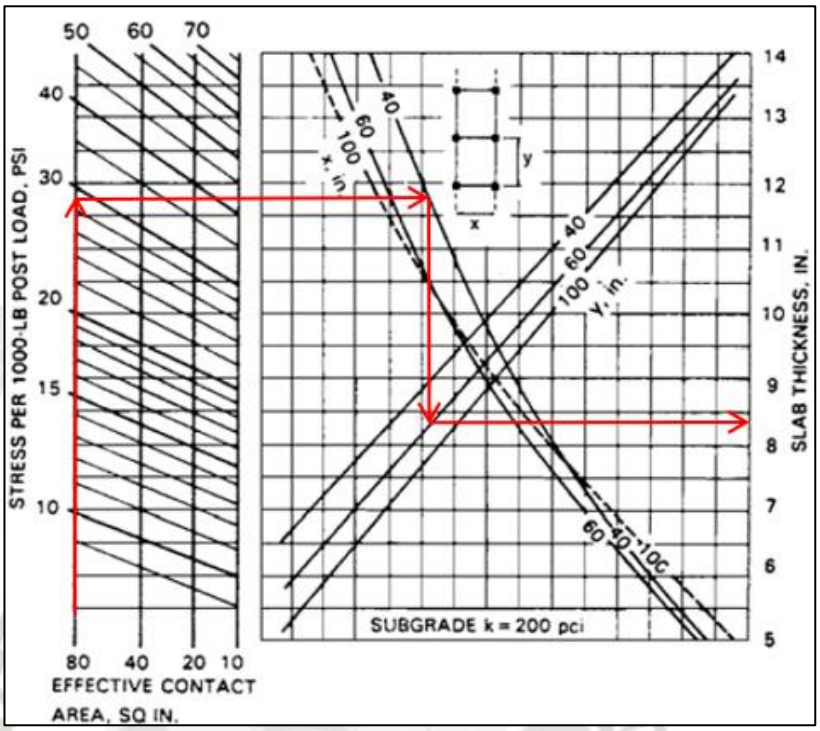


Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

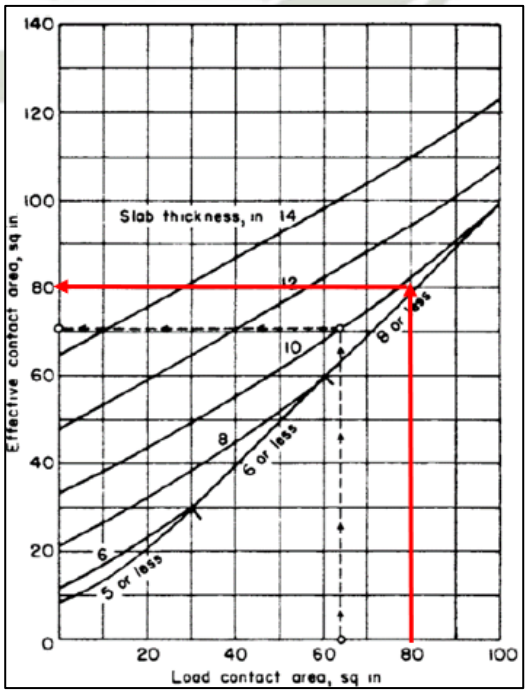
Figura 95: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas puntuales con un coeficiente de balasto K de 200 pci.*



Fuente: Elaboración propia

d) Se verifica el área de contacto efectiva en función al área de contacto de la placa de apoyo y el espesor de losa obtenido.

Figura 96: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva correspondiente a la placa de apoyo de la estantería.*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e) De acuerdo con la figura 96, se verifica que los espesores obtenidos con los ábacos de la figura 94 y 95 son válidos, ya que no se presenta una variación significativa entre el área de contacto efectiva asumida. El espesor obtenido utilizando el ábaco correspondiente a una capacidad de soporte de subrasante de 100 pci y 200 pci es de 8.6 pulgadas y 8.4 pulgadas respectivamente. Finalmente, para el proyecto de aplicación cuyo módulo de reacción K de la subrasante es de 152.82 pci se obtiene un valor de 8.5 pulgadas por interpolación.

5.5.4.2. Verificación de esfuerzos para carga dinámica

Para llevar a cabo el dimensionamiento de un pavimento que debe soportar las cargas transmitidas por el paso de los montacargas, es necesario conocer el valor de los siguientes datos:

- Propiedades de los materiales y sitio
  - Resistencia a la compresión del concreto f'c: 280 kg/cm2
  - Módulo de reacción de la subrasante: 152.82 lb/pulg^3.
  - Módulo de ruptura del concreto: 657.02 psi
- Especificaciones de la rueda
  - Tipo de eje: Eje simple
  - Numero de llantas por cada eje: Rueda simple
  - Espaciamiento entre los neumáticos del eje delantero: 42 pulg
- Detalles de carga
  - Carga de eje simple: 14.37 kips
  - Área de contacto de carga: 46 pulg^2.
  - Factor de seguridad: 1.43

El procedimiento de cálculo consiste en lo siguiente:

a) En primer lugar, se elige el ábaco correspondiente a las características del vehículo de diseño.

b) A continuación, se ingresa al ábaco con la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras de carga del eje.

   La tensión admisible se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Tension admisible: } \frac{657.02 \text{ psi}}{1.43} = 459 \text{ psi}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Y la tensión admisible de trabajo por cada 1000 libras de carga del eje, se obtiene dividiendo el valor resultante de la tensión admisible por la carga, en kN, del eje del vehículo.

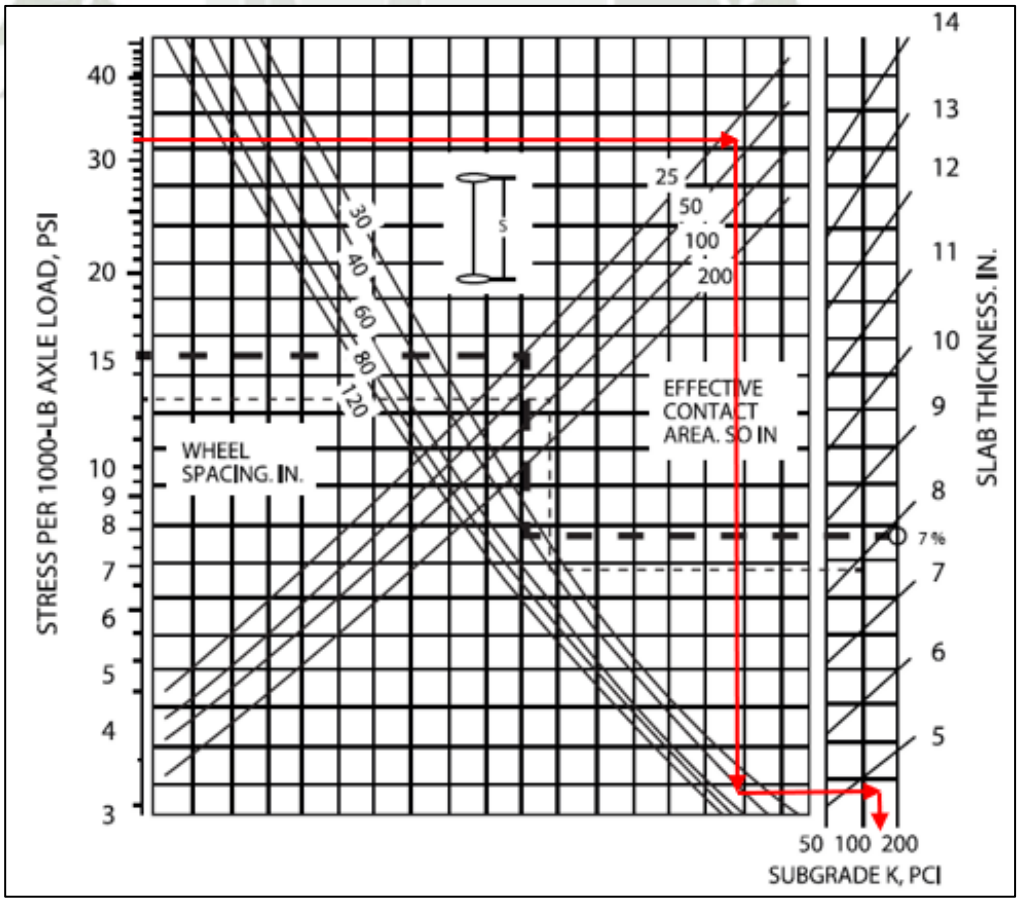
$$\text{Esfuerzo por tension por cada 1000 libras de carga del eje: } \frac{459 \text{ psi}}{14.37 \text{ kips}} = 32$$

c) Se determina el área de contacto efectiva multiplicando el radio del neumático por el ancho del neumático (vista frontal):

$$\text{Area de contacto efectiva} = 116.4 \text{ mm x } 254 \text{ mm} = 29577 \text{ mm}^2 = 46 \text{ pulg}^2$$

d) Se entra al nomograma con el esfuerzo por tensión por cada 1000 libras de carga del eje, luego se proyecta una línea horizontal que intercepte el área de contacto efectiva, después se proyecta una línea vertical que intercepte el espacio entre ruedas del eje, finalmente se proyecta una línea horizontal que intercepte el módulo de reacción de la subrasante del proyecto para determinar el espesor necesario del pavimento de concreto.

Figura 97: *Determinación del espesor de losa utilizando el ábaco de diseño según la PCA para cargas dinámicas utilizando ejes con ruedas simples.*



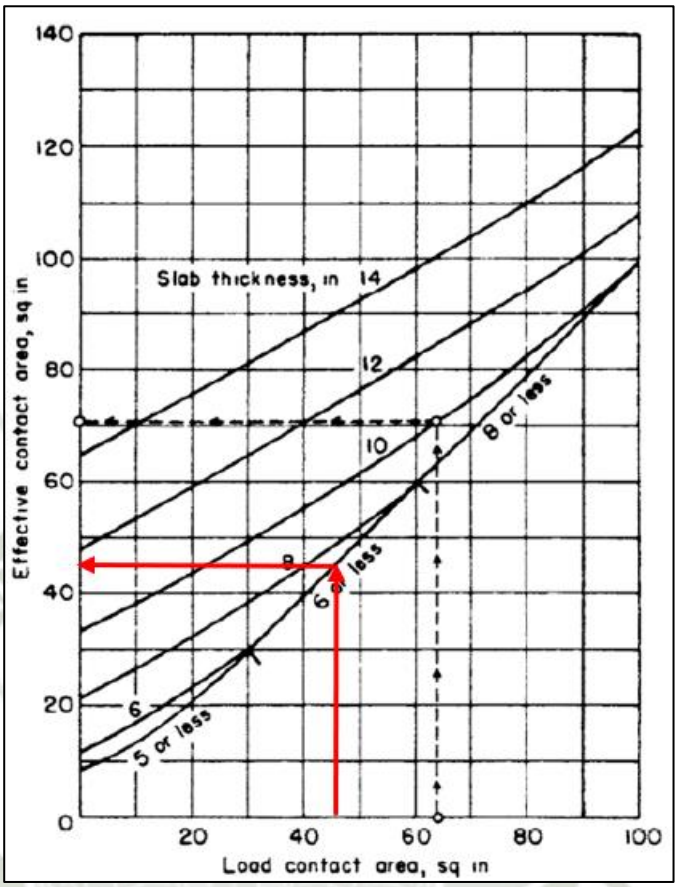
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 98: *Relación entre el área de contacto de carga y área de contacto de carga efectiva correspondiente a la rueda del vehículo de diseño.*



Fuente: Elaboración propia

e) De acuerdo con la figura 98, se verifica que el espesor obtenido con el ábaco de la figura 97 es válido, al no presentar una variación significativa entre el área de contacto efectiva determinada y el área de contacto efectiva corregido con el ábaco propuesto por la metodología, para el espesor de losa obtenido de 6 pulgadas.

5.5.5 WRI (Wire Reinforcement Association)

Para llevar a cabo el dimensionamiento de un pavimento que debe soportar las cargas transmitidas por el paso de los montacargas considerando sólo cargas interiores, es necesario conocer el valor de los siguientes datos de entrada:

- Propiedades de los materiales y sitio
  - Resistencia a la compresión del concreto f'c: 280 kg/cm2
  - Módulo de reacción de la subrasante: 152.82 lb/pulg^3.
  - Módulo de ruptura del concreto: 657.02 psi

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Módulo de elasticidad del concreto: 48445519 psi

- Especificaciones de la rueda
  - Tipo de eje: Eje simple
  - Numero de llantas por cada eje: Rueda simple
  - Espaciamiento entre los neumáticos del eje delantero: 42 pulg

- Detalles de carga
  - Carga de eje simple: 14.37 kips
  - Carga en la rueda: 7.185 kips
  - Área de contacto del neumático: 46 pulg^2.
  - Factor de seguridad: 1.43

El procedimiento de cálculo consiste en lo siguiente:

a) Determinar el diámetro del círculo equivalente:

$$\sqrt{\frac{\text{Area de contacto del neumatico x 4}}{\pi}} = \sqrt{\frac{46 \text{ x } 4}{\pi}} = 8 \text{ pulg}$$

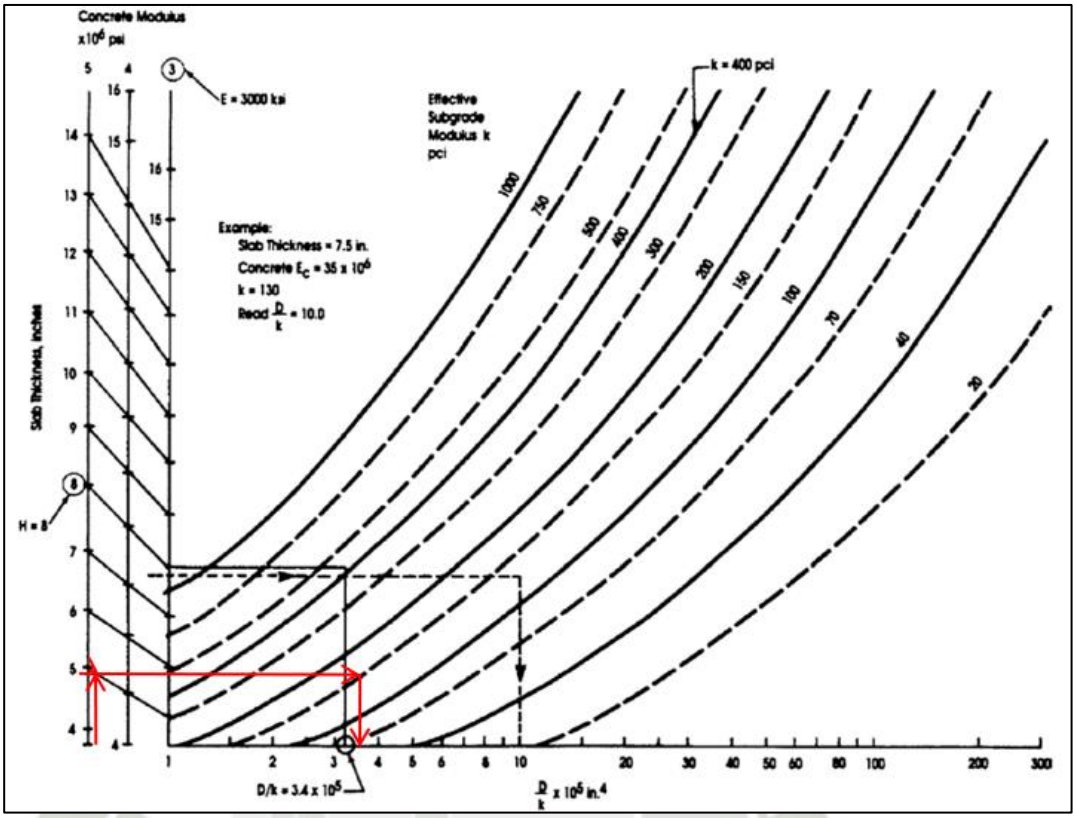
b) Asumir un espesor de losa inicial para empezar la iteración. Para este proyecto de aplicación se asume un espesor de losa inicial de 5 pulgadas.

c) Se entra al nomograma de la figura 98 con el espesor de losa inicial considerado y el módulo de elasticidad del concreto, a partir de su intersección se proyecta una línea horizontal que intercepte el módulo de reacción de la subrasante y se proyecta una línea vertical, la cual determina el radio de rigidez relativa $\frac{D}{k}x10^5$ necesaria para hacer uso del nomograma.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 99: *Abaco para la obtención del radio de rigidez relativa D/k utilizada por el método WRI*



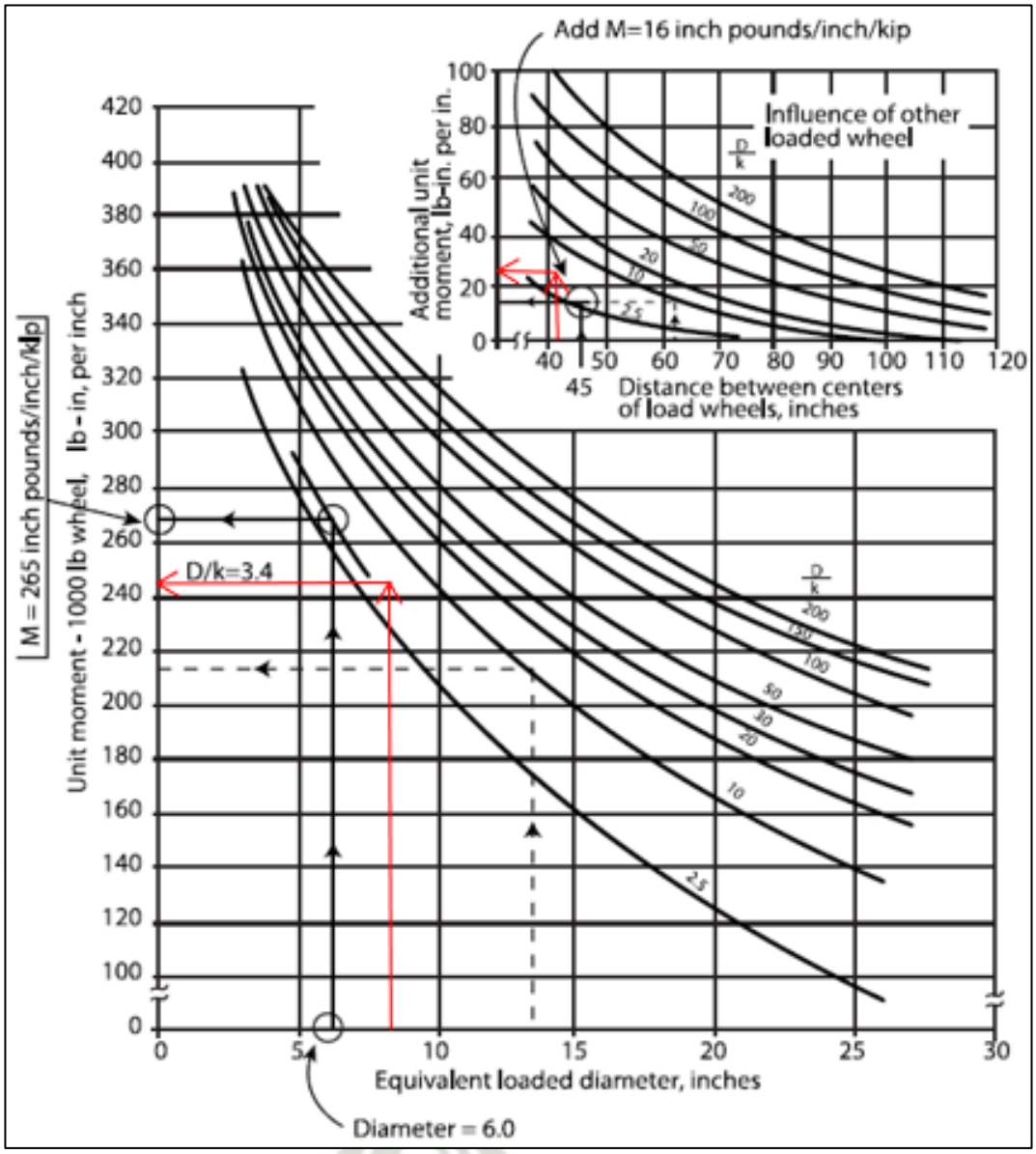
Fuente: Elaboración propia

d) Conocido el radio de rigidez relativa se hace uso del nomograma de la figura 100. En él se entra con el diámetro del círculo equivalente y se proyecta una línea vertical hasta interceptarla con el radio de rigidez relativa, luego se proyecta una línea horizontal hacia el eje de las ordenadas en el cual se obtendrá el momento de flexión por cada 1000 lb de carga del eje del vehículo de diseño. Finalmente se hace uso del pequeño nomograma que se encuentra en la parte superior derecha. Entrando con el valor del espacio entre ruedas y el radio de rigidez relativa para obtener el momento de flexión adicional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 100: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI*



Fuente: Elaboración propia

e) De acuerdo con el nomograma de la figura 100, el momento flector producido es de 244 pulg-lb/pulg y el momento flector adicional es de 24 pulg-lb/pulg, teniendo un momento flector total de 268 pulg-lb/pulg.

f) Finalmente, se utiliza el ábaco de la figura 101. En él se entra con el momento de diseño y se intercepta con la tensión admisible del concreto para determinar el espesor mínimo necesario.

El momento de diseño se determina multiplicando el momento de flexión total en la losa por la carga en la rueda del vehículo de diseño.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

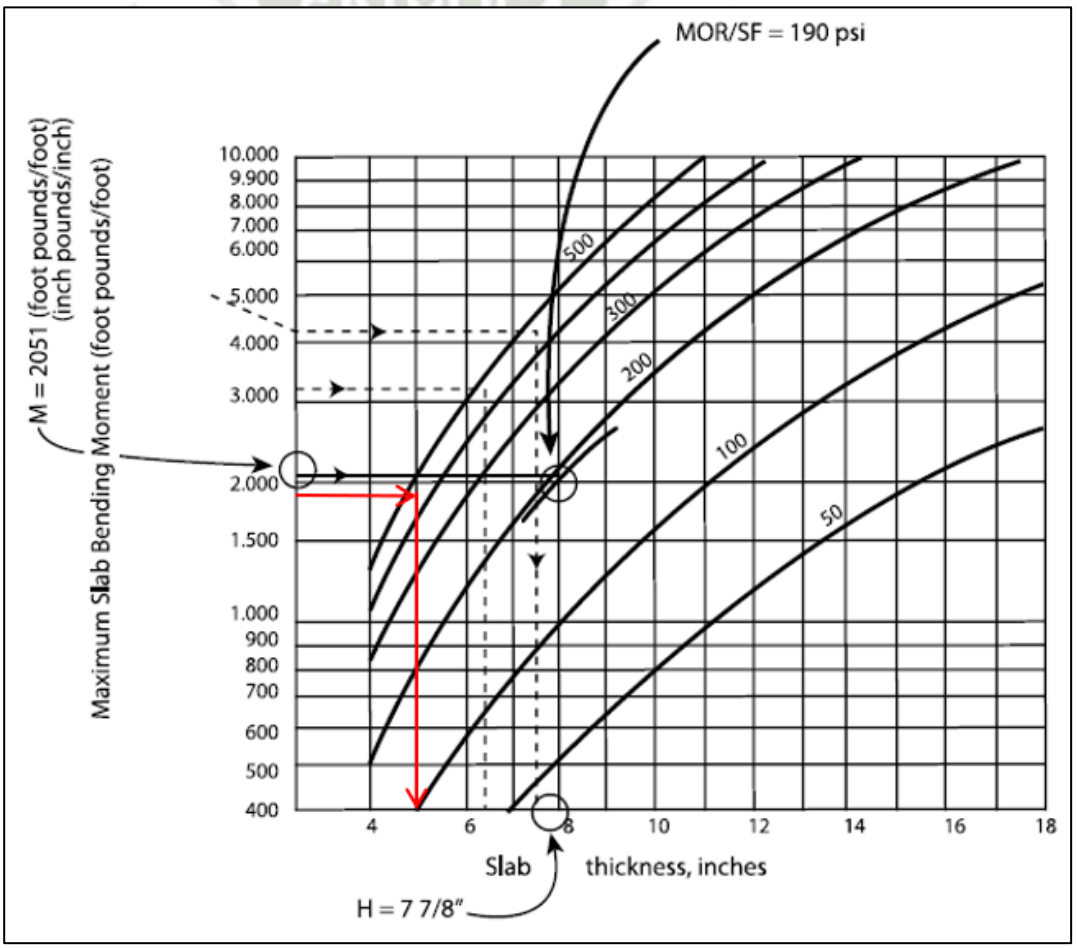
268 x 7.185 = 1926 pulg-lb/pulg

La tensión admisible se determina dividiendo el módulo de rotura del concreto entre el factor de seguridad adoptado.

$$\text{Tension admisible: } \frac{657.02 \text{ psi}}{1.43} = 459 \text{ psi}$$

Se verifica que el espesor inicial asumido presenta una variación mínima respecto al valor determinado en el ábaco de la figura 99, por lo que se concluye que el espesor de losa mínimo requerido por la metodología es de 6 pulgadas.

Figura 101: *Abaco de diseño para carga de rueda utilizada por el método WRI*



Fuente: Elaboración propia

5.5.6 COE (Corp of Engineers)

El método proporcionado por el cuerpo de ingenieros de Estados Unidos pone a disposición dos ábacos de dimensionamiento, el primero para montacargas livianos y el segundo para montacargas pesados, considerando la ubicación de la carga en el borde y esquina de la losa. Para el vehículo de diseño, aplica el caso de carga de la rueda de vehículo liviano y para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

llevar a cabo el dimensionamiento, es necesario conocer el valor de los siguientes datos de entrada:

- Propiedades de los materiales y sitio
  - Resistencia a la compresión del concreto f'c: 280 kg/cm2
  - Módulo de reacción de la subrasante: 152.82 lb/pulg^3.
  - Módulo de ruptura del concreto: 657.02 psi
  - Módulo de elasticidad del concreto asumido por el método: 4000 ksi
- Especificaciones de la rueda
  - Tipo de eje: Eje simple
  - Numero de llantas por cada eje: Rueda simple
  - Espaciamiento entre los neumáticos del eje delantero: 42 pulg
- Detalles de carga
  - Ubicación de la carga: Borde y esquina
  - Tipo de carga: Carga en la rueda de vehículo
  - Carga de eje simple: 14.37 kips
  - Carga en la rueda: 7.185 kips
  - Área de contacto de carga: 46 pulg^2.
  - Factor de impacto: 25%
  - Factor de seguridad adoptado por el método: 2
  - Coeficiente de transferencia de junta: 0.75

El procedimiento de cálculo consiste en lo siguiente:

- Determinar el índice de diseño correspondiente al montacargas de diseño, utilizando la tabla 143. De acuerdo con las características del montacargas, el índice de diseño correspondiente es la categoría II.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 143: *Categoría de índice de diseño utilizado con el método COE para la selección del espesor de la losa*

Categoría	I	II	III	IV	V	VI
Capacidad, lb	4000	6000	10000	16000	20000	52000
Carga por eje de diseño, lb	10000	15000	25000	36000	43000	120000
N° de neumáticos	4	4	6	6	6	6
Tipo de neumáticos	Solido	Solido	Neumático	Neumático	Neumático	Neumático
Área de contacto del neumático, $pulg^2$	27	36.1	62.5	100	119	316
Presión efectiva de contacto, psi	125	208	100	90	90	95
Ancho del neumático, pulg.	6	7	8	9	6	16
Espaciamiento entre ruedas, pulg.	31	33	11.42.11	13.58.13	13.58.13	20.79.20
Ancho del pasillo, pulg.	90	90	132	144	144	192
Espaciamiento entre neumáticos de ruedas dobles, pulg	-	-	3	4	4	4

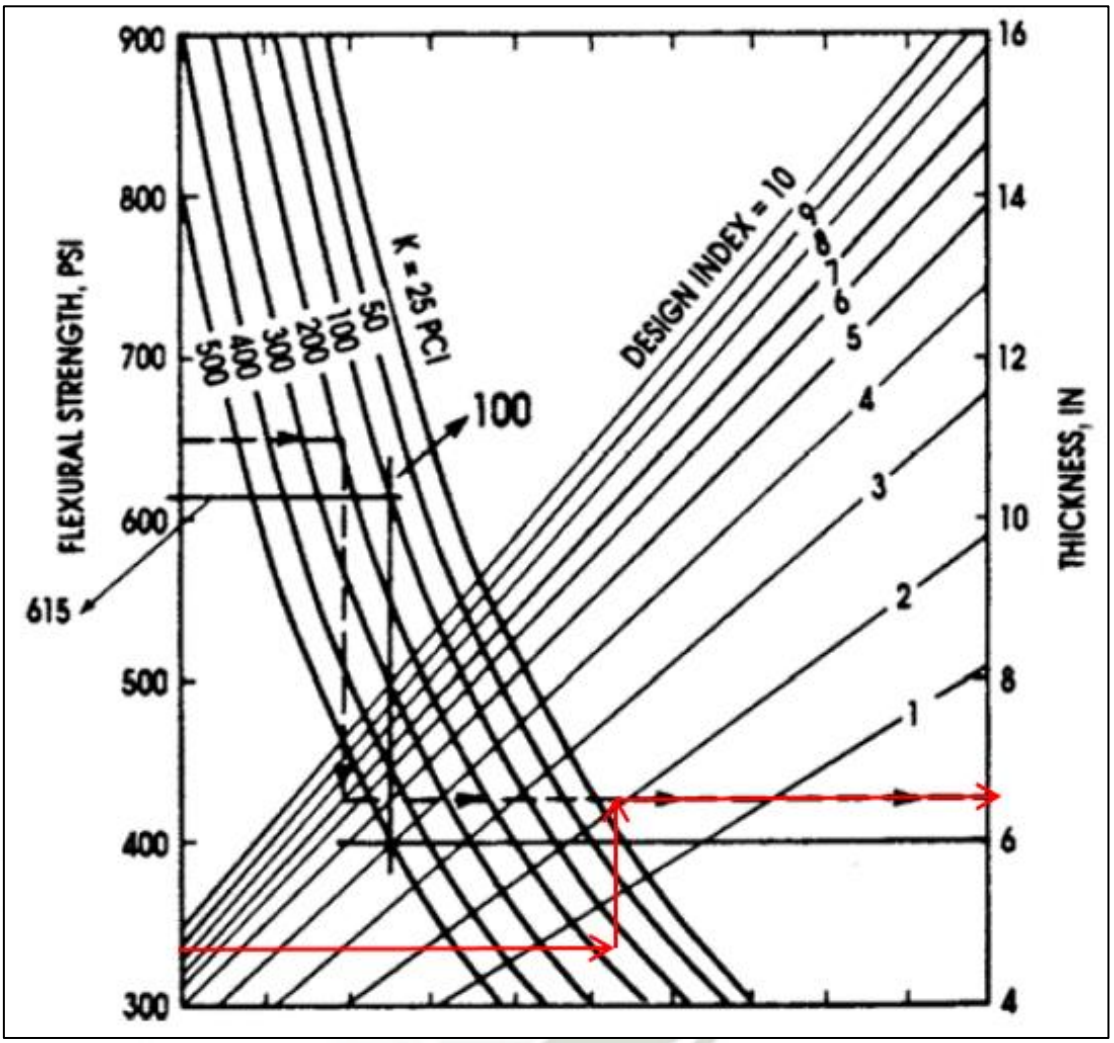
Nota. Reproducido de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010*

- Determinada la categoría del índice de diseño se hace uso del nomograma de la figura 102. En él se entra con la resistencia a la tracción por flexión del concreto, se intercepta con una recta horizontal hasta encontrar la constante de balasto K para luego trazar una recta vertical hasta encontrar el índice de diseño. Finalmente, se traza una recta horizontal y se determina el espesor mínimo necesario de la losa, el cual es de 6.5 pulgadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 102: *Abaco de diseño del COE para determinar el espesor del pavimento de concreto según el índice de diseño.*



Fuente: Elaboración propia

5.6. DISEÑO DE JUNTAS

Las juntas pueden diseñarse siguiendo las recomendaciones de distintas instituciones de acuerdo con el espesor de la losa o de manera analítica.

5.6.1 Juntas de aislación

En el contorno de los pedestales se colocará poliestireno expandido de 1 pulgada de espesor la cual se colocará paralelamente a la cara del elemento vertical con el propósito de aislar la losa de otros elementos estructurales. De igual manera, se reforzarán con barras de acero los pedestales aislados que no tengan encuentro con alguna junta de contracción o dilatación, garantizando una cuantía mayor al 0.1% y ubicándolos en la parte superior de la losa (5 cm por debajo de la superficie) con el propósito de controlar las fisuras que se pudiese producir

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por el movimiento de los elementos estructurales adyacentes, creando así un punto de aumento de tensiones y debilitando la losa.

Para determinar la cantidad de refuerzo por temperatura se calcula cantidad de refuerzo requerida por unidad de ancho o largo de la losa (As) la cual está definida por la siguiente expresión:

$$A_S = \frac{\gamma_C . h . L . f_a}{2 . f_s}$$

Donde:

A_s = Área de acero, cm^2/m

γ_c = Peso específico del concreto, 24000 N/m^3.

h = Espesor de la losa, m.

L = Longitud de la losa, m.

f_a = Factor de fricción, 2.

f_s = Esfuerzo resistente del acero, 414 N/mm^2.

Armadura requerida en el sentido longitudinal:

$$A_S = \frac{24000 \text{ x } 0.15 \text{ x } 50 \text{ x } 2}{2 \text{ x } 414 \text{ x } 10^6} = 0.00043 \ {}^{m^2}/_{m} = 4.35 \ {}^{cm^2}/_{m}$$

Armadura requerida en el sentido transversal:

$$A_S = \frac{24000 \text{ x } 0.15 \text{ x } 20 \text{ x } 2}{2 \text{ x } 414 \text{ x } 10^6} = 0.00017 \ {}^{m^2}/_{m} = 1.74 \ {}^{cm^2}/_{m}$$

El espaciamiento requerido en el sentido más crítico es:

$$S = \frac{A_{s,utilizado} \ (Ø \ 8mm)}{A_{s,requerida}} \text{x } 100 = \frac{0.50}{4.35} \text{x } 100 = 11.50 \text{ cm}$$

La cuantía de acero de refuerzo por temperatura es:

$$\rho = \frac{A_{s,utilizado} \ (Ø \ 8mm)}{b \text{ x } d} \text{x } 100 = \frac{6 \text{ x } 0.5}{100 \text{ x } 15} \text{x } 100 = 0.20 \ \%$$

Para que el acero de refuerzo por temperatura sea efectivo, no debe disponerse cuantías inferiores al 0.1%. ((Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2000)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.6.2 Juntas de construcción

Área de acero necesaria para el interior de la losa (h = 0.15 m.)

$$A_s = \frac{b \text{ x } f \text{ x } \gamma_c \text{ x } h}{100 \text{ x } S} = \frac{10 \text{ x } 2 \text{ x } 24000 \text{ x } 0.15}{100 \text{ x } \left(\frac{2}{3} \text{ x } 250\right)} = 4.32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

El diámetro de acero necesario para satisfacer la demanda de acero necesaria es de 25 mm (1") cuya área de acero es de 5.00 cm^2.

Área de acero necesaria para el borde de la losa (h = 0.20 m.)

$$A_s = \frac{b \text{ x } f \text{ x } \gamma_c \text{ x } h}{100 \text{ x } S} = \frac{10 \text{ x } 2 \text{ x } 24000 \text{ x } 0.20}{100 \text{ x } \left(\frac{2}{3} \text{ x } 250\right)} = 5.76 \text{ cm}^2/\text{m}$$

El diámetro de acero necesario para satisfacer la demanda de acero necesaria es de 32 mm (1 1/4") cuya área de acero es de 8.00 cm^2.

Donde:

A_s = Área de acero, cm^2/m

b = Distancia entre la junta considerada y la junta al borde libre más próximo, 10 m.

f = Coeficiente de resistencia entre la placa y la subrasante o sub base, 2.

γ_c = Peso específico del concreto, 24000 N/m^3.

h = Espesor de la placa de concreto.

S = Tensión admisible del acero, 2/3 de tensión de fluencia (250 MPa).

$$l = \frac{1}{2} x \frac{S \text{ x } d}{\tau} + 7.5 = \frac{1}{2} x \frac{166.67 \text{ x } 2.5}{2.45} + 7.5 = 92.5 \text{ cm}$$

Donde:

l = Longitud de la barra de construcción, cm.

d = Diámetro de la barra de construcción, cm.

τ = Tensión de adherencia entre el acero y el concreto, 2.45 MPa.

5.6.3 Juntas de dilatación

El diseño de juntas de dilatación se refiere al proceso de expansión térmica al cual está sujeto la losa debido al cambio de temperatura durante el día. Para tales efectos se considera que en Arequipa hay un cambio diario de temperatura promedio de 15 °C (ΔT) ya que se pueden presentar temperaturas mínimas de alrededor de 10 °C hasta máximas de 25 °C. Asimismo,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

se considera un coeficiente de expansión térmica del concreto (α) de 9.3 x 10^{-6} mm/m °C y que las juntas de dilatación tendrán una dimensión de 20 mm (ΔL).

Se utiliza la siguiente expresión para determinar la separación máxima entre juntas:

$$L = \frac{\Delta L}{\Delta T.\,\alpha} = \frac{20 \text{ x } 10^{-3}}{15 \text{ x } 9.3 \text{ x } 10^{-6}} = 86 \text{ m}$$

5.6.4 Juntas de contracción

Se realiza el predimensionamiento mediante un cálculo analítico, utilizando un pasador de acero liso A36 de sección circular, cuyo esfuerzo de fluencia es de 250 MPa y esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 400 a 550 MPa.

a) Área de acero necesaria para el interior de la losa (h = 0.15 m.)

$$A_s = \frac{b \text{ x } f \text{ x } \gamma_c \text{ x } h}{100 \text{ x } S} = \frac{10 \text{ x } 2 \text{ x } 23000 \text{ x } 0.15}{100 \text{ x } \left(\frac{2}{3} \text{ x } 250\right)} = 4.14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

El diámetro de acero necesario para satisfacer la demanda de acero necesaria es de 25 mm (1") cuya área de acero es de 5.00 cm^2.

b) Área de acero necesaria para el borde de la losa (h = 0.20 m.)

$$A_s = \frac{b \text{ x } f \text{ x } \gamma_c \text{ x } h}{100 \text{ x } S} = \frac{10 \text{ x } 2 \text{ x } 23000 \text{ x } 0.2}{100 \text{ x } \left(\frac{2}{3} \text{ x } 250\right)} = 5.52 \text{ cm}^2/\text{m}$$

El diámetro de acero necesario para satisfacer la demanda de acero necesaria es de 32 mm (1 1/4") cuya área de acero es de 8.00 cm^2.

Donde:

A_s = Área de acero, cm^2/m

b = Distancia entre la junta considerada y la junta al borde libre más próximo, 10 m.

f = Coeficiente de resistencia entre la placa y la subrasante o sub-base. 2.

γ_c = Peso específico del concreto, 23000 N/m^3.

h = Espesor de la placa de concreto, 0.15 m. para interior y 0.20 m. para borde.

S = Tensión admisible del acero, 2/3 de tensión de fluencia (250 MPa).

Luego de seleccionar el diámetro del pasador, se procede a verificar si el pasador más solicitado en una determinada sección será capaz de tomar la carga de diseño. Para esto, el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

pasador debe verificar simultáneamente los esfuerzos individuales de corte, flexión y aplastamiento, pero también los combinados de corte y flexión. (Becker & Chaix, 2019)

5.6.4.1. Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento

Realizados los distintos métodos de dimensionamiento, se determinó optar por un espesor de losa en el interior de 150 mm y en el borde de 200 mm.

1. <u>Interior de la losa:</u>

- Espesor de losa (h): 150 mm
- Carga en el punto de diseño ultimo: 70.607 kN
- Resistencia a la compresión del concreto f_{ck}: 28 MPa.
- Ancho de apoyo: 230 mm
- Relación entre el área de contacto y el radio de rigidez relativa: 0.2
- Cálculo del esfuerzo cortante máximo para una resistencia a la compresión del concreto de 28 MPa:

$$v_{max} = 0.5 k_2 f_{cd}$$

$$v_{max} = 0.5 \text{ x } \left(0.6 \text{ x } \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)\right) \text{x} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$v_{max} = 0.5 \text{ x } \left(0.6 \text{ x } \left(1 - \frac{28}{250}\right)\right) \text{x} \frac{28}{1.5} = 5 \text{ Mpa}$$

- Cálculo del espesor efectivo de la losa:

$$d^* = 0.75 \text{ x } 150 = 112.5 \text{ mm}$$

Con los datos se entrada se determina la capacidad de carga de corte sin refuerzo para la carga en el interior de la losa:

- Longitud del perímetro cargado

u_0: 230 x 4 = 920 mm

- Máxima capacidad de carga de corte

$$P_{p,max} = v_{max} u_o d^*$$

$$P_{p,max} = 5 \text{ x } 920 \text{ x } 112.5 \text{ x } 10^{-3} = 517.5 \text{ kN}$$

- Esfuerzo cortante mínimo del concreto sin refuerzo

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 {k_s}^{1.5} {f_{ck}}^{0.5}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$k_s = \min\left(1 + \left(\frac{200}{d^*}\right)^{0.5}; 2\right)$$

$$k_s = \min\left(1 + \left(\frac{200}{112.5}\right)^{0.5}; 2\right) = \min(2.33; 2)$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.035 \text{ x } 2^{1.5} \text{ x } 28^{0.5} = 0.52 \text{ MPa}$$

- Longitud del perímetro critico a una distancia 2d desde el área cargada

$$u_1 = 4\pi \text{ x } d^* + 4 \text{ x } d$$

$$u_1 = 4\pi \text{ x } 112.5 + 4 \text{ x } 230 = 2333.7 \text{ mm}$$

- Capacidad de carga de corte (sin refuerzo)

$$P_p = v_{Rd,c,min} u_1 d^*$$

$$P_p = 0.52 \text{ x } 2333.7 \text{ x } 112.5 \text{ x } 10^{-3} = 136.5 \text{ kN}$$

- Determinación de la capacidad de carga de corte

$$\min(P_{p,max}; P_p) = \min(517.5; 136.5) = 136.5 \text{ kN}$$

2. <u>Borde de la losa:</u>

- Espesor de losa (h): 200 mm
- Carga en el punto de diseño ultimo: 70.607 kN
- Resistencia a la compresión del concreto f_{ck}: 28 MPa.
- Ancho de apoyo: 230 mm
- Relación entre el área de contacto y el radio de rigidez relativa: 0.200
- Cálculo del esfuerzo cortante máximo para una resistencia a la compresión del concreto de 28 MPa:

$$v_{max} = 0.5 k_2 f_{cd}$$

$$v_{max} = 0.5 \text{ x } \left(0.6 \text{ x } \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)\right) \text{x} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$v_{max} = 0.5 \text{ x } \left(0.6 \text{ x } \left(1 - \frac{28}{250}\right)\right) \text{x} \frac{28}{1.5} = 5 \text{ Mpa}$$

- Cálculo del espesor efectivo de la losa:

$$d^* = 0.75 \text{ x } 200 = 150 \text{ mm}$$

Con los datos se entrada se determina la capacidad de carga de corte sin refuerzo para las siguientes condiciones de carga:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a) Para carga en el borde de la losa

- Longitud del perímetro cargado

$$u_0: 230 \text{ x } 3 = 690 \text{ mm}$$

- Máxima capacidad de carga de corte

$$P_{p,max} = v_{max} u_o d^*$$

$$P_{p,max} = 5 \text{ x } 690 \text{ x } 150 \text{ x } 10^{-3} = 517.5 \text{ kN}$$

- Esfuerzo cortante mínimo del concreto sin refuerzo

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.035 \text{ x } 2^{1.5} \text{ x } 28^{0.5} = 0.52 \text{ MPa}$$

- Longitud del perímetro critico a una distancia 2d desde el área cargada

$$u_1 = 2\pi \text{ x } d^* + 3 \text{ x } d$$

$$u_1 = 2\pi \text{ x } 150 + 3 \text{ x } 230 = 1632.5 \text{ mm}$$

- Capacidad de carga de corte (sin refuerzo)

$$P_p = v_{Rd,c,min} u_1 d^*$$

$$P_p = 0.52 \text{ x } 1632.5 \text{ x } 150 \text{ x } 10^{-3} = 127.3 \text{ kN}$$

- Determinación de la capacidad de carga de corte

$$\min(P_{p,max}; P_p) = \min(517.5; 127.3) = 127.3 \text{ kN}$$

b) Para carga en la esquina de la losa

- Longitud del perímetro cargado

$$u_0: 230 \text{ x } 2 = 460 \text{ mm}$$

- Máxima capacidad de carga de corte

$$P_{p,max} = v_{max} u_o d^*$$

$$P_{p,max} = 5 \text{ x } 460 \text{ x } 150 \text{ x } 10^{-3} = 345.0 \text{ kN}$$

- Esfuerzo cortante mínimo del concreto sin refuerzo

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.035 \text{ x } 2^{1.5} \text{ x } 28^{0.5} = 0.52 \text{ MPa}$$

- Longitud del perímetro critico a una distancia 2d desde el área cargada

$$u_1 = \pi \text{ x } d^* + 2 \text{ x } d$$

$$u_1 = \pi \text{ x } 150 + 2 \text{ x } 230 = 931.2 \text{ mm}$$

- Capacidad de carga de corte (sin refuerzo)

$$P_p = v_{Rd,c,min} u_1 d^*$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$P_p = 0.52 \text{ x } 931.2 \text{ x } 150 \text{ x } 10^{-3} = 72.6 \text{ kN}$$

- Determinación de la capacidad de carga de corte

$$\min(P_{p,max}; P_p) = \min(345.0; 72.6) = 72.6 \text{ kN}$$

De acuerdo con los casos de carga evaluados, se realiza la evaluación de estos como se muestra en la tabla 144. Finalmente, se concluye que los espesores de la losa de concreto propuestos con dimensiones de apoyo del rack de 23 cm x 23 cm, cumplen con la capacidad de carga de corte por punzonamiento para las solicitaciones del proyecto.

Tabla 144: *Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento*

Ubicación de carga	Capacidad de carga de corte	Carga en el punto de diseño ultimo	Criterio de aceptación
Carga en el interior	136.5	70.6	Correcto
Carga en el borde	127.3	70.6	Correcto
Carga de esquina	72.6	70.6	Correcto

Fuente: Elaboración propia

5.6.4.2. Verificación de transferencia de cargas en juntas

Para realizar la verificación de transferencia de carga en juntas se requieren los siguientes datos de entrada:

- Resistencia a la compresión del concreto f_{ck}: 28 MPa.
- Diámetro del pasador: 32 mm (1 1/4")
- Espesor de losa (h): 200 mm
- Radio de rigidez relativa: 647.4 mm

Con los datos de entrada se determina lo siguiente:

1. Capacidad al corte del pasador

$$A_V = 0.9 \,.\, \pi \,.\, \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 = 0.9 \,.\, \pi \,.\, \left(\frac{32}{2}\right)^2 = 723.8 \text{ mm}^2$$

$$P_{sh} = 0.6 \text{ x } \frac{f_y \text{ x } A_v}{\gamma_s} = 0.6 \text{ x } \frac{500 \text{ x } 723.8}{1.15} \text{ x } 10^{-3} = 188.8 \text{ kN}$$

2. Capacidad a flexión del pasador

   - Apertura de la fisura máxima x_j = 22 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$P_{flexion} = \frac{2.f_y.z_p}{x.\gamma_s} = \frac{2 \text{ x } 500 \text{ x } \frac{32^3}{6}}{22 \text{ x } 1.15} = 215.9 \text{ kN}$$

3. Capacidad al aplastamiento del concreto por acción del pasador

   - Longitud efectiva: 255 mm

$$P_{aplastamiento} = \frac{0.5.f_{cu}.b_1.d_d}{\gamma_c} = \frac{0.5 \text{ x } 28 \text{ x } 255 \text{ x } 32}{1.3} = 88 \text{ kN}$$

4. Capacidad individual del pasador para carga simple sobre la junta

   - Carga simple sobre la junta: 84.7 kN
   - Área de influencia de carga del dowel: 1.8 x l = 1165.3 mm

$$P_{carga} = \frac{(1165.3 + 1165.3) \text{ x } 84.7}{2} \text{ x } 10^{-3} = 98.74 \text{ kN}$$

5. Capacidad individual del pasador para carga doble sobre la junta

   - Carga doble sobre la junta: 84.7 kN + 84.7 kN = 169.5 kN
   - Distancia entre centros de dos puntos de carga: x = 200 mm
   - Área de influencia de carga del dowel: 1.8 x l = 1165.3 mm

$$P_{carga} = \left(\frac{1165.3\ x\ 84.7}{2} + 84.7 \text{ x } 200 + \frac{1165\ .3x\ 84.7}{2}\right) \text{x } 10^{-3} = 115.68 \text{ kN}$$

6. Verificación ante la combinación de esfuerzos de corte y flexión

   - Capacidad al corte del pasador: P_{sh} = 188.8 kN
   - Capacidad a flexión del pasador: $P_{flexion}$ = 215.9 kN

$$P_{carga} \leq \frac{1.4}{\frac{1}{P_{sh}} + \frac{1}{P_{flexion}}} = \frac{1.4}{\frac{1}{188.8} + \frac{1}{215.9}} = 141.01$$

$$P_{carga} \leq 141.01$$

Finalmente, se determina que el resultado obtenido ante la combinación de esfuerzos de corte y flexión es mayor que la capacidad individual del pasador sometido a carga simple y carga doble, lo cual verifica que el diámetro del pasador propuesto es correcto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.6.5 Separación entre juntas

Las juntas de control se diseñaron para dos tipos de losas sobre el suelo:

a) Losa sin refuerzo

En este tipo de losas, el dimensionado de juntas de control se basa en el comportamiento de la losa sometida a retracción plástica.

Conforme a la recomendación PCA relativa al espaciamiento de las juntas, en función al espesor de la losa y el tamaño máximo de agregado grueso utilizado en la mezcla de concreto con asentamiento entre 10 a 15 cm, los paños de las losas deben poseer juntas con distancia máxima de 4.5 metros de acuerdo con la tabla 145.

Tabla 145: *Espaciamiento de juntas recomendado por la PCA para una losa de concreto de espesor h = 15 cm, tamaño máximo de agregado grueso mayor a 19 mm y un asentamiento del concreto entre 10 y 15 cm.*

Espesor de la losa (cm)	Concreto con asentamiento entre 10 y 15 cm		Concreto asentamiento menor a 10 cm
	Agregado Grueso Tmax ≤ 19 mm	Agregado Grueso Tmax > 19mm	
12.5	3.00	4.00	4.50
15.0	3.60	4.50	5.50
17.5	4.30	5.50	6.40
20.0	4.90	6.00	7.30
22.5	5.50	7.00	8.20
25.0	6.00	7.30	9.10

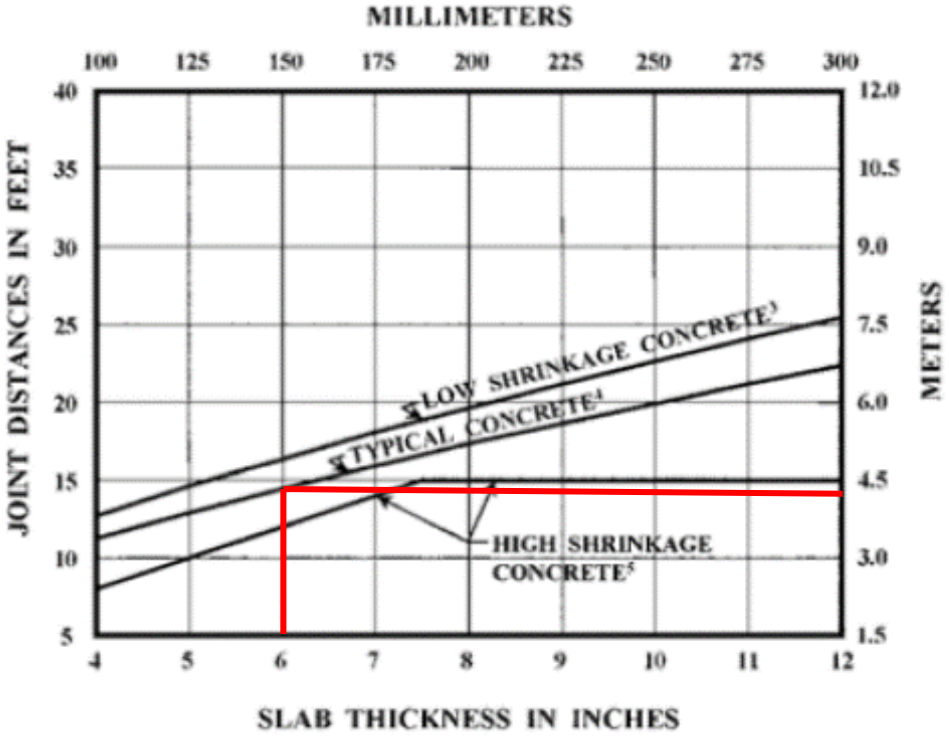
Adaptado de *"Seminario Internacional sobre nuevas tecnologías para pisos industriales"* por *J.Holland & otros, 2001*

Siguiendo las recomendaciones del ACI (American Concrete Institute) en función al espesor y el tipo de concreto utilizado, el espaciamiento de las juntas debe ser de 4.2 metros.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 103: *Separación entre juntas máximas recomendadas por el ACI para una losa de concreto simple, con espesor h = 15 cm (6 pulg).*



Adaptado de *"Guía para el diseño de losas apoyadas en el piso"* por *ACI 360R – 10, 2010.*

b) Losas reforzadas para retracción y temperatura

Para el dimensionado del acero por temperatura y retracción, se aplica la formula "Subgrade drag equation".

$$A_s = \frac{FLw}{2f_s}$$

Donde:

A_s = Área de acero en pulgada cuadrada por pie lineal;

F = Factor de fricción entre la placa de concreto y la subbase; generalmente tomado entre 1.5 – 2.0.

L = Distancia prevista entre las juntas;

w = Peso de la losa en psf, asumiendo 12.5 psf por pulgada de espesor.

f_s = Esfuerzo admisible del acero de refuerzo en psi

Con el objetivo de demostrar que, a igualdad de comportamiento estructural, el concreto reforzado con fibras de acero, posee características mecánicas iguales o superiores a las que se pudiesen lograr con una malla electrosoldada de acero, se calcula el momento resistente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de una malla electrosoldada Q-257 y el momento resistente del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG, donde se considera como resistencia a flexión del elemento fibroreforzado, una sección rectangular.

- Momento resistente de la sección armada es igual a:

$$M_{res} = 0.9.(f_y.A_s.d) = 0.9(414 \text{ x } 256.6 \text{ x } 96.5) = 9224968 \text{ N/mm}$$

Donde:

M_{res} = Momento resistente de la sección armada. (N/mm)

A_s = Área resistente de la malla.

Separación de barras: 150 mm

N° de grafiles por metro: 1000/150 = 6.67 /m

Diámetro del acero: 7 mm

Área del acero: $\frac{\pi(7^2)}{4} = 38.48 \text{ mm}^2$

Área resistente de la malla (Cuantía principal): 38.48 x 6.67 = 256.6 mm^2/m

d = Altura útil.

Espesor teórico: 150 mm

Recubrimiento: 50 mm

Diámetro del acero: 7 mm

Altura útil: 150 – 50 – 7/2 = 96.5 mm

f_y = Esfuerzo resistente del acero: 414 N/mm^2

- Momento resistente del concreto reforzado con fibras de acero:

$$M_{res} = R_{eq}.\frac{bh^2}{6} = 3.16 \text{ x} \frac{1000 \text{ x } 150^2}{6} = 11840288 \text{ N/mm}$$

Donde:

M_{res} = Momento resistente de la sección de concreto reforzada con fibras de acero.

R_{eq} = Resistencia equivalente del concreto reforzado con fibras de acero, considerando que la sección es homogéneamente distribuida y reforzada.

Módulo de ruptura del concreto $\sigma_{ctd,fl}$ = 4.53 MPa

Resistencia residual para 25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D 65/60, Re: 69.7 %

R_{eq}= 4.53 x 69.7% = 3.16 MPa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$S_x = \frac{bh^2}{6}$ = Módulo de resistencia de la sección rectangular.

Ancho de la sección b = 1000 mm

Altura útil h = 150 mm

A continuación, se muestra el comparativo entre las dos secciones:

Tabla 146: *Momento resistente de una malla electrosoldada Q-257 y una sección de concreto con 25 kg/m3 de fibra de acero Dramix 4D 65/60 BG.*

Tipo de refuerzo	Momento Resistente
Malla electrosoldada Q-257	9224968 N/mm
25 kg/m^3 de fibra de acero Dramix 4D 65/60	11840288 N/mm

Fuente: Elaboración propia

En base a lo expuesto en la tabla 146, calculando el espaciamiento máximo para el caso de la armadura tradicional, según el ACI 360R-10 y basado en la equivalencia estructural de la sección fibroreforzada prevista, el espaciamiento alcanzable es determinado utilizando la formula "Subgrade drag equation":

$$A_s = \frac{FLw}{2f_s}$$

Donde:

A_s = Área de acero en pulgada cuadrada por pie lineal:

256.6 mm^2/m x 0.00047244 pulg^2/pie = 0.12 pulg^2/pie

F = Factor de fricción entre la placa de concreto y la subbase; 2.0.

L = Distancia prevista entre las juntas

w = Peso de la losa en psf, asumiendo 12.5 psf por pulgada de espesor = 73.81 psf

h = Espesor de la losa = 5.905 pulg. (15 cm).

f_s = Esfuerzo admisible del acero de refuerzo en psi = 30000 psi

$$L = \frac{A_s \text{ x } 2 \text{ x } f_s}{F \text{ x } w} = \frac{0.12 \text{ x } 2 \text{ x } 30000}{2 \text{ x } 73.81} = 15.00 \text{ m}$$

El espaciamiento alcanzable puede ser de 15 x 15 metros para juntas de control, obteniéndose un incremento considerable con relación al espaciamiento tradicional.

Agregar fibras puede aumentar la distancia entre las juntas más allá de lo esperado por los códigos actuales. La presencia del acero de reforzamiento no impide el surgimiento de fisuras, pero mantiene las grietas cerradas mejorando la transferencia de cargas, ayudando a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

prevenir fallas en la losa como desplazamientos diferenciales y reduce el desportillamiento en los bordes de las grietas. El fisuramiento es causado por la restricción a la contracción del concreto, la cual está relacionada a los materiales del diseño de mezcla de concreto, la rugosidad de la subbase sobre la cual está apoyada la losa de concreto, y la efectividad del proceso de curado.

5.6.6 Sellado de juntas

Para la presente investigación se contempla el uso de Sikaflex-11 FC+, el cual es un sellante elástico de juntas a base de poliuretano para interiores y exteriores, y será utilizado bajo las siguientes condiciones:

L : Longitud de la losa = 10000 mm.

α : Coeficiente de expansión térmica del concreto = 9.3 x 10^{-6} mm/mm.

TC_{min}: Temperatura mínima del concreto en servicio = 10° C

TI_{max} : Temperatura máxima del concreto durante la instalación = 32° C

ε : Contracción por secado remanente del concreto = 0.00054 mm/m

C : Coeficiente de fricción = 0.80.

S : Deformación especifica admisible del material de sellado = 25%

1) Para efectos de cálculo, la guía de diseño AASHTO 1993 correlaciona el coeficiente de retracción del concreto con el valor de la resistencia a la tracción indirecta, por lo que se procede a realizar la estimación de la resistencia a la tracción indirecta a través del módulo de rotura.

$$M_R = 200 + 1.02\ IT$$

Donde:

IT = Resistencia a la tracción indirecta, psi

De acuerdo con el M_R obtenido en laboratorio para una dosificación de fibra metálica de 25 kg/m^3, se realiza la correlación para obtener la tracción indirecta, con la cual se obtiene:

$$657.02\ \text{psi} = 200 + 1.02\ IT$$

$$448\ \text{psi} = IT$$

Obteniéndose, un valor de resistencia a la tracción indirecta de 3.1 MPa y un coeficiente de contracción de 0.00054 mm/mm.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2) Cálculo de la contracción máxima del sellador

$$\Delta L = CL(\alpha \Delta T + \varepsilon) = 0.8 \text{ x } 10000 \text{ x } (9.3 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } (32 - 10) + 0.00054) = 5.96 \text{ mm}$$

El ancho de junta requerido es:

$$W = \frac{\Delta L}{S} = \frac{5.96}{25\%} = 23.8 \text{ mm}$$

El espesor comercial de disco de corte de concreto más cercano es de 25.4 mm (1”), por lo que se adopta ese valor para el ancho del reservorio del sellador.

El factor de forma recomendado de acuerdo con la ficha técnica del producto es de 0.8, por lo que la profundidad de la altura del sellador es:

$$\text{Profundidad (E)} = 0.8 \text{ x } 25.4 = 20 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el diámetro mínimo del cordón de respaldo a emplear, el cual debe tener un ancho mínimo del 25% mayor que el ancho de caja.

$$\text{Diametro del cordon de respaldo} = 1.25 \text{ x } 25.4 = 32 \text{ mm}$$

El espesor comercial de cordón de respaldo más cercano es de 32 mm (1 ¼”), por lo que se adopta ese valor para el diámetro del cordón de respaldo del sellador.

5.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Se deben establecer los siguientes criterios de aceptación para las distintas etapas de la construcción del pavimento industrial reforzado con fibras de acero.

5.7.1 Preparación de la subrasante y sub-base

- La nivelación debe cumplir con una tolerancia de ± 1 cm, con el fin de asegurar un espesor medio de losa acorde a lo planificado en el proyecto, sin problemas de sobreconsumos de concreto, ni zonas de bajo espesor.
- El material utilizado debe ser granular, uniforme en todas sus capas y cumplir con las especificaciones técnicas de la norma CE.010 “Pavimentos Urbanos” del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Debe realizarse ensayos de placa de carga de 600 mm de diámetro como mínimo, cada 1000 m^2 en la zona interior de la nave industrial. El resultado debe estar acorde al módulo de deformación considerado en el diseño.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- El grado de compactación debe ser mayor o igual al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo de proctor modificado, en todas y cada una de las diferentes capas de la estructura. La compactación de cada capa de material de relleno debe ejecutarse en forma sistemática, ordenada y continua, y en general, se debe ejecutar en paralelo a la dirección de colocación del relleno. Los rellenos deben compactarse con un contenido de humedad de ± 2% de la humedad optima, utilizando:

    - Rodillo liso vibratorio de peso estático superior a 10 toneladas, cuando las estructuras de concreto armado u otro tipo se encuentren a una distancia superior a 3 m, en capas de espesor suelto no mayor a 0.20 m.
    - Rodillo liso vibratorio o placa vibratoria de peso estático no superior a 0.5 toneladas, cuando las estructuras de concreto armado u otro tipo se encuentren a una distancia mayor a 0.5 m, en capas de espesor suelto no mayor a 0.20 m.
    - Pisón, cuando las estructuras se encuentran a una distancia menor a 0.5 m, en capas de 0.15 m. como máximo de espesor suelto.

  Para el control de las compactaciones, se deberán definir puntos elegidos al azar con una frecuencia de 2 cada 250 m^2 de superficie terminada y compactada. Los ensayos para el control de capas del relleno estructural podrán realizarse por el método del cono de arena o densímetro nuclear.

- Los vibro-compactadores no se deben usar cerca al concentro fresco, para evitar que las ondas de vibración que se transmiten por el terreno natural o por la base no afecten al concreto, segregando sus componentes y/o generando fisuras.

5.7.2 Instalación de plástico

Se debe poner una doble capa de láminas de polietileno (plástico) bajo la losa de concreto, lo suficientemente gruesa, con un espesor mínimo de 200 µm, para que resista las labores de trabajo que va a tener encima sin romperse y que no se arrugue demasiado con el objetivo de disminuir el coeficiente de fricción entre la losa y el material de base e impedir la perdida de agua del concreto durante la puesta en obra. La primera capa se coloca en franjas paralelas con un traslape de 15 cm y la segunda en forma similar pero transversalmente al sentido de la primera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.7.3 Instalación del encofrado

Se puede utilizar metal o madera para crear el encofrado. No deben tener imperfecciones, fallas, irregularidades o puntos débiles que puedan afectar el tamaño, forma y calidad de los acabados del concreto para los que sirven como moldes.

El encofrado debe encontrarse debidamente apuntalado y arriostrado de manera que la rigidez y estabilidad de este no se vea amenazada. Se debe dar especial cuidado a las juntas entre tablas, paneles o planchas.

En los encofrados de madera se dejarán insertados de acuerdo con los planos, los elementos de anclaje o de transferencia que deban quedar incorporados dentro de la losa, los cuales deben estar nivelados y alineados con los elementos colocados en el encofrado de manera idónea y adecuada para que funcionen bien. La tolerancia de colocación es de ± 25 mm en el plano horizontal y de ± 12.5 mm en el plano vertical. El diámetro de las aberturas debe permitir el retiro del encofrado sin que haya interferencia con las barras de transferencia.

Otro tipo de encofrado que puede ser empleado, son de perfiles prefabricados de acero los cuales quedan embebidos dentro de la losa de concreto, en estos elementos se incluyen pasadores tipo placa de forma trapezoidal, platinas de borde que refuerzan la arista superior de la junta del pavimento y que se deslizan al momento de la contracción del concreto. Se suministran como una unidad para facilitar su manipulación y su configuración permite ajustar el encofrado a la altura de losa del proyecto.

5.7.4 Ejecución de juntas

La ejecución de las juntas depende, fundamentalmente, del tipo de junta que se trate:

Juntas de contracción: Los pasadores utilizados en las juntas de contracción deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deben ser barras rectas y lisas, soportados desde los extremos en canastos de adecuada rigidez y estabilidad, los cuales deben estar anclados a la base.
- No deben presentar oxido ni rebabas.
- Se deben lubricar con aceite o pintura anticorrosiva.
- No deben presentar algún conflicto entre pasadores y barras de transferencia de carga.
- Las dimensiones deben ser las indicadas en los planos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Deben estar ubicados a la mitad del espesor de la losa y en la separación especificada en los planos, correctamente alineados.

Juntas de dilatación: Los pasadores utilizados en las juntas de dilatación deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Deben tener adosados en uno de sus extremos, un capuchón que permita que la losa absorba pequeños desplazamientos. El capuchón debe ocupar solo 5 cm sobre el pasador y llevar una capsula o relleno en el extremo interior que garantice una carrera libre de al menos 2 – 3 cm.
- Se deben lubricar con aceite o pintura anticorrosiva.
- Las barras deben ser rectas y lisas, sin presencia de oxido y rebabas.
- Las dimensiones deben ser las indicadas en los planos.
- Deben estar ubicados a la mitad del espesor de la losa y en la separación especificada en los planos, correctamente alineados.
- Debido a que estas juntas tienen una separación de 2 cm o más, requieren la presencia de un elemento compresible (poliestireno o poliuretano expandido) cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5 cm debajo de la superficie, finalmente se coloca el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

Juntas de construcción: Las barras de acero utilizados en las juntas de construcción deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Deben ubicarse de modo que no afecten el aspecto de la obra terminada ni comprometan la estabilidad estructural ni la transferencia de esfuerzos del elemento.
- Las juntas de construcción deben ser propuestas por el contratista en función a su programación de vaciado y deberán contar con la aprobación de la supervisión de obra.
- Cuando las juntas de construcción se coloquen para unir paños cuya construcción no se ha realizado en simultaneo es necesario utilizar barras de unión corrugadas de 1/2 pulgada de diámetro con una longitud de 79 cm, espaciadas a 76 cm, con el objetivo de restaurar el monolitismo o para evitar las fisuras en juntas de construcción. Deben realizarse, disponiendo un encofrado perpendicular al plano que forme la superficie del pavimento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Se debe aplicar pegamento epóxico o escarificar la cara lateral del concreto endurecido antes del vaciado del nuevo concreto.

Juntas de aislamiento (borde): Las juntas de borde deberán ser de 20 mm de ancho, cubriendo todo el espesor de la losa con un elemento compresible (poliestireno o poliuretano expandido) y se colocarán cada vez que la losa tenga una interferencia, tal como una columna o este adyacente a un muro para así aislarla. Finalmente se coloca el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

5.7.5 Suministro del concreto reforzado con fibras de acero

Los criterios de aceptación establecidos para el concreto reforzado con fibras de acero son los siguientes:

- El proveedor de concreto premezclado debe presentar todos los datos de la mezcla, así como las curvas granulométricas de los agregados y fichas técnicas de cemento y aditivos con el propósito de revisar el diseño de mezcla y verificar que cumpla con las siguientes especificaciones:
  - f'c = 280 kg/cm^2
  - M_R = 3.16 MPa
  - $R_{e,3}$ = 69.7 %
  - Relación a/c: 0.45 ± 0.2.
  - Tamaño máximo nominal: 25 mm (1 pulgada).
  - Fracción de pasta: 25% – 35%
  - Fracción de mortero: 55% – 58%
- Los agregados utilizados en la mezcla de concreto deben combinarse de tal manera que generen una curva granulométrica que sea constante, bien gradada y sin saltos, de tal forma que el factor de grosor y factor de trabajabilidad se encuentren en la zona II de la carta de Shilstone.
- Debe determinarse una fecha de realización de pruebas del concreto con la suficiente antelación para obtener una correlación del módulo de rotura del concreto con su resistencia a la compresión.
- El control del asentamiento debe verificarse antes del inicio del suministro y debe ser acorde al proceso de acabado requerido. El asentamiento deberá estar en el rango de 4 a 6 pulgadas con una tolerancia de ± 1 pulgada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Se deben realizar ensayos de resistencia a la compresión con una frecuencia no menor a tres muestras de ensayo por cada cinco camiones de concreto premezclado colocado por día.

- El concreto suministrado debe aceptarse hasta con un máximo de dos horas después de su salida de planta, además, se debe tener en cuenta los accesos, distancia a la planta, zonas de maniobra y puntos de limpieza de los camiones de concreto premezclado.

5.7.6 Método de suministro de concreto

El suministro de concreto debe ser ejecutado por el método de "gran panel", el cual consiste en dividir la superficie total en losas con una geometría próxima al cuadrado (que cumpla con la relación largo/ancho menor a 1.25). El vertido del concreto debe hacerse en sentido horizontal de izquierda a derecha para facilitar el extendido del material, ya sea de manera manual o con maquinaria de extendido.

5.7.7 Consolidación y extendido del material

El proceso de vibrado o consolidación debe realizarse inmediatamente después del vaciado, de tal manera que se facilite el proceso de consolidación, eliminando las burbujas de aire del interior del concreto, además de elevar los finos y dejar una superficie mejor preparada para el acabado con las máquinas de pulido.

Para consolidar el concreto pueden utilizarse vibradores internos o externos. Los externos son los denominados reglas vibratorias, que al mismo tiempo compactan el concreto y lo van dejando a nivel. Los vibradores internos o de aguja, se insertan en el concreto fresco en forma vertical, cuidando de no vibrar en exceso el concreto, ya que se produce segregación.

El extendido del material debe realizarse preferentemente con una maquinaria de extendido laser-screed, que mediante un brazo extensible sea capaz de repartir, nivelar y vibrar el concreto de la losa. Además, debe contar con un sistema de nivelación por láser que mantenga el brazo de extendido siempre en la misma altura, permitiendo asegurar una calidad superior en el nivel de acabado a lo conseguido mediante un extendido manual.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.7.8 Maquinarias de pulido

El proceso de pulido de la superficie debe seguir la misma direccionalidad y proceso que el vertido del concreto. Se realiza con el propósito de alisar la superficie, eliminar los puntos altos o bajos de la losa, de manera que esta quede totalmente densa, dura, plana y brillante.

El pulido debe comenzar cuando el concreto haya terminado su proceso de sangrado y alcanzado la resistencia necesaria como para soportar el peso de los equipos mecánicos y no se produzca una huella de una profundidad superior a 5 mm. Esto se consigue aproximadamente 5 horas después del comienzo del vertido (depende de las condiciones ambientales de la obra).

En el proceso de pulido inicial (cuando el concreto guarda aun humedad), se deben utilizar discos de acero bajo los equipos mecánicos para fratasar la superficie. Estos discos aplanan y alisan en primera instancia la superficie, preparándola y aportando uniformidad para darle el acabado final, para lo cual deben reemplazarse los discos de acero por paletas, cuando el concreto ya se encuentra más endurecido y la superficie más plana.

5.7.9 Curado

El curado del concreto es el periodo donde los componentes cementicios del concreto se hidratan y la losa adquiere la resistencia de proyecto. Cuando se combina la temperatura del aire, la temperatura del concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento, de manera que se prevé una rapidez de evaporación superior a 0.5 $kg/m^2/h$, deben tomarse las medidas necesarias para prevenir la perdida excesiva de humedad de la superficie de concreto endurecido y evitar así, que se presenten grietas de retracción en el concreto plástico y perdida de resistencia.

Los sistemas para garantizar un satisfactorio contenido de humedad en el concreto pueden ser:

- Aplicación continua de agua por medio de inundaciones o rociado continuo.
- Líquidos filmógenos (curadores químicos), los cuales se pulverizan sobre el pavimento una vez terminado el pulido. Deben estar compuestos a base de agua (acrílicos) o en base de algún tipo de disolvente y su composición química debe ser tal, que se forme una película que retenga la humedad al poco tiempo de ser aplicado el compuesto y que no afecte la pasta cementicia. Debe aplicarse de manera uniforme

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

en una dosificación mínima de 200 g/m^3 de compuesto curador, y su aplicación puede hacerse con atomizador manual o presurizado.

- Mantas de curado saturadas con agua que tienen la propiedad de mantenerse húmedas por un largo periodo de tiempo. Se puede utilizar como manta de curado: tela arpillera o yute (tela utilizada para hacer sacos), geotextiles, entre otros.
- Laminas plásticas (normalmente polietilenos) de bajo gramaje con un espesor mínimo de 0.25 mm, que cubra la losa previo riego superficial. Deben estar muy bien sujetas y el agua bajo la lámina debe reponerse en zonas de ambientes secos.

Dependiendo de las condiciones climáticas, será necesario curar la losa tan pronto termine la colocación del concreto o después del acabado, en el momento que haya desaparecido el agua libre sobre la superficie y esta haya perdido su brillo superficial.

El periodo de curado de las losas es fundamental para evitar patologías importantes asociadas a esta que luego tienen difícil solución: No respetar los periodos de curado mínimos hacen que la losa sea proclive a sufrir roturas superficiales por impactos, fisuras por aplicación de carga en edad temprana, fisuras por rápida perdida de volumen (secado rápido), microfisuración superficial (crazing), curling temprano (alabeos de borde), falta de hidratación de la capa de rodadura (debilidad superficial), exceso de apertura de juntas.

Los tiempos mínimos que deben respetarse en la puesta en uso y curado de la losa son los siguientes:

- Primera semana: Mantenimiento de la manta o lamina de curado y prohibido el uso de la losa.
- Segunda semana: Paso peatonal y posibilidad de colocación de andamiajes ligeros y uso de maquinaria muy ligera, sin retirar las láminas de curado.
- Tercera semana: Retiro de mantas o láminas de curado. Permiso para transitar maquinas (tijeras, plataformas elevadoras, montacargas) sin acopiar materiales cerca de las juntas.
- Cuarta semana: Puesta en uso total a los 28 días (cuando se adquieren las resistencias de proyecto).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.7.10 Ejecución de cortes

El corte de las juntas debe realizarse cuando el concreto presenta las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución, y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados.

La ejecución de los cortes debe realizarse por aserrado del concreto endurecido, para lo cual se debe utilizar una cortadora en medio húmedo (corte con agua) autopropulsada, que conste de un disco diamantado, una guía que sirva para seguir el trazado de la junta (previamente replanteada en la losa) y una manivela que regule la profundidad del corte.

Dependiendo las características del material y de las condiciones del clima, el concreto puede estar listo para su aserrado entre las 6 y 14 horas posteriores a su colocación en obra, dependiendo de distintos factores como: el descenso repentino de la temperatura, viento fuerte, baja humedad, bases con alta fricción, retraso de la aplicación del curado, entre otros.

Cuando el operador considere que el concreto se encuentra apto para cortar, debe observar que no se produzcan daños ni desprendimientos de agregados a lo largo del corte, descendiendo el disco de corte hasta la profundidad requerida. Si se obtiene un corte limpio, el operador debe proceder a completar el corte de la junta, en tanto que, si se observan desprendimientos de agregados, deberá suspender la operación hasta que el concreto gane una mayor resistencia.

La profundidad mínima de aserrado es la siguiente:

- Juntas longitudinales: 1/3 del espesor de la losa.
- Juntas transversales: 1/4 del espesor de la losa.

Todos los cortes deben estar listos antes de las 24 horas posteriores a la colocación del concreto en obra. El aserrado nunca debe ser demorado o interrumpido, más allá de la hora del día o la condición climática. Una vez hecho el corte, se produce un barrillo o lodo (por el polvo del concreto y el agua de corte) que debe ser limpiado inmediatamente después con aspiradoras de lodos, para que no se generen restricciones en la liberación de tensiones de la losa.

5.7.11 Sellado de juntas

El sellado de juntas tiene como objetivos: minimizar el ingreso de agua y minimizar el ingreso de materiales incompresibles en las juntas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se debe seleccionar un material sellante adecuado con propiedades adherentes con el concreto y deberá permitir las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas, sin agrietarse o desprenderse. Se deberán emplear para este fin productos de poliuretano, silicona o similares, los cuales deberán ser autonivelantes o de terminación con herramienta y solidificarse a temperatura ambiente.

Se debe seguir el siguiente procedimiento para su colocación:

1. Limpieza: Se realiza con el objetivo de eliminar en forma integral todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños para mejorar la adherencia a las paredes de la junta. Se deben seguir los siguientes pasos:

    a) Hidrolavado: Se realiza con el objetivo de eliminar los restos de material fino producto de las tareas de aserrado, con una presión de agua entre 5 a 7 kg/cm^2. Se debe aplicar inmediatamente después del aserrado secundario (cajeado).

    b) Arenado: Se debe realizar con el objetivo de alcanzar una textura rugosa en las caras de la junta para mejorar la adherencia del sellador a las paredes de la junta. No debe efectuarse dirigiendo la boquilla directamente a la junta, debe sostenerse en ángulo cercano a la junta para limpiar los 25 mm superiores de la caja.

    c) Soplado: Se realiza para eliminar restos de arena, suciedad y polvo de la junta y de la superficie del pavimento, provistos por la tarea anterior o el propio tránsito de obra. Se recomienda una presión de 6 kg/cm^2. Debe aplicarse en lo posible justo antes de proceder a la instalación del cordón de respaldo y sellado. Se debe repetir la limpieza con chorro de aire en aquellas juntas que han quedado abiertas durante la noche o por periodos prolongados.

2. Colocación del material de respaldo: Previo al vaciado del material sellante, se debe colocar un cordón de respaldo, que debe quedar comprimida en la junta al menos un 25% y debe ser presionada dentro de la junta con una herramienta especial (rueda), que posicione el cordón a la profundidad necesaria. El cordón de respaldo debe ser antiadherente al material de sello y tiene como objetivo impedir el contacto del sellador con el fondo de la caja y optimizar la cantidad de sello.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Aplicación del material de sello, siguiendo las siguientes recomendaciones:

    a) Verificar que las juntas estén limpias, secas y libres de agua y hielo.
    b) La superficie del sello debe quedar entre 3 y 5 mm por debajo de la rasante.
    c) No efectuar la colocación con temperaturas por debajo del punto de roció.
    d) Consultar con los proveedores de sellos el factor de forma a emplear, ya que este depende del tipo de material, de esta manera se instala el cordón de respaldo a la profundidad adecuada.
    e) Suspender la colocación frente a cualquier inclemencia climática. Verificar el estado de las juntas previamente al reinicio de las tareas.

5.7.12 Planicidad

El par de valores de números F, generalmente es representado de la forma F_F/F_L, de modo que una especificación indicada como 25/20 significa que F_F es 25 y que F_L es 20.

De acuerdo a las características del proyecto, las necesidades de planicidad requeridas son:

- Número de planeidad, F_F (Face flatness): 35
- Número de la nivelación, F_L (Face levelness): 25

5.8. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

De acuerdo con los métodos de dimensionamiento descritos en la investigación y teniendo en cuenta las partidas con mayor incidencia en la construcción de un pavimento industrial reforzado con fibras de acero, se presentan los siguientes análisis de precios unitarios:

Tabla 147: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto premezclado f'c = 280 kg/cm² para losas, reforzadas con 25 kg/m³ de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG" con un rendimiento de la cuadrilla de 65.00 m³/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
CONCRETO PREMEZCLADO CON CEMENTO TIPO IP F'C=280 KG/CM2	m3		1.0500	376.00	**394.8**	
FIBRA METALICA DRAMIX 4D 65/60 BG (25 kg/m³ + 2% DE DESPERDICIO)	kg		25.500	7.66	**195.3**	
					COSTO MATERIALES S/.	**590.13**
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH	0.1000	0.0123	31.46	**0.39**	
OPERARIO	HH	2.0000	0.2462	26.22	**6.45**	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1231	20.60	**2.54**	
PEON	HH	4.0000	0.4923	18.65	**9.18**	
OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO	HH	1.0000	0.1231	27.12	**3.34**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**21.9**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(3%)	%MO		0.0300	21.90	**0.66**	
BULLFLOAT (PLATACHO) L=1.20 - 1.80m	HM	1.000	0.1231	9.27	**1.14**	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	HM	1.000	0.4000	8.13	**3.25**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**5.05**
					TOTAL S/.	**617.08**

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 148: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto f'c = 280 kg/cm² para losas reforzadas con 25 kg/m³ de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG" con un rendimiento de la cuadrilla de 20.00 m³/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
PIEDRA CHANCADA DE 1"	m3		0.3703	60.13	**22.27**	
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.3018	54.15	**16.34**	
CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 kg)	bls		9.0613	16.86	**152.77**	
ARENA GRUESA	m3		0.4728	49.15	**23.24**	
ADITIVO	gal		0.0038	19.92	**0.08**	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.3500	18.94	**6.63**	
AGUA	m3		0.1991	6.00	**1.19**	
ACEITE MOTOR GASOLINA SAE 30W	gal		0.0040	32.97	**0.13**	
GRASA MULTIPLE EP	lb		0.0080	10.38	**0.08**	
MADERA TORNILLO HABILITADO - (Regla de Madera)	p2		0.0600	6.96	**0.42**	
FIBRA METALICA DRAMIX 4D 65/60 BG (25 kg/m³ + 2% DE DESPERDICIO)	kg		25.500	7.66	**195.3**	
				COSTO MATERIALES S/.		**418.48**
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH	0.2000	0.0800	31.46	**2.52**	
OPERARIO	HH	2.0000	0.8000	26.22	**20.98**	
OFICIAL	HH	2.0000	0.8000	20.60	**16.48**	
PEON	HH	8.0000	3.2000	18.65	**59.68**	
OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO	HH	2.0000	0.8000	27.12	**21.7**	
				COSTO MANO DE OBRA S/.		**121.36**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(3%)	%MO		0.0300	121.36	**3.64**	
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 7-9 p3	HM	1.000	0.4000	12.46	**4.98**	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	HM	1.000	0.4000	8.13	**3.25**	
BULLFLOAT (PLATACHO) L=1.20 - 1.80m	HM	1.000	0.4000	9.27	**3.71**	
				COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.		**15.58**
					TOTAL S/.	**555.42**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 149: *Análisis de precios unitarios de la partida "Concreto simple para losas f'c = 280 kg/cm²" con un rendimiento de la cuadrilla de 20.00 m³/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
PIEDRA CHANCADA DE 1"	m3		0.3703	60.13	**22.27**	
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.3018	54.15	**16.34**	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		9.0613	16.86	**152.77**	
ARENA GRUESA	m3		0.4728	49.15	**23.24**	
ADITIVO	gal		0.0038	19.92	**0.08**	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.3500	18.94	**6.63**	
AGUA	m3		0.1991	6.00	**1.19**	
ACEITE MOTOR GASOLINA SAE 30W	gal		0.0040	37.41	**0.15**	
GRASA MULTIPLE EP	lb		0.0080	10.38	**0.08**	
MADERA TORNILLO HABILITADO - (Regla de Madera)	p2		0.0600	6.55	**0.39**	
				COSTO MATERIALES S/.		**223.14**
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH	0.2000	0.0800	31.46	**2.52**	
OPERARIO	HH	2.0000	0.8000	26.22	**20.98**	
OFICIAL	HH	2.0000	0.8000	20.60	**16.48**	
PEON	HH	8.0000	3.2000	18.65	**59.68**	
OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO	HH	2.0000	0.8000	27.12	**21.7**	
				COSTO MANO DE OBRA S/.		**121.36**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(3%)	%MO		0.0300	121.36	**3.64**	
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 7-9 p3	HM	1.000	0.4000	17.00	**6.80**	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	HM	1.000	0.4000	8.13	**3.25**	
BULLFLOAT (PLATACHO) L=1.20 - 1.80m	HM	1.000	0.4000	9.27	**3.71**	
				COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.		**17.40**
					TOTAL S/.	**361.90**

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 150: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de contracción" con un rendimiento de la cuadrilla de 120.00 m/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
ACERO LISO A-36 - VARILLA LISA Ø 1 1/8" x 55 CM @ 30 CM	kg		0.8512	7.64	**6.50**	
CANASTILLA ELECTROSOLDADA	kg		0.1836	6.90	**1.27**	
					COSTO MATERIALES S/.	**7.77**
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.0000	0.0667	26.22	**1.75**	
OFICIAL	HH	1.0000	0.0667	20.60	**1.37**	
PEON	HH	1.0000	0.0667	18.65	**1.24**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**4.36**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS (3%)	%MO		0.0300	4.36	**0.13**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**0.13**
					TOTAL S/.	**12.26**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 151: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de contracción (incluyendo encofrado)" con un rendimiento de la cuadrilla de 100.00 m/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
ACERO LISO A36 5/8" Ø 1 1/8" x 55 CM @ 30 CM	kg		0.8512	7.64	**6.50**	
TUB. PVC SAP CLASE 10 DE 1"	m		0.0684	3.5	**0.24**	
GRASA AMARILLA	kg		0.0015	5.00	**0.01**	
ALAMBRE NEGRO N°18	kg		0.015	2.85	**0.04**	
CLAVOS P/MADERA C/C 3/4"	kg		0.13	2.85	**0.37**	
ADITIVO PROTECTOR PARA ENCOFRADO	m2		1.00	0.29	**0.29**	
PLANCHA DE TECKNOPOR 4'x8'x25mm	m2		0.504	11.76	**5.93**	
					COSTO MATERIALES S/.	**13.38**
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH	0.1000	0.0080	26.22	**0.21**	
OPERARIO	HH	1.0000	0.0800	26.22	**2.10**	
OFICIAL	HH	1.0000	0.0800	20.60	**1.65**	
PEON	HH	1.0000	0.0800	18.65	**1.49**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**5.45**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS (3%)	%MO		0.0300	5.45	**0.16**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**0.16**
					TOTAL S/.	**18.99**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 152: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de construcción (incluyendo encofrado)" con un rendimiento de la cuadrilla de 100.00 m/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm^2 GRADO 60	kg		3.45	5.94	**20.49**	
MADERA TORNILLO	p^2		0.055	4.96	**0.27**	
ALAMBRE NEGRO N°18	kg		0.015	2.85	**0.04**	
CLAVOS P/MADERA C/C 3/4"	kg		0.13	2.85	**0.37**	
ADITIVO PROTECTOR PARA ENCOFRADO	m2		1.00	0.29	**0.29**	
PLANCHA DE TECKNOPOR 4'x8'x25mm	m2		0.504	11.76	**5.93**	
SELLANTE ELASTICO DE POLIURETANO	gal		0.0350	265.56	**9.29**	
					COSTO MATERIALES S/.	**27.39**
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH	0.1000	0.0080	31.46	**0.25**	
OPERARIO	HH	1.0000	0.0800	26.22	**2.10**	
OFICIAL	HH	1.0000	0.0800	20.60	**1.65**	
PEON	HH	1.0000	0.0800	18.65	**1.49**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**5.49**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS (3%)	%MO		0.0300	5.49	**0.16**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**0.16**
					TOTAL S/.	**33.04**

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 153: *Análisis de precios unitarios de la partida "Junta de dilatación" con un rendimiento de la cuadrilla de 80.00 m/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
SELLADOR DE JUNTAS DE POLIURETANO	gal		0.025	192.87	**4.82**	
PLANCHA DE TECNOPOR 4'x8'x25mm	m2		0.504	11.76	**5.93**	
					COSTO MATERIALES S/.	**10.75**
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	26.22	**2.62**	
PEON	HH	1.0000	0.1000	18.65	**1.87**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**4.49**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES (3%)	%MO		0.0300	4.49	**0.13**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**0.13**
					TOTAL S/.	**15.37**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 154: *Análisis de precios unitarios de la partida "Corte y sellado de juntas de contracción" con un rendimiento de la cuadrilla de 80.00 m/día.*

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
SELLANTE ELASTICO DE POLIURETANO	pomo		0.3180	30.49	**9.70**	
CORDON DE RESPALDO PARA SELLANTE DE Ø 5/8" A 3/8"	m		0.2415	5.83	**1.41**	
DISCO CORTADOR DE CONCRETO	und		0.0012	650.00	**0.78**	
					COSTO MATERIALES S/.	**11.89**
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	26.22	**2.62**	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1000	20.60	**2.06**	
PEON	HH	2.0000	0.2000	18.65	**3.73**	
					COSTO MANO DE OBRA S/.	**8.41**
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS (3%)	%MO		0.0300	8.41	**0.25**	
PISTOLA APLICADOR DE SELLANTE	hm	1.0000	0.1000	2.50	**0.25**	
CORTADORA DE PAVIMENTO CON DISCO	hm	1.0000	0.1000	18.65	**1.87**	
					COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.	**2.37**
					TOTAL S/.	**22.67**

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO VI

6. RESULTADOS

6.1. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

El estudio de mecánica de suelos se realizó con la finalidad de obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo que conforma el área de estudio, definir los perfiles estratigráficos, localizar la presencia de nivel freático y detectar problemas especiales de cimentación como licuación, colapso y expansión.

De acuerdo a los trabajos de campo, ensayos de laboratorio y a la inspección realizada, la conformación del suelo del área de estudio, desde el nivel de la superficie de la subrasante hasta los 3.00 metros de profundidad, está conformado por un material conglomerado heterogéneo de arena limosa pobremente gradada con grava, de color marrón oscuro con forma subangulosa, T.M.N. de 2", compacidad medianamente densa, sin plasticidad y presencia de una ligera humedad, de clasificación SUCS "SP-SM" con un contenido mínimo de sales (0.112 %) que no representa agresividad del suelo a la cimentación. Hasta la profundidad investigada, no se encontró nivel freático, por lo que se descartan problemas de especiales de cimentación como licuación. De acuerdo con la densidad natural y los límites de plasticidad determinados se concluye que no es colapsable y no presenta potencial de expansión.

El valor de soporte de CBR promedio, de acuerdo con los ensayos especiales realizados, se muestra en la tabla 155.

Tabla 155: *Valor de soporte promedio de CBR de la subrasante.*

Descripción	Valor
CBR compactado al 95% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración	7.0 %
CBR compactado al 100% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración	8.1 %

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la ecuación de correlación del valor de CBR y el módulo de reacción K (MPa/m) presentado en el método de dimensionamiento de pavimentos de concreto PCA 1984, el módulo de reacción K es el siguiente:

$$k = 20.67 \ln \text{CBR} + 1.26 = 20.67 \ln\ (7) + 1.26 = 41.48 \text{ MPa/m} = 0.041 \text{ N/mm}^3$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 156: *Resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas de la exploración de campo para el material de subrasante.*

CALICATA			C-1	C-2	C-3
Ensayos			**Resultados**		
Análisis Granulométrico	Grava (%)		25.8	43.8	24.9
	Arena (%)		62.9	46.4	56.2
	Finos (%)		11.3	9.8	18.9
Límites de consistencia	Limite Liquido (%)		32	28	29
	Índice de Plasticidad (%)		N.P.	N.P.	N.P.
Ensayos de estado	Humedad (%)		5.2	4.15	4.02
Clasificación	S.U.C.S.		SP-SM	SP-SM	SM
	AASHTO		A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-3 (0)
Ensayos Especiales	Proctor modificado (g/cm^3)		1.768	1.764	1.793
	Contenido óptimo de humedad (%)		13.75	11.50	12.60
	Valor de soporte (CBR) 95% M.D.S. a 0.1"		7.7	6.7	6.5
	Valor de soporte (CBR) 100% M.D.S. a 0.1"		8.3	8.0	8.0
Ensayos Químicos	Sales Solubles	ppm	---	1122	---
		%	---	0.112	---
	Sulfatos Solubles	ppm	---	230	---
		%	---	0.023	---
	Cloruros Solubles	ppm	---	888	---
		%	---	0.0888	---

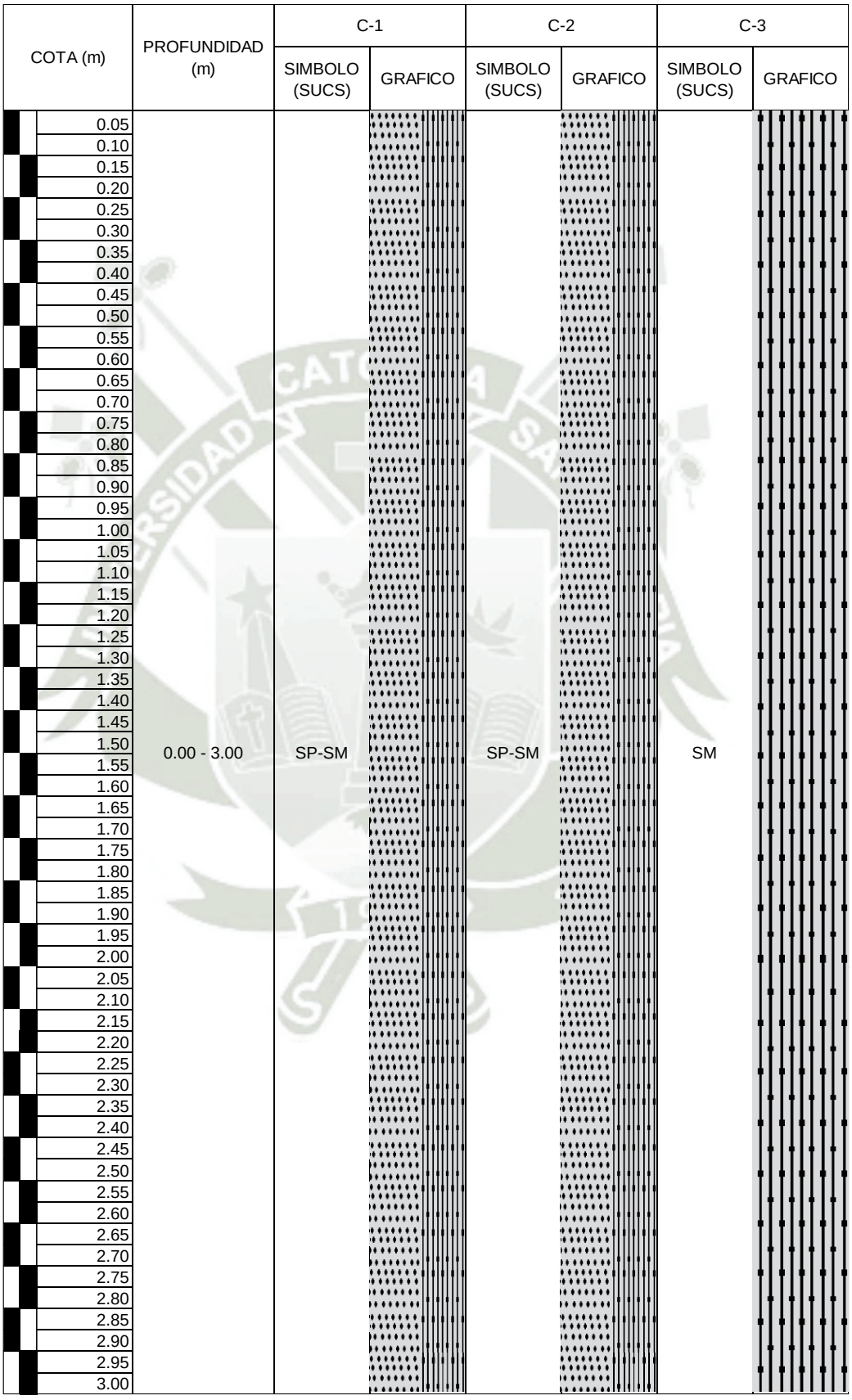
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 104: *Perfil estratigráfico de las muestras obtenidas de la exploración de campo para el material de subrasante.*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.2. EVALUACIÓN DEL MATERIAL DE SUBBASE

Se realizaron los ensayos indicados en la norma CE.010 "Pavimentos Urbanos" del Reglamento Nacional de Edificaciones para material de subbase, con el objetivo de evaluar e identificar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales procedentes del área que conforman la cantera de estudio. Los requisitos mínimos establecidos son los especificados en la tabla 157 y 158.

Tabla 157: *Requerimientos granulométricos para subbase granular.*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N°4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 µm (N° 40)	8 – 20	15 - 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (N° 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 – 15

Nota. La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m. Reproducido de la Norma *CE.010 "Pavimentos Urbanos"* por *Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010*

Tabla 158: *Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	50% máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30 – 40 % mínimo*	
Limite Liquido	NTP 339.129:1999	25% máximo	
Índice de plasticidad	NTP 339.129:1999	6% máximo	4% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales solubles totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	
Partículas chatas y alargadas	NTP 400.040	20% máximo	

Nota. El CBR de laboratorio será de 30% para pavimentos rígidos y adoquines. 40% para pavimentos flexibles. Reproducido de la Norma *CE.010 "Pavimentos Urbanos"* por Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El material de subbase, de acuerdo con los ensayos de laboratorio realizados, está conformado por un material conglomerado heterogéneo de grava limosa bien gradada con arena, de color gris claro con forma subangulosa, de clasificación SUCS "GW-GM", T.M.N. de 1 1/2", compacidad medianamente densa, sin plasticidad y presencia de una ligera humedad. Contiene una cantidad mínima de sales (0.156 %). Los valores de porcentaje de partículas chatas y alargadas, abrasión los ángeles y contenido de sales se encuentran por debajo del máximo, cumpliendo los requerimientos de calidad del material.

El valor de soporte de CBR promedio, de acuerdo a los ensayos especiales realizados, se muestra en la tabla 144.

Tabla 159: *Valor de soporte promedio de CBR de la subbase*

Descripción	Valor
CBR compactado al 95% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración	84 %
CBR compactado al 100% de la máxima densidad seca a 0.1" de penetración	105 %

Fuente: Elaboración propia

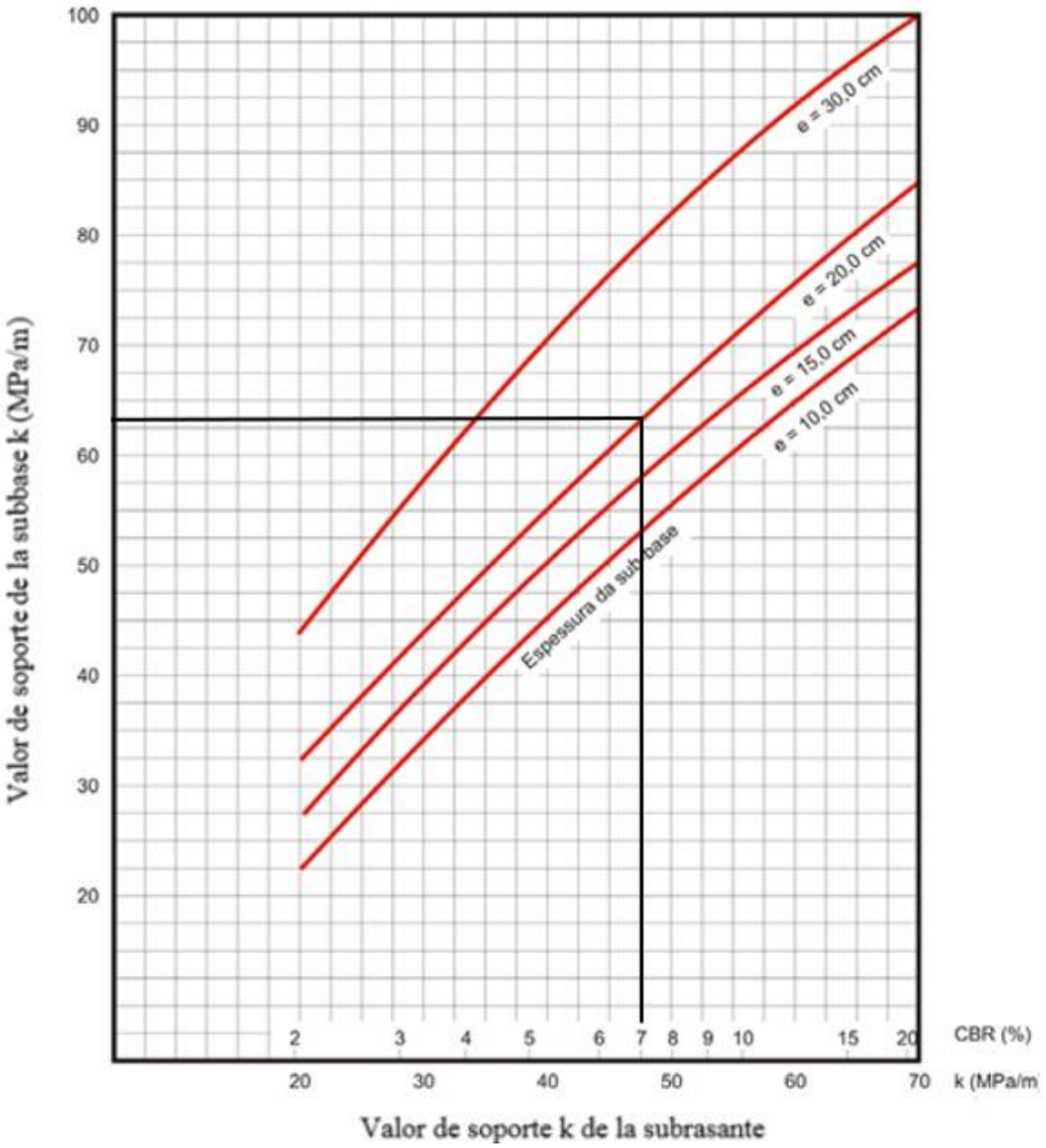
Determinado el valor de soporte, el módulo de reacción K del material de subbase se determina utilizando los ábacos propuestos por la PCA (Portland Cement Association) para diferentes espesores de capa. De acuerdo a la figura 105, para el valor de CBR de la subrasante y un espesor de material granular de 20 centímetros, se obtiene un valor de soporte combinado (subbase + subrasante) de 63 MPa/m el cual equivale a 0.063 N/mm^3.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 105: *Aumento del módulo de reacción K debido a la presencia de una subbase granular*



Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

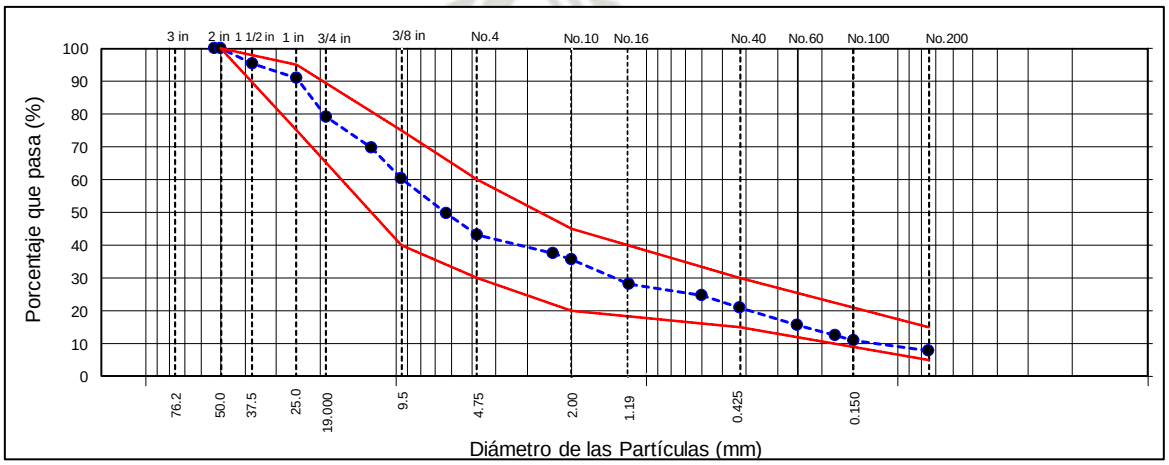
De acuerdo con el análisis granulométrico realizado y por la ubicación del proyecto de aplicación, se establecieron como limites granulométricos los definidos en la gradación B.

Tabla 160: *Resultado del ensayo de análisis granulométrico de la muestra obtenida del material de subbase.*

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Gradación "B"
4"	100.0	0.00	0.00	0.00	100.00	
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 ½"	53.0	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100 – 100
1 ½"	37.5	570	4.72	4.72	95.28	
1"	25.0	505	4.18	8.91	91.09	75 – 95
¾"	19.0	1444	11.96	20.87	79.13	
½"	12.5	1122	9.30	30.17	69.83	
3/8"	9.5	1128	9.35	39.51	60.49	40 – 75
¼"	6.3	1302	10.79	50.30	49.70	
#4	4.75	780	6.46	56.77	43.23	30 – 60
#8	2.36	67.8	5.86	62.63	37.37	
#10	2.00	20.2	1.75	64.37	35.63	20 – 45
#16	1.19	87.5	7.57	71.94	28.06	
#30	0.60	39.6	3.42	75.36	24.64	
#40	0.425	42.5	3.67	79.04	20.96	15 – 30
#60	0.25	62.8	5.43	84.47	15.53	
#80	0.18	35.0	3.03	87.50	12.50	
#100	0.15	17.2	1.49	88.98	11.02	
#200	0.075	37.4	3.23	92.22	7.78	5 – 15
< #200		90.0	7.78	100.00	0.00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 106: *Curva granulométrica de la muestra obtenida del material de subbase dentro de los limites granulométricos definidos por la gradación "B".*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 161: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para el material de subbase.*

Ensayos		Resultados	Requisito	Observación
Análisis Granulométrico	Grava (%)	56.8	B	Cumple
	Arena (%)	35.5		
	Finos (%)	7.8		
Límites de consistencia	Limite Liquido (%)	N.P.	25% máximo	Cumple
	Índice de Plasticidad (%)	N.P.	6% máximo	Cumple
Ensayos de estado	Humedad (%)	2.86	---	---
Clasificación	S.U.C.S.	GW-GM	---	---
	AASHTO	A-1-a (0)	---	---
Forma	Partículas chatas y alargadas (%)	1.8	20% máximo	Cumple
Desgaste	Abrasión los ángeles (%)	27.5	50% máximo	Cumple
Ensayos Especiales	Proctor modificado (g/cm^3)	2.074	---	---
	Contenido óptimo de humedad (%)	11.80	---	---
	Valor de soporte (CBR) 95% M.D.S. a 0.1"	84 %	---	---
	Valor de soporte (CBR) 100% M.D.S. a 0.1"	105 %	30% mínimo	Cumple
	Equivalente de arena (%)	80.5%	25% mínimo	Cumple
Ensayos químicos	Sales Solubles ppm	1561	1% máximo	Cumple
	Sales Solubles %	0.156		

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.3. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El diseño de mezclas de concreto comprende la evaluación física de los agregados como datos fundamentales para su dosificación en peso (laboratorio) y volumen de obra. Para la presente investigación se consideran dos tipos de agregados: Agregado Grueso (muestra 1 y muestra 2) y Agregado Fino, ambos procedentes de la cantera Socabaya, los cuales deben cumplir con los requisitos de calidad exigidos para los agregados de acuerdo a las especificaciones estándar para agregados de concreto indicadas en la norma NTP 400.037 con el propósito de garantizar el efecto deseado sobre el concreto, sin perjudicar las otras propiedades de la mezcla (resistencia y trabajabilidad).

Tabla 162: *Especificaciones estándar para el agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.*

Ensayos de laboratorio	Norma	Requerimiento
Análisis granulométrico	NTP 400.012	Tabla N° 4, NTP 400.037
Terrones de arcilla y partículas deleznables	NTP 400.015	Máximo 3%
Material que pasa el tamiz 75 µm (N° 200)	NTP 400.018	Máximo 1%
Carbón y lignito	NTP 400.023	Máximo 0.5%
Resistencia mecánica de los agregados – abrasión (método de los ángeles)	NTP 400.019	Máximo 50%
Contenido de sulfatos solubles (SO_4) (%)	NTP 400.042	Máximo 0.15%
Contenido de cloruros (CI-) (%)	NTP 400.042	Máximo 1%

Reproducido de NTP 400.037 *"Especificaciones normalizadas para agregados en concreto"* por *INACAL, 2018*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 163: *Especificaciones estándar para el agregado fino a ser utilizado en la elaboración de concreto.*

Ensayos de laboratorio	Norma	Requerimiento
Análisis granulométrico	NTP 400.012	Tabla N°1, NTP 400.037
Terrones de arcilla y partículas deleznables	NTP 400.015	Máximo 3%
Material que pasa el tamiz 75 µm (N° 200)	NTP 400.018	Máximo 3%
Carbón y lignito	NTP 400.023	Máximo 0.5%
Impurezas orgánicas	NTP 400.024	Máximo color 3 del colorímetro
Equivalente de arena	NTP 339.146	≥ 75%
Contenido de sulfatos solubles (SO4) (%)	NTP 400.042	Máximo 0.15%
Contenido de cloruros (CI-) (%)	NTP 400.042	Máximo 1%

Reproducido de NTP 400.037 *"Especificaciones normalizadas para agregados en concreto"* por *INACAL, 2018*

Tabla 164: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra 1 de agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.*

Ensayos de laboratorio	Resultados	Requerimiento	Observación
Análisis granulométrico	TMN 1"	Tabla N° 1, NTP 400.037	Cumple con el huso #5
Terrones de arcilla y partículas deleznables	0.17 %	Máximo 3%	Cumple
Cantidad de material fino que pasa el tamiz #200	0.11 %	Máximo 1%	Cumple
Carbón y lignito	0.22 %	Máximo 0.5%	Cumple
Resistencia mecánica de los agregados – abrasión (método de los ángeles)	34 %	Máximo 50%	Cumple
Contenido de sulfatos solubles (SO_4) (%)	0.0467 %	Máximo 0.15%	Cumple
Contenido de cloruros (CI-) (%)	0.0285 %	Máximo 1%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 165: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra 2 de agregado grueso a ser utilizado en la elaboración de concreto.*

Ensayos de laboratorio	Resultados	Requerimiento	Observación
Análisis granulométrico	TMN ½"	Tabla N° 1, NTP 400.037	Cumple con el huso #67
Terrones de arcilla y partículas deleznables	0.38 %	Máximo 3%	Cumple
Cantidad de material fino que pasa el tamiz #200	0.92 %	Máximo 1%	Cumple
Carbón y lignito	0.17 %	Máximo 0.5%	Cumple
Resistencia mecánica de los agregados – abrasión (método de los ángeles)	20 %	Máximo 50%	Cumple
Contenido de sulfatos solubles (SO_4) (%)	0.0550 %	Máximo 0.15%	Cumple
Contenido de cloruros (CI-) (%)	0.0150 %	Máximo 1%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 166: *Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de la muestra de agregado fino a ser utilizado en la elaboración de concreto.*

Ensayos de laboratorio	Resultados	Requerimiento	Observación
Análisis granulométrico	---	Tabla N° 1, NTP 400.037	Cumple
Terrones de arcilla y partículas deleznables	0.16 %	Máximo 3%	Cumple
Cantidad de material fino que pasa el tamiz #200	2.86 %	Máximo 3%	Cumple
Carbón y lignito	0.15 %	Máximo 0.5%	Cumple
Impurezas orgánicas	Color #2	Máximo color 3 del colorímetro	Cumple
Equivalente de arena	93.5 %	≥ 75%	Cumple
Contenido de sulfatos solubles (SO_4) (%)	0.1050 %	Máximo 0.15%	Cumple
Contenido de cloruros (CI-) (%)	0.0910 %	Máximo 1%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Aprobada la calidad de los agregados, se procedió a realizar los ensayos necesarios para determinar las constantes físicas de cada de uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto con el propósito de determinar su dosificación en peso y volumen de obra.

Tabla 167: *Constantes físicas de cada uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto.*

Datos de laboratorio	Cemento Yura Tipo IP	Aditivo Sikacem Plastificante	Grava 1"	Grava ½"	Arena
Peso específico (g/cm^3)	2.80	1.20	2.44	2.68	2.59
Peso unitario suelto (kg/m^3)			1320	1454	1647
Peso seco compactado (kg/m^3)			1390	1550	1791
Módulo de fineza					2.94
Contenido de Humedad (%)			0.40	0.50	0.45
Absorción (%)			2.49	0.98	1.20

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de maximizar el desempeño de la mezcla, se evaluó la granulometría integral utilizando las tres muestras de agregados, ensamblándolos de la siguiente manera: 30% de la muestra 1 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1", 25% de la muestra 2 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1/2" y 45% de agregado fino.

Se utilizaron dos metodologías para optimizar el ensamblaje de agregados: La carta de Shilstone y la curva de la tarántula. En la figura 107, se representa el factor de trabajabilidad y factor de grosor en la carta de Shilstone, determinando que el ensamblaje de agregados propuestos se encuentra en la zona II, la cual es ideal para concretos a ser utilizados en pavimentos, de acuerdo con esta metodología.

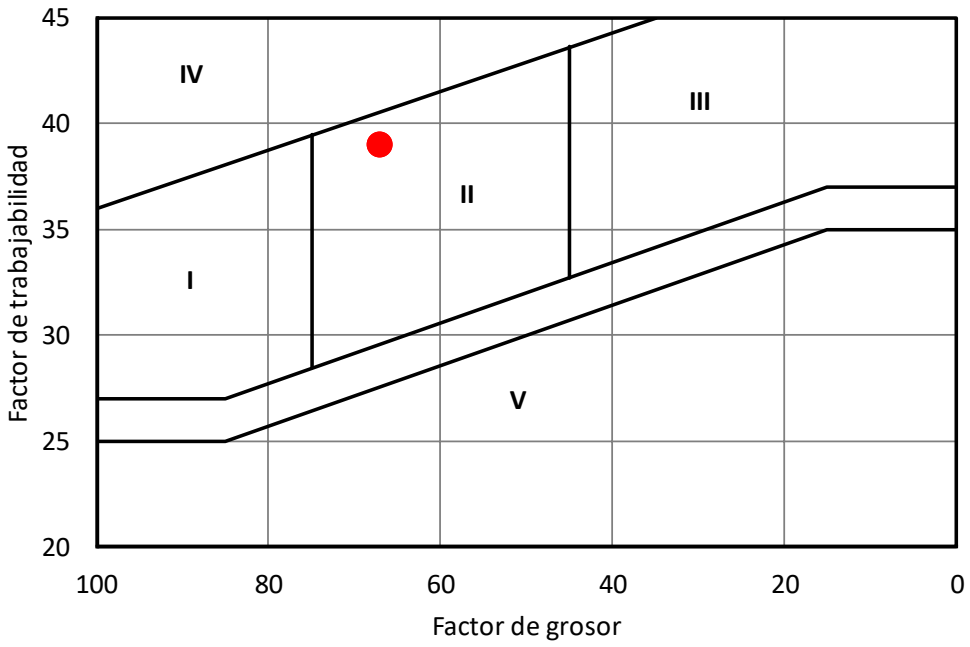
En la figura 108, se representa el ensamblaje de agregados en las proporciones propuestas y se observa que se cumple con el criterio de continuidad propuesto por esta metodología. También se observa que el porcentaje de arena gruesa (#8 - #30) es de 26.88%, el cual cumple con la cantidad mínima del 15% y el porcentaje de arena fina (#30 - #200) es de 25.38%, el cual se encuentra dentro del rango 25 – 40% para ser bombeado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

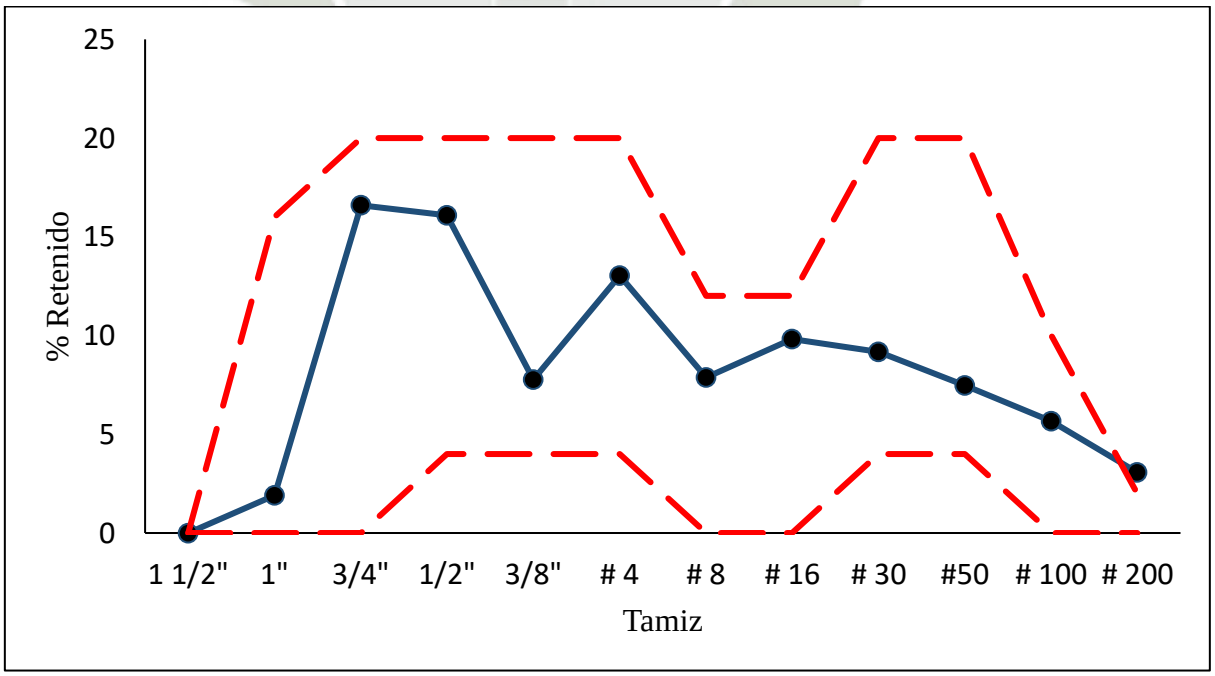
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 107: *Representación del factor de trabajabilidad y factor de grosor en la carta de Shilstone.*



Fuente: Elaboración propia

Figura 108: *Curva de la tarántula de la combinación de agregados en la proporción propuesta: 30% de la muestra 1 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1", 25% de la muestra 2 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1/2" y 45% de agregado fino.*



Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Con las proporciones del ensamblaje de agregados definidos y conocidas las constantes físicas de cada de uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto, se determina la dosificación en peso (laboratorio) y volumen de obra.

Tabla 168: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg*

Insumos	Proporción en peso por bolsa de cemento de 42.5 kg
Cemento	1
Aditivo	0.0118
Agua	21.97 L
Grava 1”	1.26
Grava ½”	1.16
Arena	2.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 169: *Proporción de insumos para la elaboración de la mezcla de concreto en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg*

Insumos	Proporción en volumen por bolsa de cemento de 42.5 kg
Cemento	1
Aditivo	418 mL
Agua	21.97 L
Grava 1”	1.44
Grava ½”	1.20
Arena	1.84

Fuente: Elaboración propia

El documento ACI 302.1R-15 “Guía para la construcción de pisos y losas de concreto”, recomienda limitar algunos aspectos del concreto, como la fracción de pasta y fracción de mortero para evitar problemas en la ejecución y posterior comportamiento.

Tabla 170: *Fracción de pasta y fracción de mortero de la mezcla de concreto.*

Especificación	Resultado	Requerimiento	Observación
Fracción de pasta	33.73%	25% – 35%	Cumple
Fracción de mortero	58%	55% – 58%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido se utilizan como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de especificaciones; control para evaluar la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

efectividad de los aditivos; y usos similares. Se realizaron en condiciones normales de fraguado y resistencia requerida de diseño para el pavimento industrial.

Tabla 171: *Resultados de la evaluación del concreto en estado fresco con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 por metro cubico.*

Muestra	Dosificación de fibra metálica Dramix 4D 65/60 (kg/m^3)	Slump	Peso unitario real (kg/m^3)	Contenido de aire (%)
1	20	5”	2253	1.6
2	25	5”	2311	1.8
3	30	4 ¼”	2312	1.6
4	35	4”	2267	1.7
5	40	4”	2301	1.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 172: *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto sin adición de fibras obtenida a 3,7 y 28 días.*

Identificación	Edad (días)	Área (cm^2)	Relación Altura/Diámetro	Fuerza máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm^2)	Esfuerzo promedio (kg/cm^2)
1-3D	3	78.5	2.00	13453	171.3	
2-3D	3	78.5	2.00	13297	169.3	170.2
3-3D	3	78.1	2.00	13268	170.0	
1-7D	7	78.5	2.00	17521	223.1	
2-7D	7	77.8	1.99	17486	224.9	224.2
3-7D	7	78.5	2.00	17642	224.6	
1-28D	28	78.5	2.00	26499	337.4	
2-28D	28	78.5	2.00	25223	321.1	326.3
3-28D	28	78.5	2.00	25158	320.3	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la norma de ensayo ASTM C39 “Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico”, para probetas de 4 x 8 pulgadas en condiciones de laboratorio, el coeficiente de variación valido es de 3.2% y el rango aceptable de variación para probetas cilíndricas es de 9.0% cuando son dos muestras y 10.6% cuando son tres muestras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 173: *Coeficiente de variación de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a 3,7 y 28 días de las probetas ensayadas sin adición de fibras.*

Edad (días)	f'c (kg/cm²)	f'c promedio (kg/cm²)	Porcentaje f'c a 28 días	Porcentaje promedio f'c a 28 días	Coeficiente de variación %	Observación
	171.3		61.2 %			
3	169.3	170.2	60.5 %	60.8 %	0.60	Cumple
	170.0		60.7 %			
	223.1		79.7 %			
7	224.9	224.2	80.3 %	80.1 %	0.43	Cumple
	224.6		80.2 %			
	337.4		120.5 %			
28	321.1	326.3	114.7 %	116.5 %	2.96	Cumple
	320.3		114.4 %			

Fuente: Elaboración propia

Corroborado el diseño de mezclas del concreto, se procedió a determinar la cantidad de fibras de acero necesarias para el refuerzo del concreto utilizando fibras metálicas Dramix 4D 65/60 BG, las cuales se caracterizan por ser fibras de acero trefilado en frio con tecnología encolada y anclaje optimizado con extremos deformados tipo 4D que garantizan un anclaje optimo. De acuerdo con la teoría del espaciamiento de McKee la dosificación mínima de la fibra de acero dentro de la mezcla de concreto para que funcione correctamente es de 23 kg/m^3.

El módulo de rotura del concreto se determinó utilizando una probeta prismática, cargada en el tercio medio con el propósito de determinar la resistencia a la flexotracción del concreto reforzado con fibras de acero dramix 4D 65/60 BG.

De acuerdo con los resultados obtenidos el módulo de rotura promedio para cada dosificación de fibra utilizada (20, 25, 30, 35 y 40 kg/m^3 respectivamente) se muestra en la tabla 174.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 174: *Modulo de rotura promedio y coeficiente de variación de las muestras de concreto con distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.*

Identificación (muestra – adición de fibra kg/m^3)	Edad (días)	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de rotura promedio (MPa)	Coeficiente de variación (%)
M1 - 20	28	4.48		
M2 - 20	28	4.34	4.46	2.60
M3 - 20	28	4.57		
M1 - 25	28	4.49		
M2 - 25	28	4.59	4.53	1.09
M3 - 25	28	4.51		
M1 - 30	28	4.67		
M2 - 30	28	4.73	4.68	0.89
M3 - 30	28	4.65		
M1 - 35	28	4.71		
M2 - 35	28	4.66	4.69	0.62
M3 - 35	28	4.71		
M1 - 40	28	4.81		
M2 – 40	28	4.78	4.79	0.32
M3 - 40	28	4.79		

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de resistencia residual se realizó con el propósito de determinar la capacidad adicional de carga (tenacidad) cuando el espécimen llega a una deformación de 3 mm en la vertical después de alcanzar la carga máxima, registrando la fuerza aplicada para distintos desplazamientos.

Los resultados promedio de resistencia residual (Re,3) obtenidos para las vigas de concreto ensayadas con distintas dosificaciones de fibra de acero utilizada (20, 25, 30, 35 y 40 kg/m^3 respectivamente) se muestra en la tabla 175.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 175: *Resistencia residual promedio (Re,3) de las muestras de concreto para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG utilizando probetas prismáticas cargadas en el tercio medio.*

Adición de fibra metálica (kg/m^3)	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Resistencia residual promedio (Re,3) %
20	05/08/21	02/09/21	28	64.6
25	06/08/21	03/09/21	28	69.7
30	08/08/21	05/09/21	28	74.4
35	09/08/21	06/09/21	28	81.0
40	10/08/21	07/09/21	28	86.2

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, las características mecánicas del concreto reforzado con 25 kg/m^3 de fibras de acero son las siguientes:

- Resistencia a la compresión del concreto f'c: 280 kg/cm^2
- Módulo de rotura del concreto: 4.53 MPa
- Módulo de poisson: 0.15
- Módulo de elasticidad del concreto diferido para cargas de larga duración (mayor a 24 horas de aplicación):

$$E_C = 57000\sqrt{f'c}\ (\text{psi}) = 57000\sqrt{3982.54} = 3597120\ \text{psi}$$

$$E_C = 4730\sqrt{f'c}\ (\text{MPa}) = 4730\sqrt{28} = 25029\ \text{MPa}$$

- Módulo de elasticidad del concreto instantáneo para cargas de corta duración (menor a 24 horas de aplicación):

$$E_c = 11000\ x\ \sqrt[3]{f'c}\ (\text{MPa}) = 11000\ x\ \sqrt[3]{28} = 33402\ \text{MPa}$$

- Módulo de rotura de diseño:

  De acuerdo con la guía de diseño de losas de concreto apoyadas sobre el suelo ACI 360R-10, el módulo de rotura de diseño del concreto reforzado con fibras de acero considera que la tensión admisible del concreto es igual a la resistencia a la flexión equivalente del material compuesto, dado por la siguiente expresión:

$$f_b = \frac{R_3}{100} x f_r$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- f_b: esfuerzo de tensión a flexión admisible, MPa
- f_r: módulo de ruptura del concreto, MPa
- $R_{e,3}$: factor de esfuerzo residual, %

Por lo cual, de acuerdo con los resultados obtenidos y para una adición de fibra metálica de 25 kg/m^3 se obtiene el siguiente módulo de rotura de diseño:

$$f_b = \frac{69.7}{100} \text{x } 4.53 = 3.16 \text{ MPa}$$

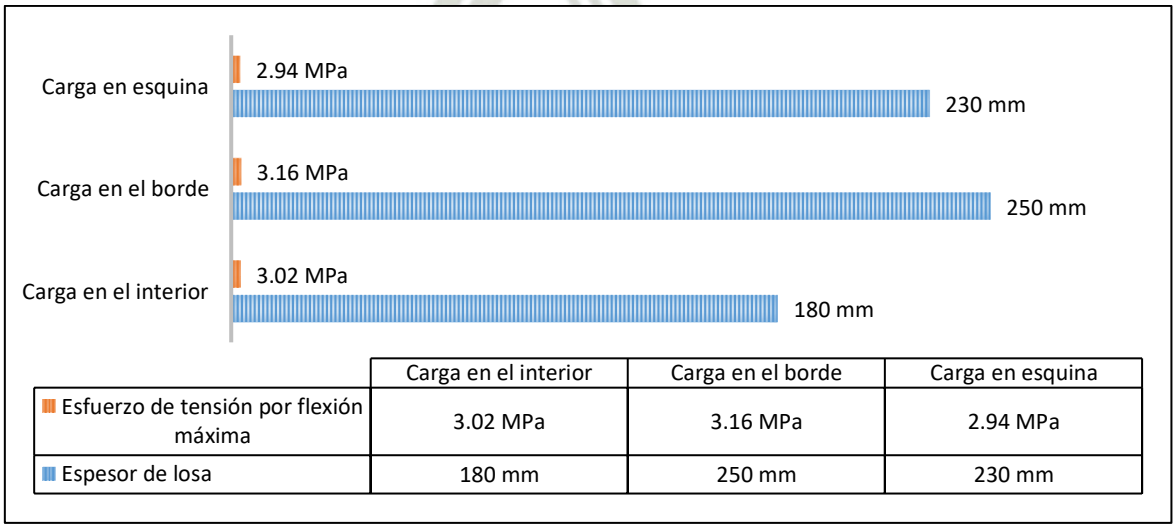
6.4. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO INDUSTRIAL

De acuerdo con las principales características del proyecto en función a las necesidades requeridas, se dimensiono el espesor mínimo requerido utilizando métodos analíticos y métodos empíricos descritos en las siguientes normas: ACI 360R-10 y TR-34.

a) Teoría de Westergaard

Los esfuerzos actuantes máximos obtenidos mediante la Teoría de Westergaard se comparan con el módulo de ruptura admisible del concreto reforzado con 25 kg/m^3 de fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG, determinándose el espesor mínimo que satisface cada una de las condiciones de ubicación de carga para carga puntual y carga dinámica, tal como se muestra en la figura 109 y 110 respectivamente.

Figura 109: *Verificación de esfuerzos para carga puntual y espesores mínimos de losa necesarios para cada una de las condiciones de ubicación de carga, utilizando la teoría de Westergaard.*



	Carga en el interior	Carga en el borde	Carga en esquina
Esfuerzo de tensión por flexión máxima	3.02 MPa	3.16 MPa	2.94 MPa
Espesor de losa	180 mm	250 mm	230 mm

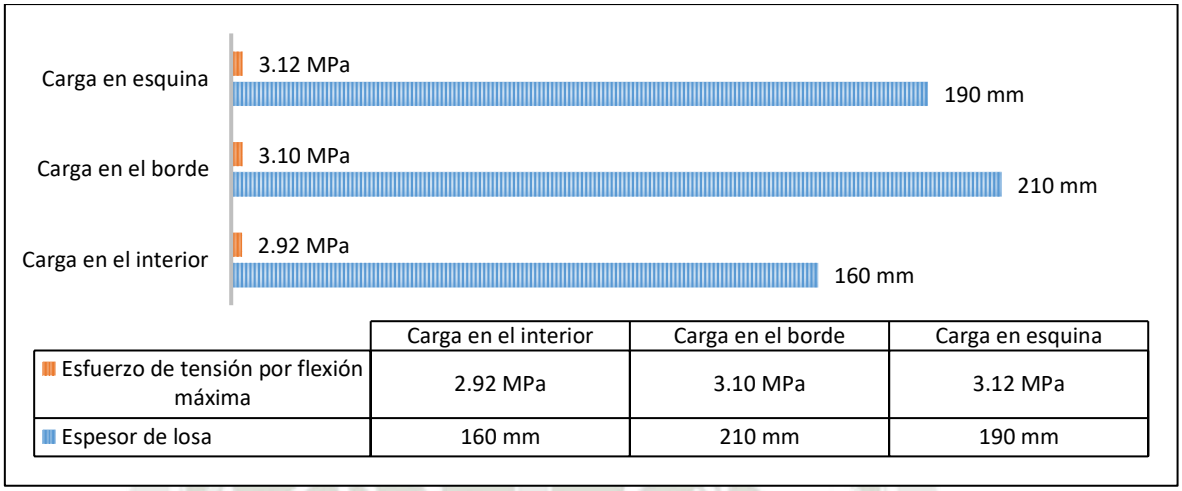
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 110: *Verificación de esfuerzos para carga dinámica y espesores mínimos de losa necesarios para cada una de las condiciones de ubicación de carga, utilizando la teoría de Westergaard.*



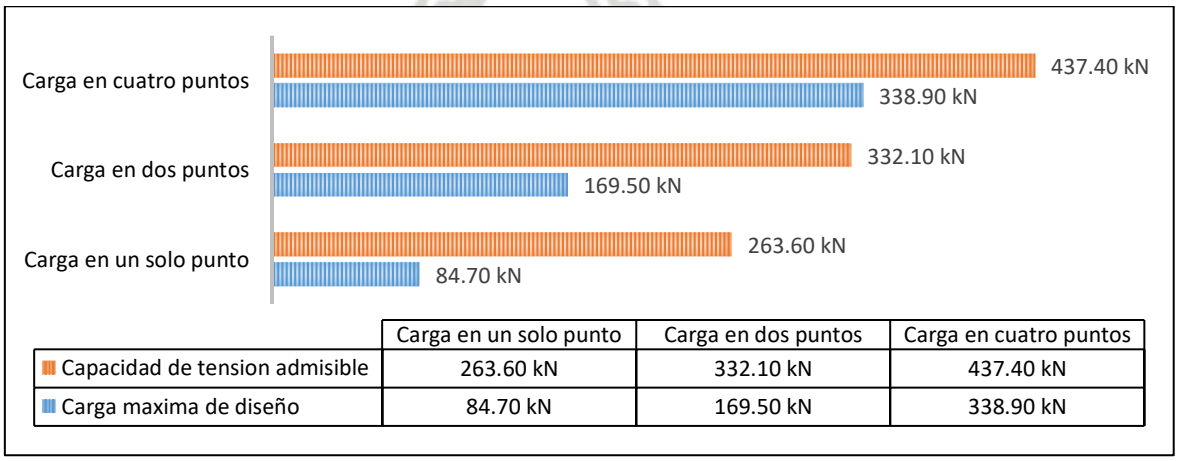
	Carga en el interior	Carga en el borde	Carga en esquina
Esfuerzo de tensión por flexión máxima	2.92 MPa	3.10 MPa	3.12 MPa
Espesor de losa	160 mm	210 mm	190 mm

Fuente: Elaboración propia

b) Método "Yield Line Theory"

La capacidad de tensión admisible de la losa de concreto reforzado con 25 kg/m^3 de fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG, para cargas producidas por una carga puntual y dinámica determinada por el método "Yield Line Theory" se compara con la carga máxima de diseño afectada por factores de seguridad, determinándose el espesor mínimo que satisface cada una de las condiciones de ubicación de carga para distintas aplicaciones, son las que se muestran en la figura 111, 112, 113, 114, 115 y 116 respectivamente.

Figura 111: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el interior de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 150 mm. reforzado con fibras de acero.*



	Carga en un solo punto	Carga en dos puntos	Carga en cuatro puntos
Capacidad de tension admisible	263.60 kN	332.10 kN	437.40 kN
Carga maxima de diseño	84.70 kN	169.50 kN	338.90 kN

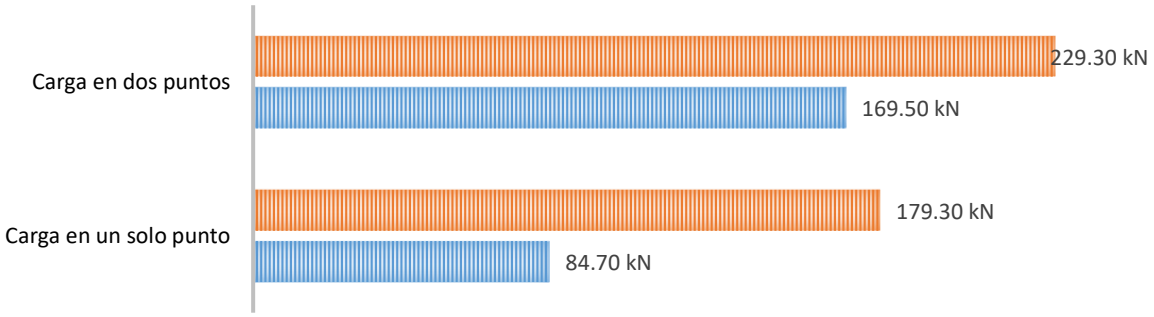
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

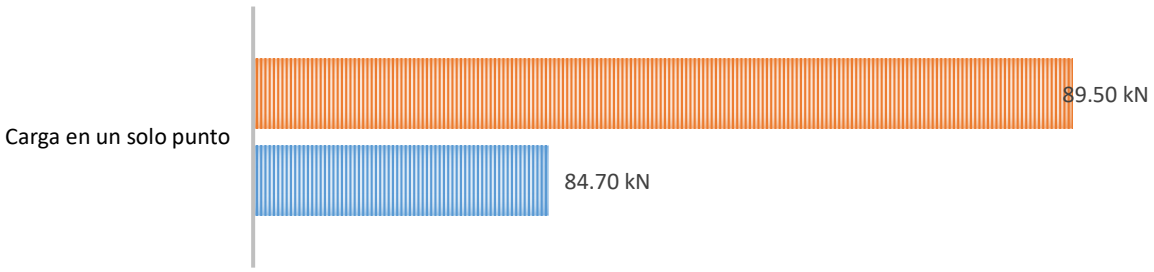
Figura 112: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el borde de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 190 mm. reforzado con fibras de acero.*



	Carga en un solo punto	Carga en dos puntos
Capacidad de tension admisible	179.30 kN	229.30 kN
Carga maxima de diseño	84.70 kN	169.50 kN

Fuente: Elaboración propia

Figura 113: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para carga en un solo punto aplicada en la esquina de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 2000 mm. reforzado con fibras de acero.*



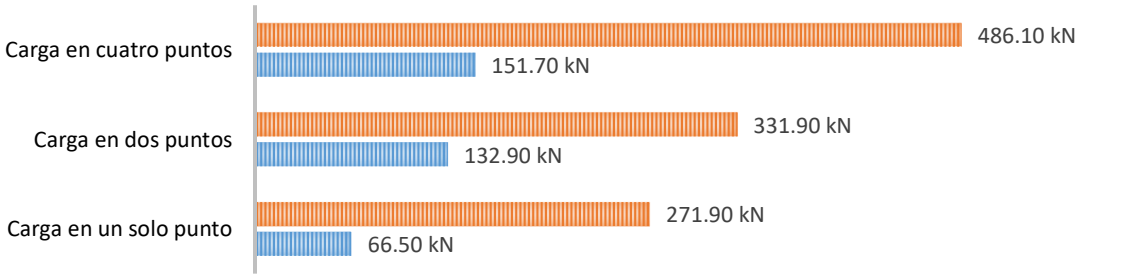
	Carga en un solo punto
Capacidad de tension admisible	89.50 kN
Carga maxima de diseño	84.70 kN

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

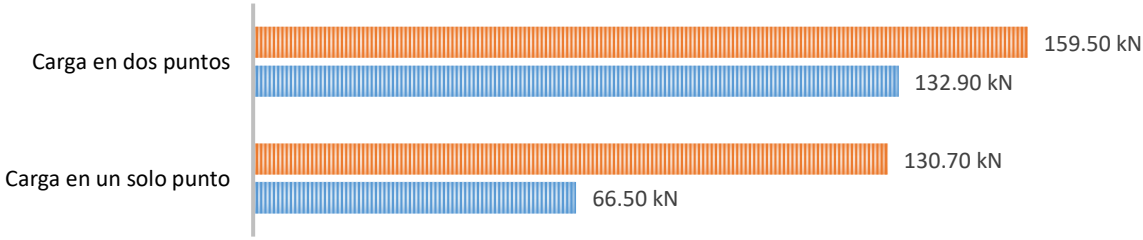
Figura 114: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el interior de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 150 mm. reforzado con fibras de acero*



	Carga en un solo punto	Carga en dos puntos	Carga en cuatro puntos
Capacidad de tension admisible	271.90 kN	331.90 kN	486.10 kN
Carga maxima de diseño	66.50 kN	132.90 kN	151.70 kN

Fuente: Elaboración propia

Figura 115: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para distintas aplicaciones de carga en el borde de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 190 mm. reforzado con fibras de acero.*



	Carga en un solo punto	Carga en dos puntos
Capacidad de tension admisible	130.70 kN	159.50 kN
Carga maxima de diseño	66.50 kN	132.90 kN

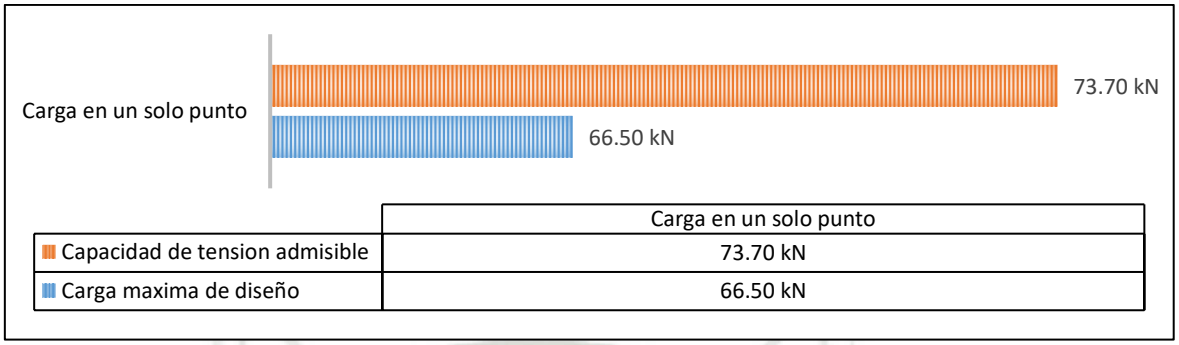
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 116: *Carga máxima de diseño determinada por la carga dinámica a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de tensión admisible determinada para carga en un solo punto aplicada en la esquina de la losa, utilizando el método "Yield Line Theory" para un espesor de losa de concreto h = 2000 mm. reforzado con fibras de acero.*



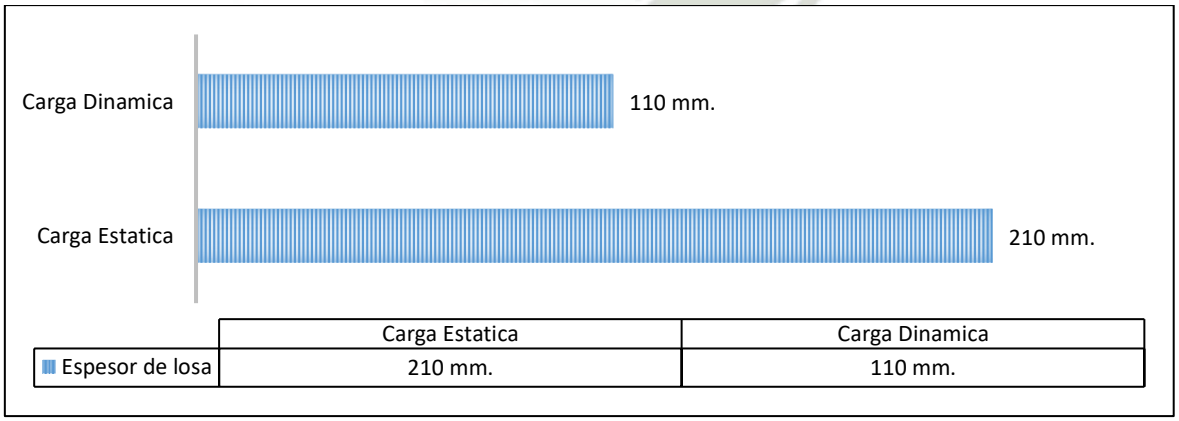
	Carga en un solo punto
Capacidad de tension admisible	73.70 kN
Carga maxima de diseño	66.50 kN

Fuente: Elaboración propia

c) PCA (Portland Cement Association)

Este método gráfico, basado en el análisis de Westergaard, asume un valor constante del módulo de reacción de soporte, un coeficiente de poisson de 0.15 y un módulo de elasticidad del concreto de 28000 MPa considerando sólo cargas interiores. El espesor mínimo requerido de acuerdo con los gráficos propuestos en el método de la PCA (Portland Cement Association) para las cargas a las que estará sometido el pavimiento, se muestra en la figura 117.

Figura 117: *Espesores de losa mínimos requeridos para diferentes tipos de carga actuante utilizando el método de la PCA.*



	Carga Estatica	Carga Dinamica
Espesor de losa	210 mm.	110 mm.

Fuente: Elaboración propia

d) WRI (Wire Reinforcement Association)

Este método grafico solo considera las cargas aplicadas en el interior del pavimento transmitidas por el paso de los montacargas. El espesor mínimo requerido de acuerdo con el

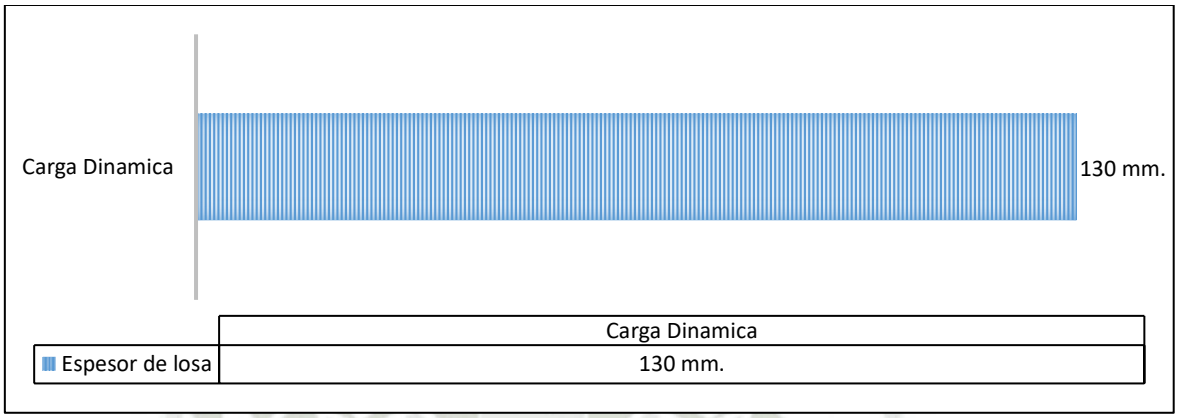
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

grafico propuesto en el método de la WRI (Wire Reinforcement Association), se muestra en la figura 118.

Figura 118: *Espesor de losa mínimo requerido para carga dinámica actuante utilizando el método de la WRI.*

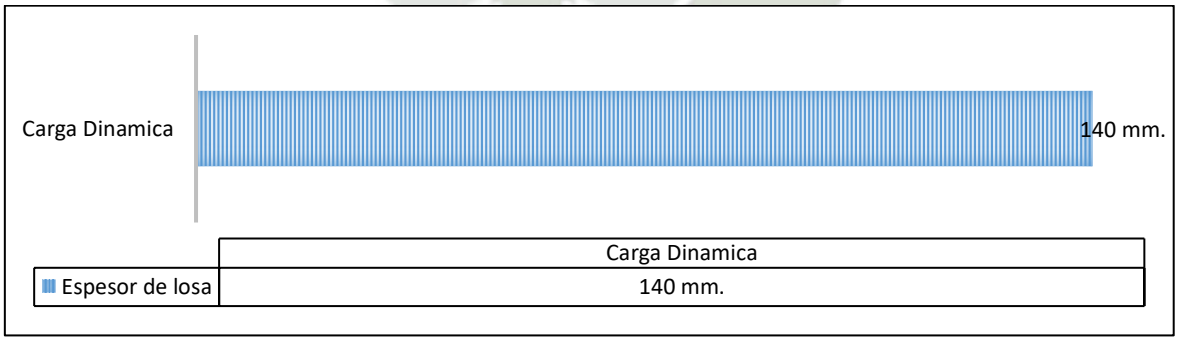


Fuente: Elaboración propia

e) COE (Corp of Engineers)

Este método grafico solo considera las cargas aplicadas en el borde y esquina del pavimento transmitidas por el paso de los montacargas. El espesor mínimo requerido de acuerdo con el grafico propuesto en el método del COE (Corp of Engineers), se muestra en la figura 119.

Figura 119: *Espesor de losa mínimo requerido para carga dinámica actuante utilizando el método del COE.*



Fuente: Elaboración propia

f) Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento

Realizados los distintos métodos de dimensionamiento, se determinó optar por un espesor de losa en el interior de (H) 150 mm y un sobre ancho (HSa) de 200 mm en el borde y esquina, considerando una longitud de sobre ancho (LSa) de 810 mm, para los cuales se

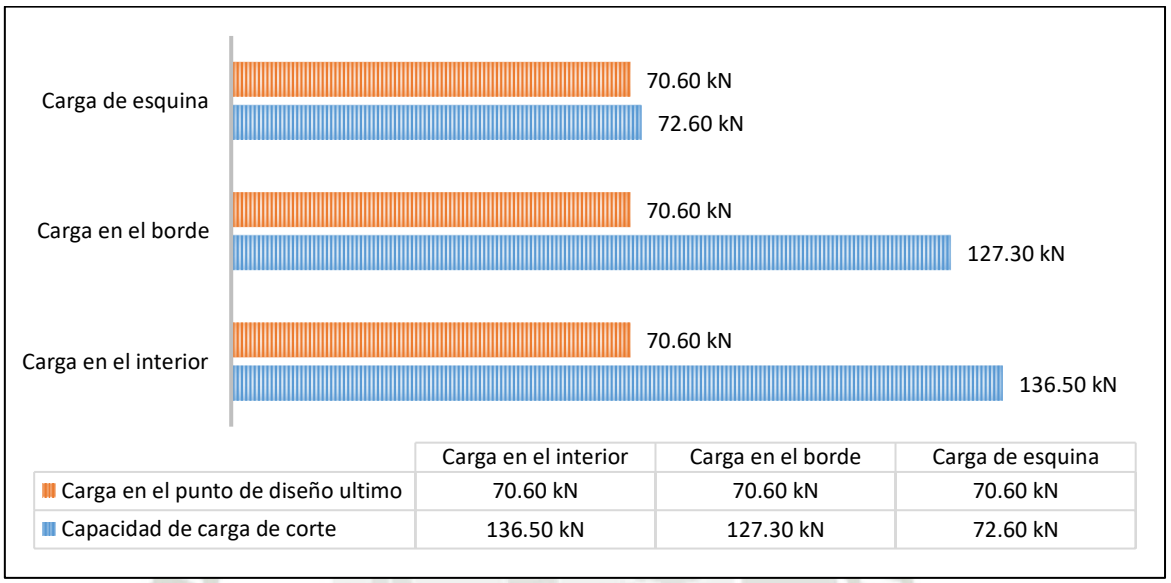
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

determinó la capacidad de carga de corte por punzonamiento, tal como se muestra en la figura 120.

Figura 120: *Carga máxima de diseño determinada por la carga puntual a la que está sometido el pavimento industrial y capacidad de carga de corte determinada para un espesor de losa interno h = 150 mm y un espesor de losa en el borde y esquina de h = 200 mm. utilizando apoyos para el rack de 23 cm x 23 cm.*



	Carga en el interior	Carga en el borde	Carga de esquina
Carga en el punto de diseño ultimo	70.60 kN	70.60 kN	70.60 kN
Capacidad de carga de corte	136.50 kN	127.30 kN	72.60 kN

Fuente: Elaboración propia

6.5. DISEÑO DE JUNTAS

Se determino de manera analítica el diámetro del acero necesario para las juntas de aislación, construcción y contracción, obteniéndose los siguientes resultados:

1. Juntas de aislación

En el contorno de los pedestales se colocará poliestireno expandido de 1 pulgada de espesor la cual se colocará paralelamente a la cara del elemento vertical con el propósito de aislar la losa de otros elementos estructurales.

El refuerzo con barras de acero en los pedestales aislados que no tengan encuentro con alguna junta de contracción o dilatación será con acero de diámetro Ø = 8 mm, espaciado 7.5 cm, siguiendo la recomendación de Jhon Knapton en su publicación “Ground Bearing Concrete Slabs” el cual es menor al espaciamiento requerido y será ubicado 5 cm por debajo de la superficie de la losa de concreto, obteniéndose una cuantía de acero de 0.2% para la distribución de aceros propuesta (6 Ø 8mm) la cual es mayor al 0.1% cumpliendo con la recomendación dada por el Instituto español del cemento y sus aplicaciones en su publicación “Manual de Pavimentos Industriales”.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Juntas de construcción

El área de acero necesaria utilizando una varilla de acero corrugada espaciada cada 30 cm. es la siguiente:

Tabla 176: *Diámetros de acero requeridos para los pasadores utilizados en las juntas de contracción.*

Ubicación	Área de acero necesaria por metro lineal	Diámetro de acero a utilizar	Área de acero a utilizar	Longitud de la barra
Interior de losa	4.32 cm^2	25 mm (1")	5.00 cm^2	92.5 cm
Borde de losa	5.76 cm^2	32 mm (1 ¼")	8.00 cm^2	92.5 cm

Fuente: Elaboración propia

3. Juntas de dilatación

Considerando un gradiente térmico de temperatura de 15 °C, un ancho de junta de 20 mm y un coeficiente de expansión térmica del concreto de 9.3 x 10^{-6} se determinó que la separación máxima entre juntas de dilatación es de 86 m, por lo que no es necesario el uso de juntas de dilatación en el proyecto.

4. Juntas de contracción

Se realizo el predimensionamiento mediante un cálculo analítico, utilizando un pasador de acero liso A36 con sección circular, cuyo esfuerzo de fluencia es de 250 MPa y esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 400 a 550 MPa, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 177: *Diámetros de acero requeridos para los pasadores utilizados en las juntas de contracción.*

Ubicación	Área de acero necesaria por metro lineal	Diámetro de acero a utilizar	Área de acero a utilizar
Interior de losa	4.14 cm^2	25 mm (1")	5.00 cm^2
Borde de losa	5.52 cm^2	32 mm (1 ¼")	8.00 cm^2

Fuente: Elaboración propia

Luego de seleccionar el diámetro del pasador, se procedió a verificar si el pasador más solicitado en una determinada sección será capaz de tomar la carga de diseño. Para esto, el pasador debe verificar simultáneamente los esfuerzos individuales de corte, flexión y aplastamiento, pero también los combinados de corte y flexión. (Becker & Chaix, 2019)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento

La verificación de la capacidad de corte por punzonamiento de los pasadores de acero liso A36 con sección circular de 32 mm (1 ¼") de diámetro que serán utilizados en el interior y borde de la losa, se muestran en la tabla 178.

Tabla 178: *Verificación de la capacidad de corte por punzonamiento para un diámetro de acero de 32 mm (1 ¼").*

Ubicación de carga	Capacidad de carga de corte	Carga en el punto de diseño ultimo	Criterio de aceptación
Carga en el interior	136.5 kN	70.6 kN	Correcto
Carga en el borde	127.3 kN	70.6 kN	Correcto
Carga de esquina	72.6 kN	70.6 kN	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Verificación de transferencia de cargas en juntas

Se realizo la verificación de transferencia de cargas en juntas ante la combinación de esfuerzos de corte y flexión, utilizando un pasador de acero liso A36 de sección circular, con un diámetro de 1 1/4" (32 mm), una longitud de 510 mm y espaciados cada 300 mm. obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la tabla 179.

Tabla 179: *Capacidad de carga del pasador para carga doble sobre la junta y carga producida por la combinación de esfuerzos de corte y flexión del pasador.*

Descripción	Resultado	Observación
Capacidad al corte del pasador P_{sh}	188.8 kN	---
Capacidad a flexión del pasador $P_{flexion}$	215.9 kN	---
$P_{combinación\ de\ esfuerzos}$	141.01 kN	
Capacidad individual del pasador para carga doble sobre la junta P_{carga}	115.68 kN	$P_{carga} \leq P_{combinacion\ de\ esfuerzos}$

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.6. SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS

Las juntas de control fueron diseñadas para dos tipos de losas sobre el suelo, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 180.

Tabla 180: *Espaciamiento de juntas en función al tipo de losa y la institución que recomienda el espaciamiento.*

Tipo de losa	Institución que recomienda el espaciamiento	Espaciamiento	Observación
Losa sin refuerzo	PCA	4.5 m	Concreto con asentamiento entre 10 a 15 cm y Tamaño máximo mayor a 19 mm
	ACI	4.2 m	Espaciamiento determinado en función al espesor de la losa y tipo de concreto.
Losas reforzadas para retracción y temperatura	Subgrade drag equation – ACI 360R-10	15.0 m	Equivalencia estructural entre una sección de concreto reforzada con malla electrosoldada y una sección de concreto reforzada con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.

Fuente: Elaboración propia

6.7. SELLADO DE JUNTAS

Para la presente investigación se contempla el uso de Sikaflex-11 FC+, el cual es un sellante elástico de juntas a base de poliuretano para interiores y exteriores, para el cual se dimensiono el reservorio de juntas obteniéndose los siguientes resultados:

- Ancho de junta requerido: 25.4 mm (1”)
- Profundidad de la altura del sellador de acuerdo con el factor de forma recomendado en la ficha técnica del sellador: 20 mm
- Diámetro del cordón de respaldo: 32 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.8. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

De acuerdo con el análisis de precios unitarios realizado, se presenta en la tabla 181 los precios de cada una de ellas:

Tabla 181: *Precios de las partidas con mayor incidencia en la construcción de pavimentos de concreto reforzados con fibras de acero.*

Descripción	Unidad	Precio (S/.)
Concreto f'c=280 kg/cm^2 para losas + 25 kg/m^3 de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG	M^3	555.42
Concreto Premezclado f'c=280 kg/cm^2 para losas + 25 kg/m^3 de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG	M^3	617.08
Concreto simple para losas f'c = 280 kg/cm2	M^3	361.90
Corte y sellado de juntas de contracción	M	22.67
Junta de contracción	M	12.26
Junta de contracción (incluye encofrado)	M	18.99
Junta de construcción (incluye encofrado)	M	33.04
Junta de dilatación e = 2.54 cm	M	15.37

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO VII

7. DISCUSIÓN

¿Qué aspectos se debe tomar en cuenta para diseñar pavimentos de concreto reforzado con fibras de acero para pisos industriales del sector logístico en la ciudad de Arequipa?

Respecto a los materiales empleados en las distintas capas de la estructura de soporte del pavimento, estos deben ser uniformes con el fin de constituir un cuerpo estable en optimo estado y garantizar un comportamiento regular, ya que los métodos de dimensionamiento desarrollados, se basan en la aplicación de la hipótesis de Westergaard, en la cual el pavimento se asimila a una placa delgada apoyada sobre un conjunto de resortes, en los que se verifica que en cada punto la tensión transmitida sea proporcional a la deformación vertical.

De acuerdo con el manual de carreteras, sección suelos y pavimentos publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), 2014 el material de subrasante es clasificado como material de categoría regular S_2. Respecto a la expansión del material, el manual de carreteras, ni ninguna otra publicación local establece algún limite que pueda afectar los resultados del dimensionamiento del pavimento en función a la expansión del material, por lo que, se recurrió al "Manual de pavimentos rígidos" publicado por el Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2006 el cual indica que los parámetros de aceptación del material de subrasante son: CBR superior o igual a 6% y una expansión inferior o igual a 2%. En caso de no verificar, se debe realizar un refuerzo de la subrasante, el cual debe presentar un CBR mayor que el de la subrasante, así como, una expansión menor o igual a 1%.

Tabla 182: *Relación aproximada entre índice de plasticidad, porcentaje de hinchamiento medido en el ensayo CBR y grado de expansibilidad.*

Índice de Plasticidad	Porcentaje de expansión	Grado de expansión
Hasta 10	Hasta 2	No expansivo
10 – 20	2 – 4	Moderadamente expansivo
Encima de 20	Encima de 4	Altamente expansivo

Reproducido de *"Manual de pavimentos rígidos"* por *Departamento Nacional de Infraestructura de transportes de Brasil (DNIT), 2005*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De acuerdo con los resultados obtenidos y considerando los parámetros de aceptación de la norma brasilera, el material de subrasante del proyecto no requiere reforzar las propiedades del material existente o ser sustituido por otro con características adecuadas.

Para evitar que ocurran fenómenos de bombeo se debe colocar una capa de subbase, la cual debe ser conformada por un material que tenga una muy baja tendencia a segregar finos en las condiciones de trabajo previstas evitando vacíos bajo la losa en la zona de juntas, por lo que se propone utilizar el material de subbase de la cantera evaluada, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La granulometría del material debe permitir que, después de ser ejecutada la capa de subbase y sometida a la acción de las operaciones logísticas, la consolidación del pavimento sea la menor posible.
- Dimensión máxima característica del agregado, igual o inferior a 1/5 del espesor de la capa de subbase.
- Porcentaje de material pasante de la malla #200 igual o menor que 35%.
- Índice de plasticidad igual o menor que 6%.
- Limite liquido máximo 25%.

Por lo que se considera una capa de subbase de 20 centímetros de espesor con un CBR mínimo de 30% compactado al 100% de la máxima densidad seca a 0.1” de penetración.

La guía de diseño ACI 360R-10 presenta información con métodos de dimensionamiento basados en la teoría de Westergaard que trabajan esencialmente con concreto simple, analizando las cargas que van a actuar sobre el pavimento, de tal manera, que la sección diseñada sea lo suficientemente capaz de resistir las cargas de operación previstas evitando asentamientos excesivos debido a la consolidación de la subrasante, sin necesidad de que se presente alguna fisura superficial en los pasadizos sin carga, mientras que el reporte técnico N°34 (TR-34) presenta un método de dimensionamiento basado en los trabajos de Meyerhof y Losberg, que considera el aporte estructural de la fibra metálica y un modo de falla, por efecto de una carga o combinación de ellas, basado en los requerimientos definidos por los estados límites últimos de servicio que toma en cuenta un criterio de rotura elastoplástico analizando la fluencia del material y considerando el esfuerzo máximo que puede soportar, lo cual no implica la ruina del pavimento, sólo indica que el pavimento para esa carga y en esa posición puede fisurarse si la resistencia del material no es mayor que la carga mínima exigida.

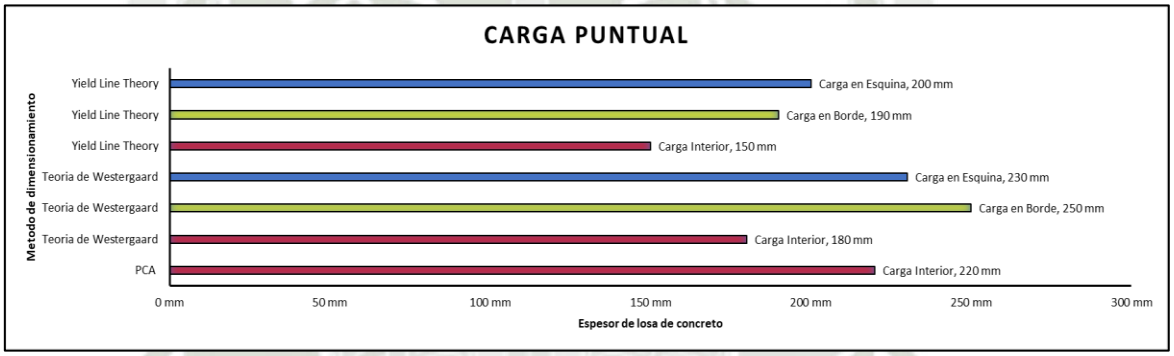
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

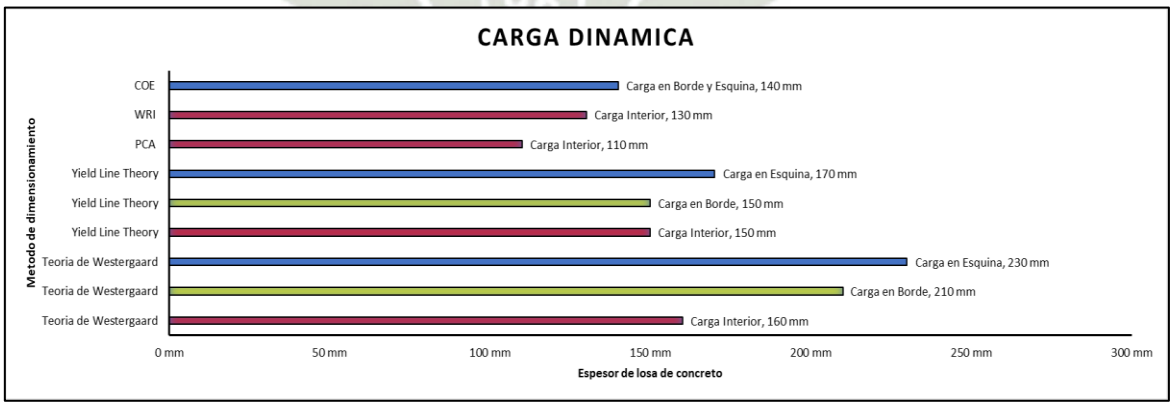
De acuerdo a los resultados obtenidos y mostrados en la figura 120 y 121 respectivamente, se infiere que los métodos de dimensionamiento analíticos permiten determinar el espesor mínimo requerido de la losa de concreto, determinando tensiones producidas por las solicitaciones que se tengan en cuenta y comparando estos resultados con los valores admisibles del material, que tienen en cuenta el aporte estructural de la fibra metálica en el concreto, mientras que, los métodos de dimensionamiento empíricos, limitan su uso a parámetros fijos como la capacidad de soporte del suelo, tipo de carga y ubicación de carga, no tienen en cuenta el aporte estructural del material de subbase, ni fibras y presentan variabilidad en los resultados de acuerdo a los factores de seguridad adoptados.

Figura 121: *Espesores mínimos requeridos de la losa de concreto utilizando distintos métodos de dimensionamiento para distintas ubicaciones de la carga puntual.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Figura 122: *Espesores mínimos requeridos de la losa de concreto utilizando distintos métodos de dimensionamiento para distintas ubicaciones de la carga dinámica.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

¿Qué implica diseñar las juntas de un pavimento industrial de concreto reforzado con fibras de acero y cómo determinar el espaciamiento?

El dimensionamiento del acero de las juntas utilizando métodos analíticos o recomendaciones de publicaciones asociadas al diseño de pavimentos industriales, debe verificar si el pasador más solicitado en una determinada sección será capaz de tomar la carga de diseño. Para esto, el pasador debe verificar simultáneamente los esfuerzos individuales de corte, flexión y aplastamiento, también verificar los esfuerzos combinados de corte y flexión. Si se producen cargas cerca de bordes libres o cerca de juntas que no tienen una adecuada transferencia de carga, se debe considerar que las tensiones aumentarán y que, por lo tanto, se debe aumentar el ancho de losa en un 25% (lo cual se debe lograr con una pendiente 1:1) para evitar el aumento de tensiones en esa zona.

Respecto a la separación de juntas, la metodología desarrollada utilizando la "Subgrade drag equation" publicada en el documento técnico ACI 360R-10, es un argumento suficiente para demostrar la equivalencia estructural entre una sección de concreto reforzada con malla electrosoldada y una sección de concreto reforzada con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG, ya que la cantidad de fibras aplicadas ofrece la misma capacidad resistente de la sección rectangular analizada, permitiendo un espaciamiento de 15 x 15 metros para juntas de contracción, obteniéndose un incremento considerable en relación al espaciamiento tradicional previsto por los códigos actuales, sin embargo, podrían observarse fenómenos de alabeo, que solo pudiesen ser evitados si se disminuye el espaciamiento, o con la aplicación de juntas de contracción tipo "Diamond Dowels", en el contorno de la losa.

Se debe enfatizar que para pisos con juntas muy espaciadas se deben considerar factores importantes como: excelente calidad de la subbase, sumo cuidado en el curado del concreto, perfecta trabajabilidad de la mezcla de concreto y continuidad de esta durante el proceso constructivo. La combinación de estas condiciones hace posible este tipo de solución, que no puede atribuirse únicamente al acto de añadir fibras al concreto. Cualquier descontrol en el proceso constructivo puede ocasionar problemas con el objetivo de lograr juntas muy espaciadas sin problemas de agrietamiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

¿Qué requerimientos debe cumplir el diseño de mezclas de concreto para su uso en pavimentos rígidos?

El concreto reforzado con fibras de acero utilizado en pavimentos industriales, al tener una superficie muy grande de exposición respecto al espesor que lo compone, debe cumplir propiedades características que ayuden a minimizar patologías asociadas al alabeo y retracción por secado, por lo que, el diseño de mezcla debe validarse en obra y satisfacer eficientemente las expectativas del proyecto.

Los distintos métodos para evaluar la granulometría integral de una combinación de agregados buscan facilitar la elección de los porcentajes de cada material que permita una distribución lo más continua y conveniente posible. Obtener y evaluar mediante la Carta de Shilstone y curva de la tarántula, las proporciones de agregados óptimas para realizar el diseño de mezclas de concreto, permite maximizar el desempeño de la mezcla a ser utilizada en la pavimentación, sin embargo, no siempre se puede cumplir con ambas metodologías, por lo que es conveniente, en primera instancia, ensamblar los agregados utilizando la carta de Shilstone para ubicarla en la zona II y posteriormente evaluar las proporciones de agregados con la curva de la tarántula, teniendo en cuenta que se permite que uno o hasta tres puntos se encuentren fuera o en las inmediaciones de sus límites.

Una de las mayores diferencias existentes entre los pavimentos y otros elementos estructurales de concreto que deben ser acabados, es, que los pavimentos no presentan encofrados en su cara vista como si lo hacen los muros, vigas y columnas, por lo que el acabado es una de las partes más importantes del proceso constructivo ya que le confiere sus características funcionales más importantes: regularidad, resistencia al desgaste y resistencia al deslizamiento, por lo que debe de cumplir las siguientes especificaciones técnicas:

- Trabajabilidad: Según el valor de asentamiento, debe cumplir con una consistencia fluida, de 10 a 15 cm.
- Resistencia: Una resistencia mínima de 280 kg/cm^2.
- Homogeneidad: Debe ser homogéneo en su consistencia, fraguado y suministro, con el fin de garantizar un comportamiento uniforme en el endurecimiento del concreto y no afectar la planicidad ni la estética del pavimento.

Para tener garantía de homogeneidad en la mezcla de concreto es necesario limitar las siguientes características:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Contenido de cemento: Contenido máximo de 360 kg/m^3 para evitar un endurecimiento muy rápido del concreto además de un excesivo calor de hidratación que pueda derivar en microfisuración superficial y un contenido mínimo de cemento de 275 kg/m^3 para garantizar un buen fraguado y acabado superficial.
- Contenido en aditivos plastificantes y/o fluidificantes: Con el fin de no provocar un fraguado desigual del concreto y el peligro de que el asentamiento no sea constante durante el suministro, el contenido de aditivos plastificantes (reductores de agua) como máximo debe ser 0.4% del peso del cemento empleado y el contenido de fluidificante (aumento de cohesión) como máximo debe ser 0.6% del peso del cemento empleado. Cuando ambos se combinan, el total de adiciones no debe superar el 1% del peso del cemento empleado.
- La relación agua – cemento debe limitarse a una máxima de 0.45 ± 0.2 para encofrado fijo. Cuando se exceden estos límites existe el riesgo de que exceso de agua no se hidrate con el cemento, y, por lo tanto, que esa agua libre ascienda a la superficie en forma de exudación alterando las propiedades superficiales del pavimento otorgando menor dureza y perdida de nivel, lo cual ocasiona acabados desiguales y problemas en la superficie (excesiva microfisuración y posibles despegues de la capa superficial).
- Fracción de pasta: Para evitar problemas en la ejecución y el comportamiento posterior, garantizando un buen acabado, se debe limitar la fracción de pasta entre 25% – 35%. Contenido de pasta por encima del máximo produce despegues superficiales, generando fisuras superficiales por exceso de finura y contenido de pasta por debajo del mínimo dificulta mucho el acabado al tener muy pocos finos, quedando oquedades en la superficie.
- Fracción de mortero: Un exceso de mortero ocasiona patologías asociadas a nivel de contracción del concreto. Limitándose entre 55 a 58% para agregado chancado y 53 a 55% para agregado de canto rodado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

¿Cuál es la resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG para dosificaciones de 20 kg/m^3, 25 kg/m^3, 30 kg/m^3, 35 kg/m^3 y 40 kg/m^3, respectivamente?

La capacidad de carga adicional (tenacidad) depende de las características de la fibra utilizada (material, relación de esbeltez, forma) y está directamente relacionada con el módulo de rotura del material, aumentando la capacidad adicional de soportar cargas una vez el concreto empiece a fallar por fisura y no como un aumento significativo de la resistencia a la flexión.

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras de acero estos presentan un coeficiente de variación mínimo para cada serie de vigas con distintas dosificaciones de fibras de acero, por lo que, se validan los resultados obtenidos y, por consiguiente, la resistencia residual.

De acuerdo con la investigación "Análisis de la correlación del módulo de rotura (MR) vs la resistencia a tracción indirecta (f't) y compresión (f'c) de concreto f'c = 280,300,350, 420 kgf/cm^2 para pavimento rígido con fibras de polipropileno y fibras metálicas a los 7,14 y 28 días de edad en la av. Metropolitana de la ciudad de Arequipa" realizada por los bachilleres: Yurela Flores y Juan Mendoza el año 2019, el módulo de rotura a los 28 días de edad para concreto reforzado con fibras de acero "Sikafiber LHO – 45/35 NB" utilizando agregados locales de la ciudad de Arequipa esta dado por la siguiente formula:

$$\text{MR} = 0.4994\ (\text{f}'\text{cr})^{0.7668} = 0.4994\ (280)^{0.7668} = 37.6\ \text{kgf/cm}^2$$

Sin embargo, la correlación obtenida no proporciona suficiente información para utilizar métodos analíticos de dimensionamiento de pavimentos industriales reforzados con fibras de acero, al omitirse lo siguiente:

- Dosificación de fibras metálicas, kg/m^3.
- Relación de esbeltez de la fibra metálica utilizada.
- Resistencia residual del concreto reforzado con fibras metálicas, %.
- Resistencia a la flexión residual en CMOD 0.5 mm o desplazamiento a 0.47 mm.
- Resistencia a la flexión residual en CMOD 3.5 mm. o desplazamiento a 3.02 mm.

Limitándose el uso del módulo de rotura obtenido a métodos empíricos de diseño, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 183.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 183: *Dimensionamiento del espesor de losa de concreto utilizando métodos empíricos de diseño de pavimentos industriales reforzados con fibras de acero mediante el uso de una correlación obtenida para el MR y f'c.*

Método de dimensionamiento	Carga	Ubicación de carga	Espesor de losa (pulg.)	Espesor de losa (mm.)
PCA	Estática	Interior	10.4	260
	Dinámica	Interior	6.4	160
WRI	Dinámica	Interior	7	175
COE	Dinámica	Borde	6.5	165

Fuente: Elaboración propia

¿Cuál es el impacto económico del uso de fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG?

De acuerdo con los distintos métodos de dimensionamiento, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 184: *Costo del concreto requerido de acuerdo con distintos métodos de dimensionamiento del pavimento.*

Método de dimensionamiento	Espesor de losa (m)	Área de losa (m^2)	Volumen de concreto (m^3)	P.U. (S/.)	Total (S/.)	Observación
PCA	0.225	1053	236.9	361.9	85726	Concreto Simple
Westergaard	0.18 (Interior)	940	169.3	555.42	109505	Concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60
	0.25 (Sobreancho)	106	26.5			
	0.18 ~ 0.25 (transición de sobreancho)	---	1.4			
Meyerhof	0.15 (Interior)	940	141.1	555.42	90749	Concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60
	0.20 (Sobreancho)	106	21.2			
	0.15 ~ 0.20 (transición de sobreancho)	---	1.2			

Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 185: *Costo de juntas para el concreto simple de acuerdo con las recomendaciones de la PCA.*

Tipo de concreto	Longitud (m)	P.U. (S/.)	Total (S/.)	Observación
Juntas de contracción	353	12.26	4322	Espaciamiento de juntas cada 4.5 m.
Juntas de dilatación	75	15.37	1156	

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 186: *Costo de juntas para el concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.*

Tipo de concreto	Longitud (m)	P.U. (S/.)	Total (S/.)	Observación
Juntas de contracción	49	12.26	605	Espaciamiento de juntas cada 4.5 m.
Juntas de dilatación	75	15.37	1156	

Fuente: *Elaboración Propia*

Finalmente, se obtienen los costos totales a partir de los distintos métodos de dimensionamiento.

Tabla 187: *Costo total de la losa de concreto utilizando concreto simple y concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG de acuerdo con distintos métodos de dimensionamiento.*

Método de dimensionamiento	Tipo de concreto	Costo total (S/.)
PCA	Simple	91203.76
Westergaard	Reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG	111265.87
Meyerhof	Reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG	92509.82

Fuente: *Elaboración Propia*

Se debe tener en cuenta que el costo puede variar de acuerdo con la cotización del concreto y la fibra de acero utilizada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos utilizando los métodos de dimensionamiento propuestos en los documentos técnicos ACI 360R-10 y TR-34, se concluye que el método de dimensionamiento "Yield Line Theory" permite obtener espesores de losa de concreto menores a los que se pueden obtener utilizando otros métodos de dimensionamiento.

   Los cálculos indican que el peor caso de carga ocurre en el borde de losa, por ende, la presencia de cargas no contempladas en el diseño podría causar un incremento de tensiones que afecte el ciclo de servicio de la losa. Teniendo en cuenta que no todas las zonas del paño trabajan con la misma efectividad, se decanta el concepto de sobre ancho que se encuentra estrechamente ligado al radio de rigidez relativa. Por ende, basado en el método de análisis de la carga ultima desarrollado por Meyerhof & Losberg, se determinaron los espesores mínimos necesarios para cumplir con cada una de las tres condiciones de carga de acuerdo con su ubicación, obteniéndose lo siguiente:

   - Espesor (H): 150 mm
   - Sobre ancho (HSa): 200 mm
   - Longitud de sobre ancho (LSa): 810 mm

   Con el espesor de la losa determinado para soportar los esfuerzos de flexión, se verifico la capacidad de corte por punzonamiento, considerando una sección cuadrada del apoyo de la estantería de 23 cm de lado para evitar que se produzcan fallos por compresión excesiva del concreto o por fenómenos de punzonamiento, concluyéndose que la capacidad de corte por punzonamiento está directamente relacionada con las dimensiones del ancho de apoyo de la estantería y que los esfuerzos cortantes que puedan aparecer, quedan suficientemente cubiertos por las consideraciones de proyecto propuestas para los espesores obtenidos.

2. De acuerdo al diseño analítico de juntas realizado, se concluye que las juntas de construcción (JCT) estarán conformadas por varillas de acero corrugado de 1" en el interior de la losa (h = 0.15 m.) y acero corrugado de 1 ¼" en el borde de la losa (h = 0.20 m.), ambos casos con una longitud de barra de 92.5 cm y espaciadas cada 91 cm; las juntas de contracción (JC) estarán conformadas por varillas de acero liso A36 de sección circular, con un diámetro de 1" en el interior de la losa (h = 0.15 m.)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

y 1 ¼" en el borde de la losa (h = 0.20 m.), ambos casos con una longitud de barra de 51 cm y espaciadas cada 30 cm; las juntas de contracción (JCD) que se utilicen para poner fin a la jornada de trabajo, estarán conformadas por varillas de acero liso A36 de sección circular con un diámetro de 1" en el interior de la losa (h = 0.15 m.) y 1 ¼" en el borde de la losa (h = 0.20 m.), ambos casos con una longitud de barra de 51 cm y espaciadas cada 30 cm, cubriendo la mitad del pasador con un tubo PVC – SAP de un diámetro mayor a la varilla de acero, siendo de 1 ¼" para el pasador de 1" y 1 3/8" para el pasador de 1 ¼", el cual deberá estar engrasado interiormente.

Para el sellado de juntas se contempla el uso de Sikaflex-11 FC+, el cual es un sellante elástico de juntas a base de poliuretano para interiores y exteriores, para el cual se dimensiono el reservorio de juntas obteniéndose los siguientes resultados:

- Ancho de junta requerido: 25 mm (1")
- Profundidad de la altura del sellador de acuerdo con el factor de forma recomendado en la ficha técnica del sellador: 20 mm
- Diámetro del cordón de respaldo: 32 mm

La separación de juntas alcanzable de acuerdo con la equivalencia estructural desarrollada utilizando la "Subgrade drag equation" es de 15.0 m, sin embargo, podrían observarse fenómenos de alabeo si se no se llevase un correcto proceso constructivo, por lo que, en el presente proyecto la separación de juntas será de 10.0 m, siendo 55% mayor al espaciamiento recomendado por la PCA y 58% mayor al espaciamiento recomendado por el ACI.

3. Los agregados utilizados en la presente investigación se ensamblaron utilizando 30% de la muestra 1 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1", 25% de la muestra 2 de agregado grueso cuyo T.M.N. es de 1/2" y 45% de agregado fino, con lo cual se obtiene una representación del factor de trabajabilidad y factor de grosor en la carta de Shilstone ubicado en la zona II, ideal para concretos a ser utilizados en pavimentos, de acuerdo con esta metodología. Asimismo, el análisis realizado, utilizando la curva de la tarántula, representa el ensamblaje de agregados en las proporciones propuestas y se observa que se cumple con el criterio de continuidad propuesto por esta metodología. También se observa que el porcentaje de arena gruesa (#8 - #30) es de 26.88%, el cual cumple con la cantidad mínima del 15% y el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

porcentaje de arena fina (#30 - #200) es de 25.38%, el cual se encuentra dentro del rango 25 – 40% para ser bombeado.

Con las proporciones del ensamblaje de agregados definidos y conocidas las constantes físicas de cada de uno de los materiales componentes para la elaboración de la mezcla de concreto, la dosificación en peso húmedo por metro cubico es la siguiente:

- Cemento: 385.11 kg/m^3
- Aditivo: 4.54 kg/m^3
- Agua: 199.06 L
- Grava 1": 487.02 kg
- Grava ½": 446.21 kg
- Arena gruesa: 775.82 kg

Del diseño de mezclas de concreto, se concluye que se cumplen con las especificaciones técnicas recomendadas para el uso de concreto en pisos industriales de acuerdo al documento ACI 302.1R-15, obteniéndose una fracción de pasta del 33.73% el cual se encuentra dentro del rango de 25% a 35% y una fracción de mortero de 58% el cual se encuentra dentro del rango de 55% a 58%, cumpliendo con los parámetros recomendados para su uso en pavimentos industriales de concreto reforzado con fibras de acero.

4. La resistencia a flexión y resistencia residual del concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG se determinó utilizando una probeta prismática, cargada en el tercio medio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 188: *Modulo de rotura y resistencia residual promedio para distintas adiciones de fibra metálica Dramix 4D 65/60 BG a 28 días.*

Adición de fibra metálica Dramix 4D 65/60 (kg/m^3)	Módulo de rotura (MPa)	Resistencia residual promedio (Re,3) %
20	4.46	64.6
25	4.53	69.7
30	4.68	74.4
35	4.69	81.0
40	4.79	86.2

Fuente: *Elaboración Propia*

La teoría del espaciamiento de McKee determina la dosificación mínima optima de fibra metálica requerida en la mezcla de concreto reforzado con fibras de acero.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5. El impacto económico de utilizar fibras de acero como refuerzo del concreto en el presente caso de estudio es del 1.4% más costoso que utilizar concreto simple sin refuerzo, esto debido a los espesores de losa obtenidos y la disminución de juntas de contracción por el espaciamiento logrado utilizando fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.

GENERALES

6. El módulo de rotura de diseño para el concreto reforzado con fibras de acero de acuerdo con la guía de diseño de losas de concreto apoyadas sobre el suelo ACI 360R-10, está definido por el resultado entre el factor de esfuerzo residual para la dosificación de fibras metálicas seleccionada y el módulo de ruptura del concreto obtenido en laboratorio.
7. Se debe prestar atención al porcentaje de absorción de los agregados utilizados en la mezcla de concreto del pavimento industrial, ya que al presentar porcentajes elevados de absorción el contenido de agua de la mezcla de concreto puede presentar variabilidad afectando la trabajabilidad, resistencia y homogeneidad de esta.
8. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que la carga estática transmitida por la estantería produce mayores tensiones a la losa de concreto, que la originadas por la carga dinámica, por ende, tiene mayor incidencia en la determinación final del dimensionamiento de la losa de concreto, además, las cargas puntuales en la proximidad de juntas sin dispositivos de transmisión de cargas producen tensiones superiores a las localizadas en el interior de losas.
9. El uso de correlaciones para determinar el módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de acero, solo son aplicables para dimensionar el espesor de la losa de concreto mediante métodos empíricos, los cuales limitan su uso a parámetros fijos como la capacidad de soporte del suelo, tipo y ubicación de carga, sin tener en cuenta el aporte estructural de las fibras metálicas, conduciendo a la obtención de espesores conservadores los cuales afectan directamente el presupuesto del proyecto. Las correlaciones que se efectúen para el control de calidad del concreto deben ser realizadas con los datos obtenidos de los materiales utilizados en el proyecto y no se deriven de otros.
10. El módulo de elasticidad de las fibras de acero es aproximadamente veinte veces mayor al módulo de elasticidad de las fibras plásticas, por lo que, de acuerdo con la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ley de Hooke, un mayor módulo de elasticidad es equivalente a pequeñas deformaciones unitarias, las cuales se reflejan en apertura de fisuras más controladas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el control de calidad de la resistencia a la compresión del concreto contemple aproximadamente un 10% de caídas por debajo del f'c, mientras no caigan en más de 35 kg/cm^2 o el 10% del f'c, lo cual es bastante conservador si se toma en cuenta que en las fórmulas de diseño se aplican factores de reducción al módulo de rotura y se aplican factores de seguridad que incrementan las cargas teóricas calculadas. El motivo principal de esta recomendación es que las fórmulas que definen el f'cr están basadas en la distribución probabilística normal, la cual no es realista con un material tan heterogéneo como el concreto, ya que la ley de probabilidades no es absoluta, y en consecuencia la norma E.060 como el ACI 318 admiten aproximadamente un 10% de caídas por debajo del f'c con las fórmulas que establecen para el f'cr.
2. Se recomienda verificar los espesores de la losa de concreto obtenidos mediante métodos analíticos de dimensionamiento de pavimentos industriales con modelos computacionales de elementos finitos que permitan determinar esfuerzos y deformaciones de la estructura del pavimento por acción de las cargas actuantes mediante un análisis estructural lineal y no lineal.
3. Muestrear una cantidad considerable de material, con el fin de realizar una correcta caracterización del material y garantizar que se cumpla con las especificaciones técnicas del proyecto, ya que los materiales empleados en las diferentes capas de la estructura de los pavimentos industriales cumplen un rol importante, solo que muchas veces, la deficiencia relativa de los materiales acaba siendo encubierta y hasta erróneamente imputada a la ejecución.
4. Utilizar los factores de seguridad recomendados de acuerdo con la metodología de dimensionamiento utilizada, con el objetivo de considerar posibles cambios respecto de las magnitudes de las cargas y, sobre todo, los efectos dinámicos de los equipos móviles al realizar maniobras bruscas (freno, arranque, giro, etc.) o eventuales cargas accidentales.
5. Se recomienda realizar y ejecutar un plan de mantenimiento y conservación de la losa de concreto con el objetivo de maximizar el nivel de operación del pavimento industrial.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6. Un aspecto importante para tomar en consideración es el aspecto económico, ya que una subbase bien ejecutada, respetando los niveles de tolerancia, conlleva a ejecutar el espesor de losa de concreto dimensionado de manera correcta.
7. Se recomienda que el suministro del concreto reforzado con fibras de acero sea mediante concreto premezclado, ya que, al tener procesos controlados de producción, se espera que el concreto proporcionado tenga la menor cantidad de vacíos, empleando los porcentajes apropiados de agregados finos y gruesos a combinar para obtener mediante un ajuste racional una optimización de desempeño.
8. No es conveniente utilizar la regla de 3 metros para medir las irregularidades existentes en la superficie del pavimento ya que no está sujeto a un ensayo normalizado en el que se explique cómo hay que hacer la medida, cuantas medidas y donde realizarlas. Tampoco permite distinguir si el pavimento esta horizontal o no (no mide nivelación, solo planicidad) ya que mide únicamente la amplitud de la irregularidad, pero no su longitud de repetición, que tiene una importante incidencia en la circulación de vehículos. La medición debe realizarse utilizando un aparato denominado DIPSTICK o con equipos topográficos.
9. Se debe establecer de forma muy clara las necesidades a cubrir con el proyecto, a fin de poder diseñar el pavimento industrial de forma idónea. En ese sentido, el conocimiento de los requerimientos del pavimento de acuerdo al sector industrial, deben ser transmitidos e incluidos en el diseño, para que una vez construido, cuente con unas características finales que le permitan satisfacer las necesidades para las cuales fue proyectado y ejecutado, definiendo el uso de lámina plástica bajo la losa de concreto, tipo de encofrado, sistema de transferencia de cargas, modulación de juntas, acabado superficial y planimetría requerida con el objetivo de evitar interrupciones de operación, disminuir el riesgo de reparaciones y alargar la vida útil del pavimento industrial.

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

1. Realizar la evaluación del concreto en estado fresco y endurecido utilizando la capacidad de resistencia residual de fibras de acero con diferentes relaciones de esbeltez y gancho en los extremos.
2. Investigar diseños de concreto de retracción compensada y concreto de baja contracción con insumos locales como propuestas de solución para pavimentos industriales sin juntas de contracción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3. Analizar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, elaborado con insumos locales utilizando la carta de Shilstone y la curva de la tarántula.
4. Complementar la investigación, determinando el espesor de la losa requerido utilizando métodos computacionales de elementos finitos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute ACI. (2010). *Guide to Design of Slabs-on-ground.* Report ACI 360R-10, Farmington Hills, M.

AEPC. (2020). *Manual de diseño, proyecto y planificacion de pavimentos continuos*. Asociacion Española de Pavimentos Continuos .

ASTM C1157. (2000). *Especificacion Estandar de desempeño para cemento hidraulico.* Subcomite C01.10 sobre Cementos Hidraulicos para Construccion General de Concreto.

ASTM C150. (2000). *Especificacion Estandar para Cemento Portland.* Subcomite C01.10 sobre Cementos Hidraulicos para Construccion General de Concreto.

ASTM C595. (2000). *Especificacion estandar para cementos adicionados.* Subcomite C01.10 sobre Cementos Hidraulicos para Construccion General de Concreto.

ASTM D420. (2018). *Guía estándar para la caracterización del sitio con fines de diseño de ingeneria y construcción.* Subcomite D18.01 sobre Caracterizacion superficial y Subsuperficial

ASTM D2216. (2019). *Metodo de prueba estandar para la determinacion de laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa*. Subcomite D18.03 sobre Caracteristicas de textura, plasticidad y densidad de los suelos.

ASTM D6913/D6913M. (2017). *Metodo de prueba estandar para la distribucion del tamaño de particula (gradacion) de los suelos mediante analisis de tamiz.* Subcomite D18.03 sobre Caracteristicas de textura, plasticidad y densidad de los suelos.

ASTM D4318. (2017). *Metodo de prueba estandar para limite liquido, limite plastico e indice de plasticidad de suelos.* Subcomite D18.03 sobre Caracteristicas de textura, plasticidad y densidad de los suelos.

ASTM D854. (2014). *Metodos de prueba estandar para la gravedad especifica de los solidos del suelo por el picnometro de agua.* Subcomite D18.03 sobre Caracteristicas de textura, plasticidad y densidad de los suelos.

ASTM D2419. (2014). *Metodo de prueba estandar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.* Subcomite D04.51 sobre Pruebas de Agregados.

ASTM D4791. (2019). *Metodo de prueba estandar para la determinacion de particulas chatas y alargadas en agregado grueso.* Subcomite D04.51 sobre Pruebas de Agregados.

ASTM D1557. (2012). *Metodo de prueba estandar para las caracteristicas de compactacion de laboratorio del suelo utilizando esfuerzo modificado (56000 ft-lbf/ft^3 (2700 kN-m/m^3)).* Subcomite D18.03 sobre Caracteristicas de textura, plasticidad y densidad de los suelos.

ASTM D1883. (2016). *Metodo de prueba estandar para determinar La Relacion de Soporte de California (CBR) de suelos compactados en laboratorio.* Subcomite D18.05 sobre Resistencia y Compresibilidad de suelos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ASTM C566. (2019). *Metodo de prueba estandar para el contenido total de humedad evaporable del agregado por secado.* Subcomite C09.20 sobre Agregados.

ASTM C136/C136M. (2019). *Metodo de prueba estandar para el analisis de tamiz de agregados finos y gruesos.* Subcomite C09.20 sobre Agregados.

ASTM C142/C142M. (2017). *Metodo de prueba estandar para terrones de arcilla y particulas friables en agregados.* Subcomite C09.20 sobre Agregados.

ASTM C117 (2017). *Metodo de prueba estandar para materiales de tamiz superior a 75 µm (N° 200) en agregados minerales mediante lavado.* Subcomite C09.20 sobre Agregados.

ASTM C123/C123M. (2014). *Metodo de prueba estandar para particulas ligeras en el agregado.* Subcomite C09.20 sobre Agregados de Peso Normal.

ASTM C131/C131M. (2014). *Metodo de prueba estandar para resistencia a la degradacion de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasion e impacto de la maquina de Los Angeles.* Subcomite C09.20 sobre Agregados de Peso Normal.

ASTM C40/C40M. (2020). *Metodo de prueba estandar para impurezas organicas en agregados finos para concreto.* Subcomite C09.20 sobre Agregados.

ASTM C29/C29M. (2017). *Metodo de prueba estandar para densidad aparente ("peso unitario") y vacios en el agregado.* Subcomite C09.20 sobre Agregados de Peso Normal.

ASTM C127 (2015). *Metodo de prueba estandar para densidad relativa (gravedad especifica) y absorcion de agregado grueso.* Subcomite C09.20 sobre Agregados de Peso Normal.

ASTM C128 (2015). *Metodo de prueba estandar para densidad relativa (gravedad especifica) y absorcion de agregado fino.* Subcomite C09.20 sobre Agregados de Peso Normal.

ASTM C78/C78M. (2018). *Standar Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading).* Subcommitte C09.42 on Fiber Reinforced Concrete.

ASTM C1399/C1399M. (2015). *Metodo de prueba estandar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibra.* Subcomite C09.42 sobre Concreto Reforzado con fibras.

Becker, E. A., & Chaix, B. (2018). Pisos Industriales de Hormigon. Diseño, construccion y mantenimiento. -1a ed. - Diseño Editorial. Buenos Aires, Argentina.

Calo D., Polzinetti M. (2014). *Manual de diseño y construccion de pavimentos de hormigon.* Buenos aires, Argentina. Instituto del Cemento Portland Argentino.

Camarero A., Albrecht G. y Perez F. (2019). *Recomendaciones para el proyecto y construccion de pavimentos portuarios.* 1ra Ed. Puertos del estado. Rom 4.1-18. Madrid, España.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Concrete Society Technical Report N° 34. (2016). *Concrete Industrial Ground Floors.* A guide to design and construction 4th edition. The Concrete Society UK

Escámez Sánchez, A. (2020). *Experto en diseño y ejecucion de soleras de edificaciones industriales*.

Firme P., Macedo B. y Rodriguez J. (2015). *Novos critérios para pavimentos industriais de concreto armado.* São Paulo, Brasil. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas.

Gallovich A., Rossi B, Perri G, et al. (2014). *Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo del Hormigon. Manual Tecnico.* Maccaferri America Latina

Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigon. (2018). *Manual de diseño de pavimentos IBCH.* La paz, Bolivia.

Jofre C. y Vaquero J. (2000). *Manual de pavimentos industriales.* Madrid, España. Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones.

Knapton Jhon (2003). *Ground bearing concrete slabs.* London, UK.

Matallana Rodriguez, R. (2019). *El concreto. Fundamentos y nuevas tecnologias.* Corona. Colombia

National Concrete Pavement Technology Center. (2019). *Integrated Materials and Construction Practices for concrete Pavement.* Iowa, US. Federal Highway Administration.

NTP 339.152 (2015). *SUELOS Metodo de ensayo normalizado para la determinacion del contenido de sales solubles en suelos y agua subterranea*. Comision de Normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.

NTP 334.001. (2011). *CEMENTOS. Definicion y nomenclatura.* Comision de Normalizacion y de fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.

NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* Direccion de normalizacion - INACAL.

NTP 339.185 (2013). *AGREGADOS Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Comision de Normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.

NTP 400.012 (2013). *AGREGADOS Analisis granulometrico del agregado fino, grueso y global*. Comision de Normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.

NTP 400.017 (2011). *AGREGADOS Metodo de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacios en los agregados*. Comision de Normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

NTP 400.019 (2014). *AGREGADOS Metodo de ensayo normalizado para la determinacion de la resistencia a la degradacion en agregados gruesos de tamaños menores por abrasion e impacto en la maquina de Los Angeles.* Comision de Reglamentos Tecnicos y Comerciales - INDECOPI.

NTP 400.021. (2018). *AGREGADOS Metodo de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso especifico) y absorcion del agregado grueso.* Direccion de Normalizacion - INACAL.

NTP 400.022. (2018). *AGREGADOS Metodo de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso especifico) y absorcion del agregado fino.* Direccion de Normalizacion - INACAL.

NTP 400.042. (2016). *AGREGADOS Metodo de ensayo para la determinacion cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en agua para agregados en concreto.* Direccion de Normalizacion - INACAL.

NTP 339.035. (2015). CONCRETO *Metodo de ensayo para la medicion del asentamiento del concreto de cemento Portland. D*ireccion de Normalizacion - INACAL.

NTP 339.046. (2013). HORMIGON (CONCRETO) *Metodo de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (metodo gravimetrico) del hormigon (concreto). Comision de normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.*

NTP 339.088. (2006). HORMIGON (CONCRETO) *Agua de mezcla utilizada en la produccion de concreto de cemento Portland. Requisitos. Comision de Reglamentos Tecnicos y Comerciales - INDECOPI.*

NTP 339.034 (2015). CONCRETO *Metodo de ensayo normalizado para la determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas.* Direccion de Normalizacion - INACAL.

Pasquel, E. (2020). *Mitos y realidades de los diseños de mezcla de concreto*. Recuperado de https://www.youtube.com/.

Pasquel, E. (1998). *Topicos de tecnologia del concreto en el Perú.* Lima, Perú. Colegio de Ingenierios del Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

Salsilli Murúa, R. (2013). *Manual de diseño de pisos industriales.* Santiago, Chile. Instituto del Cemento y del Hormigon de Chile.

Shilstone, J. M. (1990). *Optimizacion de mezclas de concreto.* Concrete International.

Sika Colombia S.A. (2014). *Concreto reforzado con fibras.* Colombia.

Tommy Wong, B. (2017). *A guide to design and construction of Macro Synthetic Fibre Reinforced Ground Supported Slabs - Industrial Concrete Floors and Pavements.* Elasto Plastic Concrete.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

ANEXO A: PANEL FOTOGRAFICO

Figura 123: *Exploración de campo para realización del estudio geotécnico.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 124: *Cuarteo, contenido de humedad y análisis granulométrico del material de subrasante.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 125: *Análisis granulométrico del material de subrasante.*



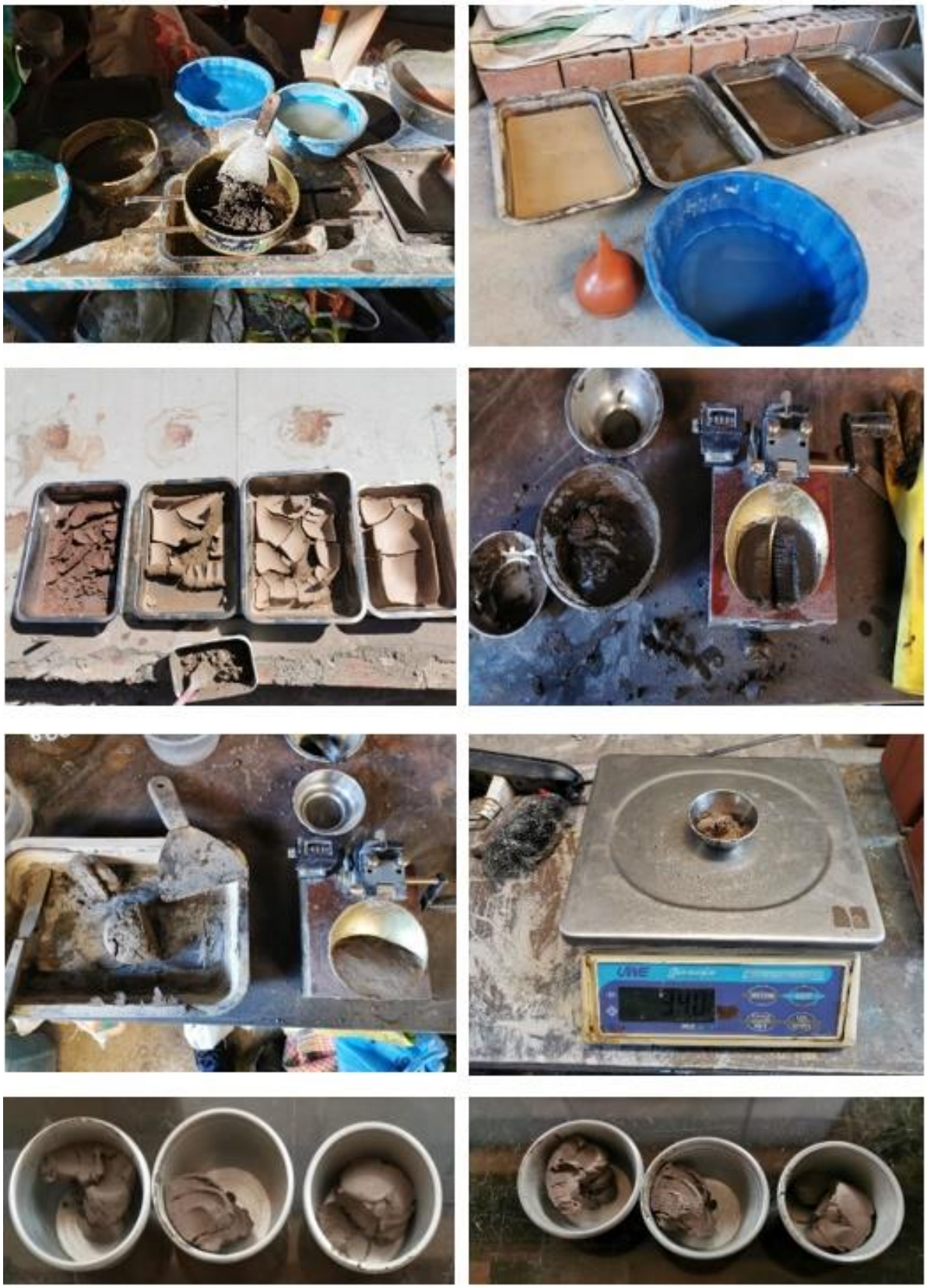
Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 126: *Limites de consistencia del material de subrasante*.



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 127: *Gravedad especifica de los sólidos del material de subrasante.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 128: *Ensayo de Proctor y CBR del material de subrasante.*



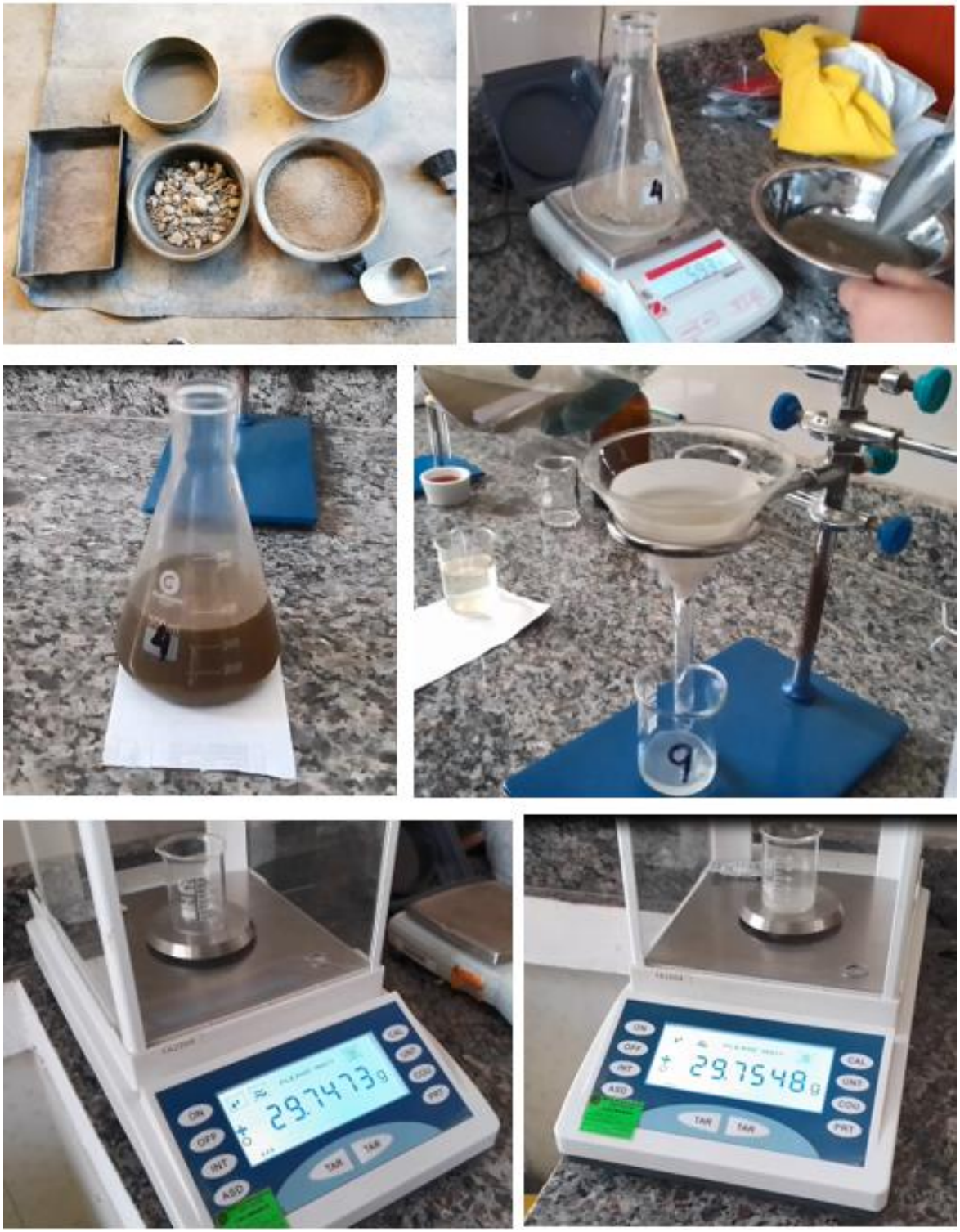
Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 129: *Contenido de sales solubles del material de subrasante.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 130: *Contenido de cloruros del material de subrasante.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 131: *Análisis granulométrico del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 132: *Limites de consistencia del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 133: *Partículas chatas y alargadas del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 134: *Abrasión al desgaste del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 135: *Ensayo de Proctor y CBR del material de subbase*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 136: *Ensayo de equivalente de arena del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 137: *Ensayo de sales solubles del material de subbase.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 138: *Análisis granulométrico de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 139: *Ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 140: *Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz #200 de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 141: *Ensayo de carbón y lignito de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 142: *Ensayo de resistencia mecánica de los agregados – abrasión (método de los ángeles) de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 143: *Ensayo de equivalente de arena del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 144: *Ensayo de impurezas orgánicas del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Figura 145: *Ensayo de contenido de sulfatos solubles y contenido de cloruros de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



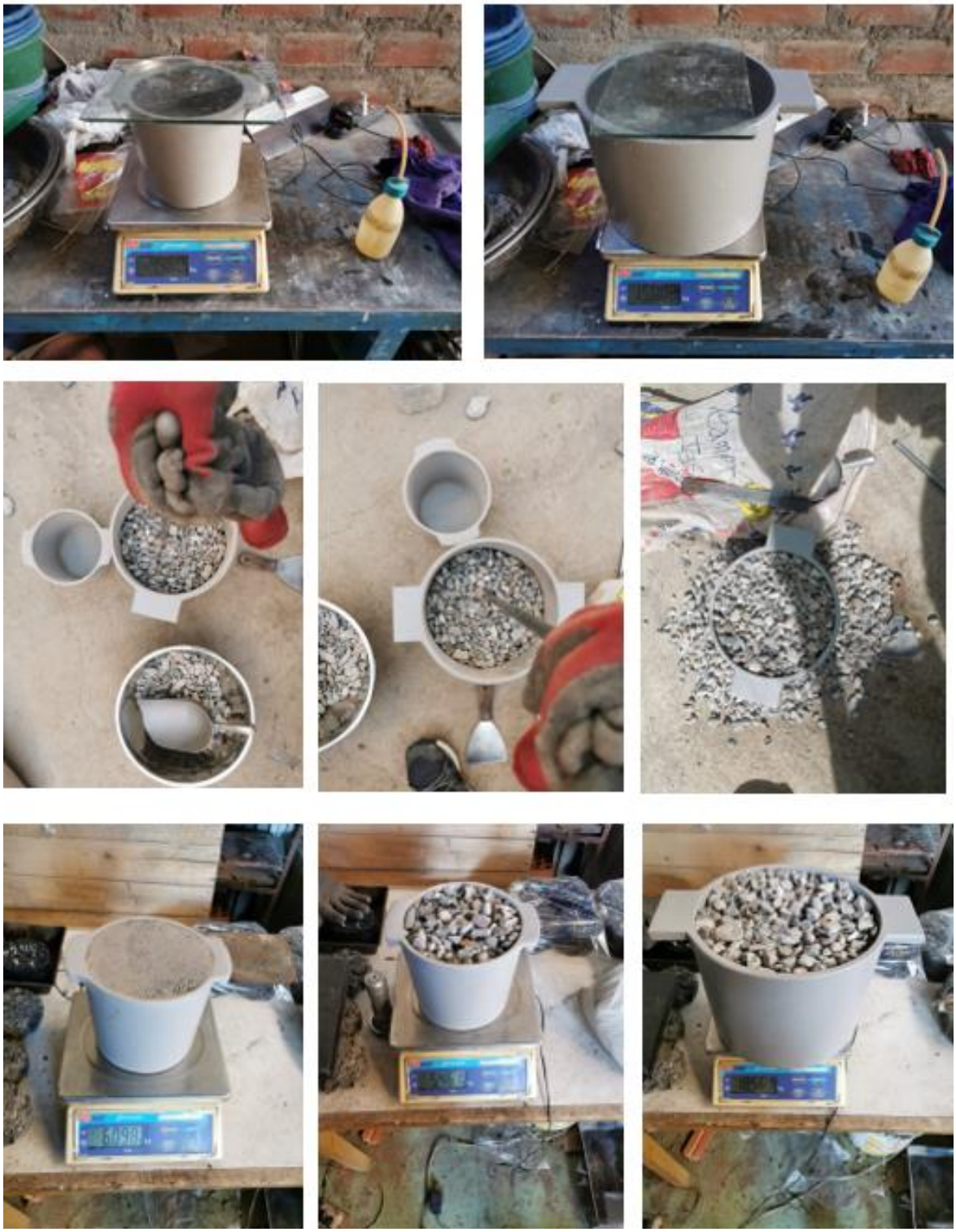
Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 146: *Ensayo de peso unitario suelto y peso unitario compactado de los agregados utilizados para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 147: *Ensayo de gravedad especifica y absorción del agregado grueso utilizado para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 148: *Ensayo de gravedad especifica y absorción del agregado fino utilizado para la elaboración del concreto.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 149: *Elaboración del concreto y muestreo en probetas cilíndricas utilizando fibras metálicas dramix 4D 65/60 BG.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 150: *Curado de probetas cilíndricas y probetas prismáticas de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 151: *Curado y rotura de probetas prismáticas de concreto reforzado con fibras de acero Dramix 4D 65/60 BG.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 152: *Proceso constructivo – Corte y Relleno de la plataforma*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 153: *Proceso constructivo – Densidad de campo, sobreancho de losa, Juntas de borde en pedestales, Acero de parapetos, Juntas de contracción y Junta de dilatación.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 154: *Proceso constructivo – Vaciado de concreto de losa y acabado superficial.*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 155: *Proceso constructivo – Acabado de losa, corte de juntas y curado de losa,*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 156: *Proceso constructivo – Curado de losa y sellado de juntas,*



Fuente: *Elaboración Propia*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO B: CONSTANCIA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

RCF S.R.L.
ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN OBRAS CIVILES

CONSTANCIA

El que suscribe, **Ing. Roberto Cáceres Flores**, gerente del Laboratorio RCF S.R.L.

HACE CONSTAR

Que el Señor Bachiller en Ingeniería Civil:

YEAMPIER PARIENTE QUENTA **DNI: 72190947**

Ha realizado ensayos en el Laboratorio RCF S.R.L correspondiente a su trabajo de tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA".** Los ensayos fueron realizados del 07 de junio de 2021 al 02 de setiembre de 2021.

Los ensayos efectuados por el Bachiller fueron los siguientes:

ENSAYOS	CANTIDAD
Contenido de Humedad	6
Análisis Granulométrico	6
Límites de Atterberg	6
Gravedad Específica y Absorción	5
Proctor Modificado	4
CBR	4
Equivalente de Arena	2
Abrasión Los Ángeles	2
Sales Solubles	3
Partículas Chatas y Alargadas	2
Terrones de Arcillas y Partículas Deleznables	2
Material que pasa la Malla 75 µM (N° 200)	2
Carbón Y Lignito	2
Impurezas Orgánicas	1
Contenido de Sulfatos	2
Contenido de Cloruros	2
Peso Unitario Suelto Y Compactado	2
Asentamiento	1
Contenido De Aire	1
Peso Unitario	1
Resistencia A La Compresión	6
Resistencia A La Flexión	18

Se expide la presente constancia a favor del interesado para continuidad de sus trámites de titulación.

Arequipa, 07 de Setiembre del 2021

ROBERTO B. CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

Nº 045492

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo estan relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

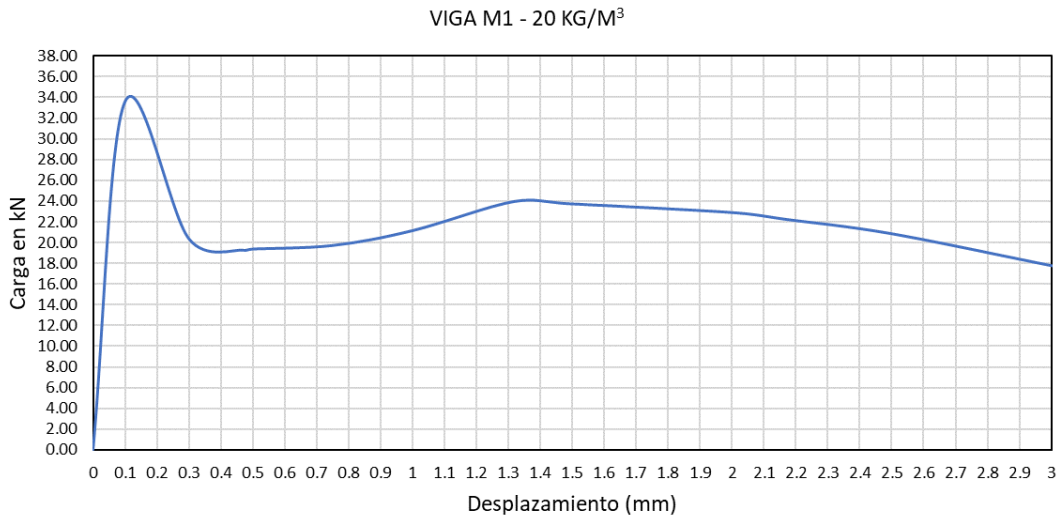
ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Tabla 189: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-20 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M1 – 20 kg/m^3	150	150	450	0.1	33.60	4.48
				0.5	19.37	2.71
				1.0	21.14	2.82
				1.5	23.72	3.16
				2.0	22.89	3.05
				2.5	20.84	2.78
				3.0	17.77	2.37

Fuente: Elaboración propia

Figura 157: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-20*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 157 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 65.13 kN.mm
- Pe,3: 21.71 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 2.91 N/mm^2
- Re,3: 64.6 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

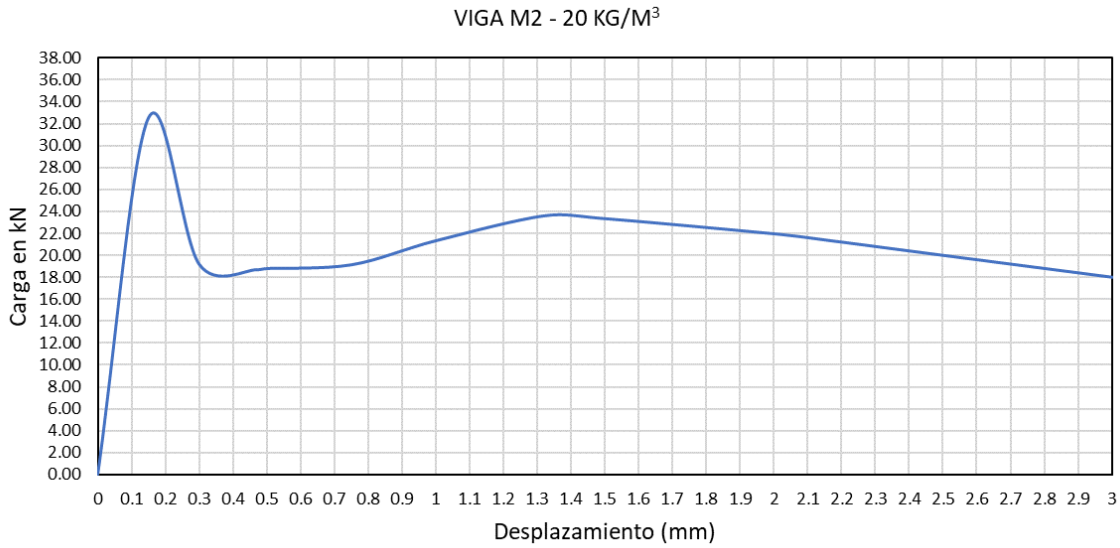
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 190: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-20 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M2 – 20 kg/m^3	150	150	450	0.15	32.56	4.34
				0.5	18.80	2.56
				1.0	21.34	2.85
				1.5	23.36	3.11
				2.0	21.98	2.93
				2.5	20.01	2.67
				3.0	18.02	2.40

Fuente: Elaboración propia

Figura 158: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-20*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 158 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 63.04 kN.mm
- Pe,3: 21.01 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 2.80 N/mm^2
- Re,3: 64.5 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

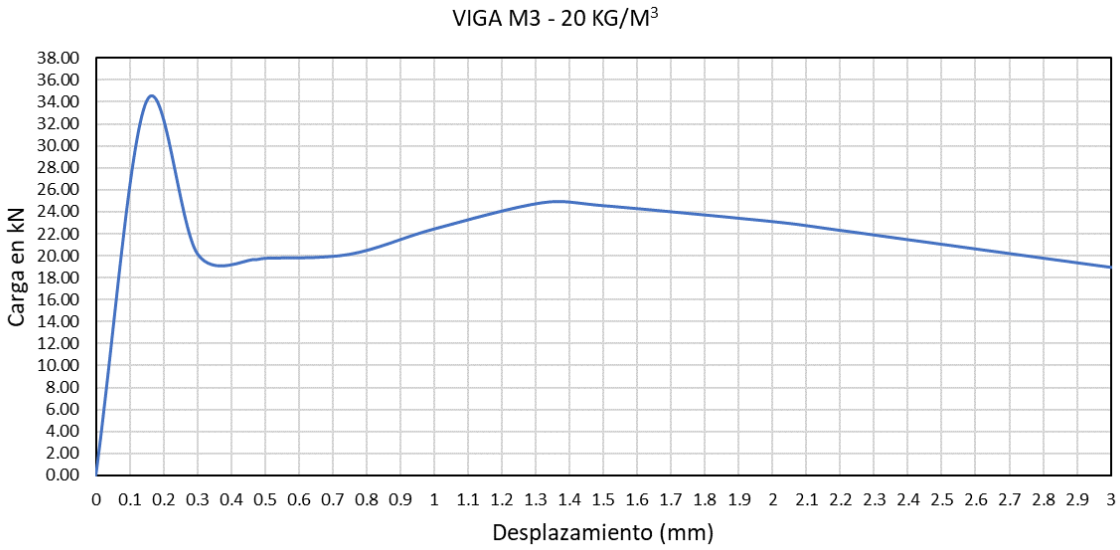
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 191: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-20 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M3 – 20 kg/m^3	151	149	450	0.15	34.04	4.57
				0.5	19.74	2.65
				1.0	22.41	3.01
				1.5	24.53	3.29
				2.0	23.07	3.10
				2.5	21.01	2.82
				3.0	18.92	2.54

Fuente: Elaboración propia

Figura 159: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-20*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 159 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 66.17 kN.mm
- Pe,3: 22.06 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 2.96 N/mm^2
- Re,3: 64.8 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

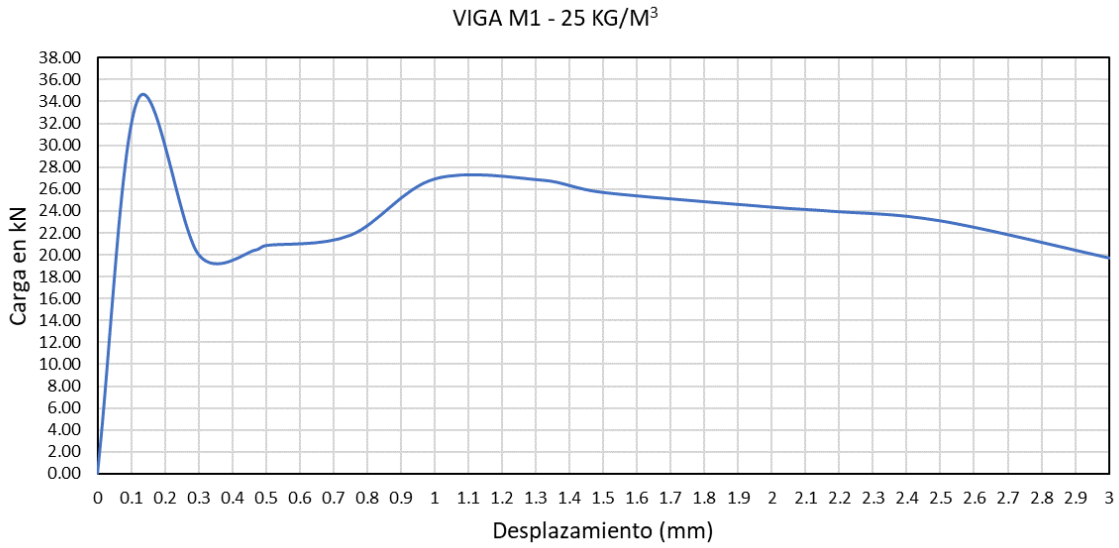
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 192: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-25 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M1 – 25 kg/m^3	152	150	450	0.12	34.16	4.49
				0.5	20.82	2.63
				1.0	26.90	3.54
				1.5	25.67	3.38
				2.0	24.33	3.20
				2.5	23.07	3.04
				3.0	19.69	2.59

Fuente: Elaboración propia

Figura 160: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-25*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 160 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 71.14 kN.mm
- Pe,3: 23.71 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.12 N/mm^2
- Re,3: 69.4 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

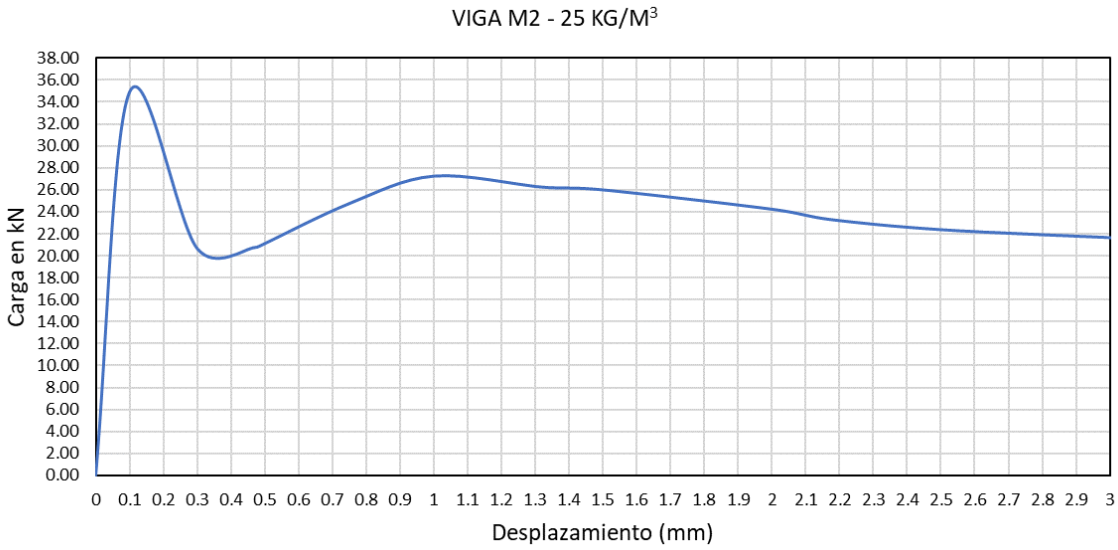
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 193: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-25 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M2 – 25 kg/m^3	152	150	450	0.1	34.92	4.59
				0.5	21.11	2.72
				1.0	27.26	3.59
				1.5	26.01	3.42
				2.0	24.24	3.19
				2.5	22.38	2.94
				3.0	21.65	2.85

Fuente: Elaboración propia

Figura 161: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-25*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 161 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 72.54 kN.mm
- Pe,3: 24.18 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.18 N/mm^2
- Re,3: 69.2 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

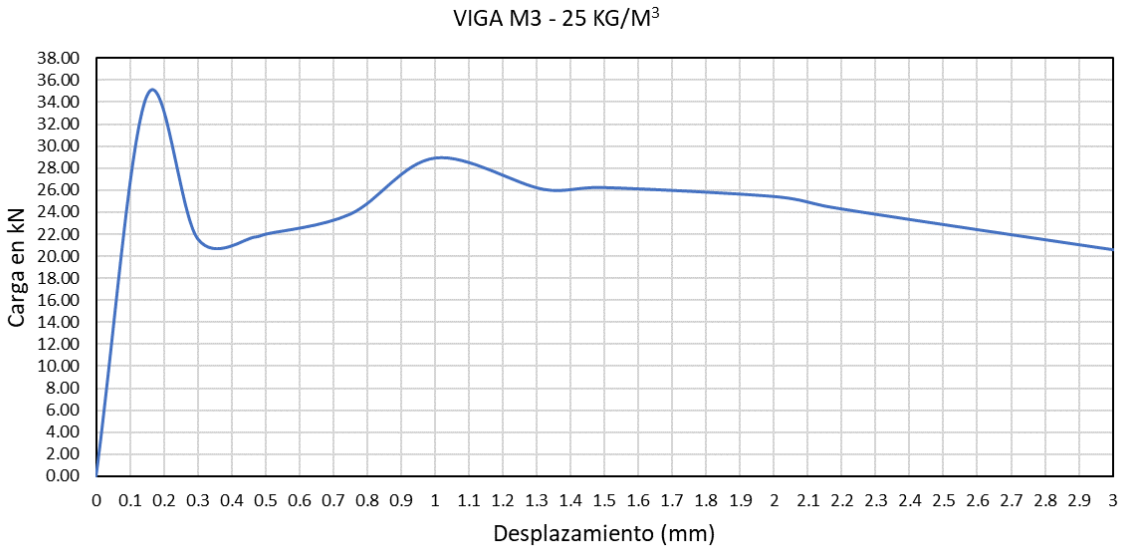
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 194: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-25 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M3 – 25 kg/m^3	151	151	450	0.15	34.54	4.51
				0.5	21.97	2.82
				1.0	28.89	3.78
				1.5	26.21	3.43
				2.0	25.40	3.32
				2.5	22.85	2.99
				3.0	20.56	2.69

Fuente: Elaboración propia

Figura 162: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-25*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 162 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 73.13 kN.mm
- Pe,3: 24.38 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.19 N/mm^2
- Re,3: 70.6 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

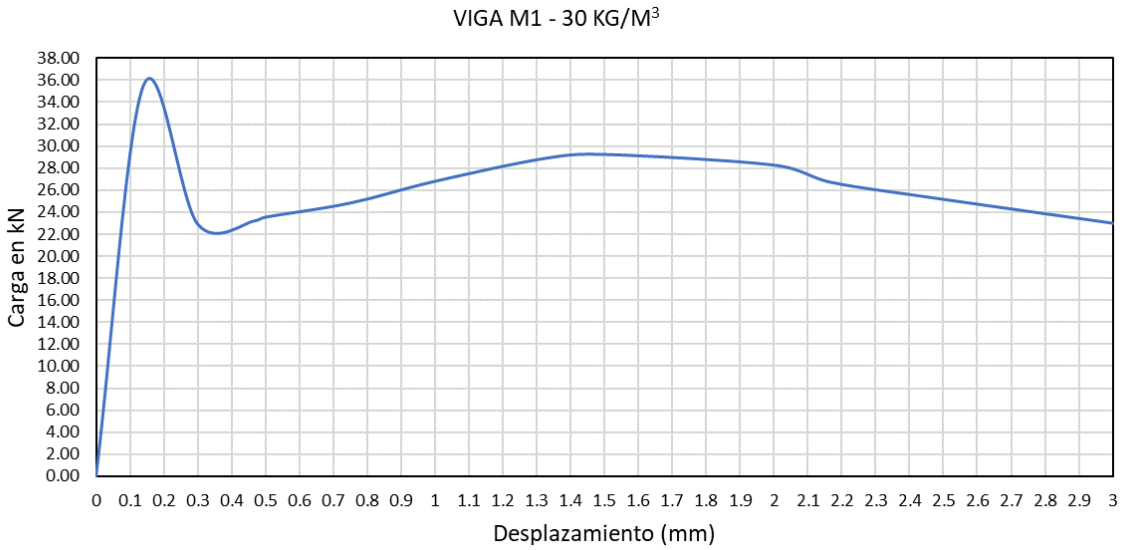
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 195: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-30 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M1 – 30 kg/m^3	152	150	450	0.14	35.50	4.67
				0.5	23.52	3.01
				1.0	26.78	3.52
				1.5	29.22	3.84
				2.0	28.26	3.72
				2.5	25.15	3.31
				3.0	22.97	3.02

Fuente: Elaboración propia

Figura 163: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-30*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 163 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 78.47 kN.mm
- Pe,3: 26.16 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.44 N/mm^2
- Re,3: 73.7 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

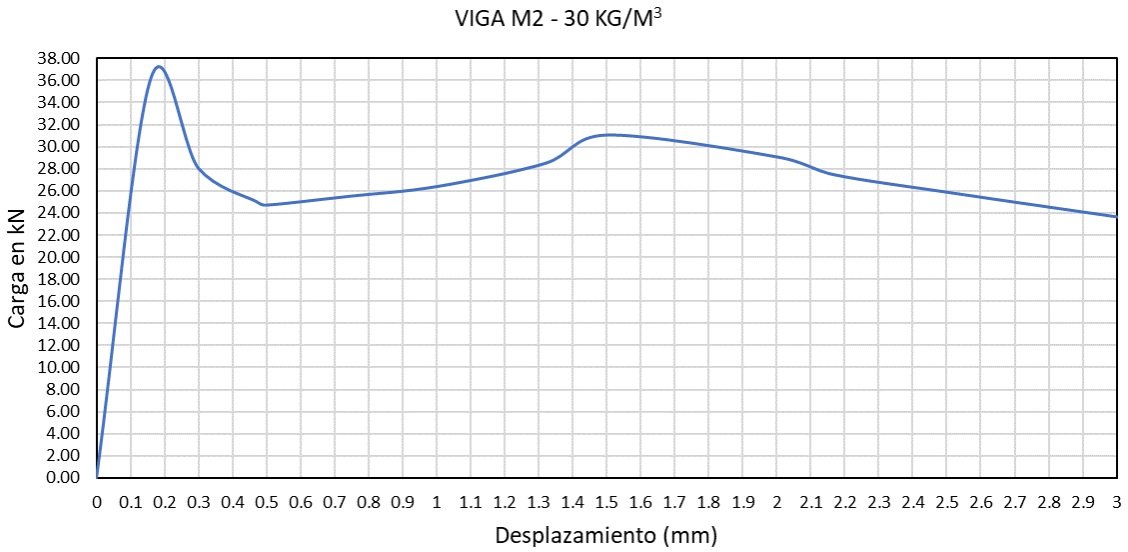
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 196: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-30 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M2 – 30 kg/m^3	151	151	450	0.16	36.20	4.73
				0.5	24.69	3.66
				1.0	26.37	3.45
				1.5	31.04	4.06
				2.0	29.06	3.80
				2.5	25.87	3.38
				3.0	23.63	3.09

Fuente: Elaboración propia

Figura 164: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-30*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 164 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 81.01 kN.mm
- Pe,3: 27.00 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.53 N/mm^2
- Re,3: 74.6 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

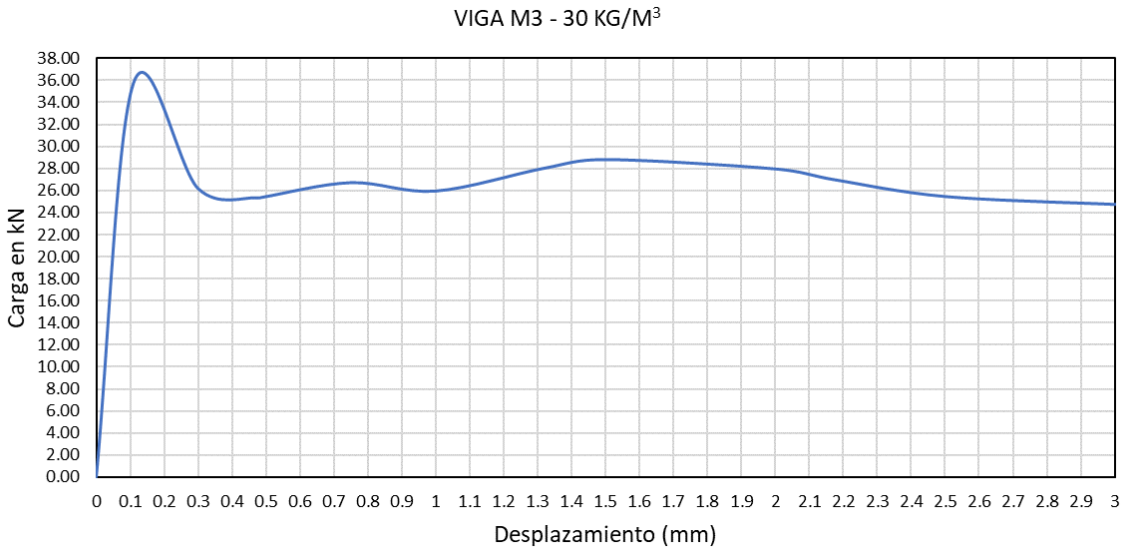
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 197: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-30 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M3 – 30 kg/m^3	151	152	450	0.11	35.81	4.65
				0.5	25.46	3.40
				1.0	25.96	3.37
				1.5	28.82	3.74
				2.0	27.97	3.63
				2.5	25.46	3.31
				3.0	24.74	3.21

Fuente: Elaboración propia

Figura 165: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-30*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 165 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 80.44 kN.mm
- Pe,3: 26.81 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.48 N/mm^2
- Re,3: 74.9 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

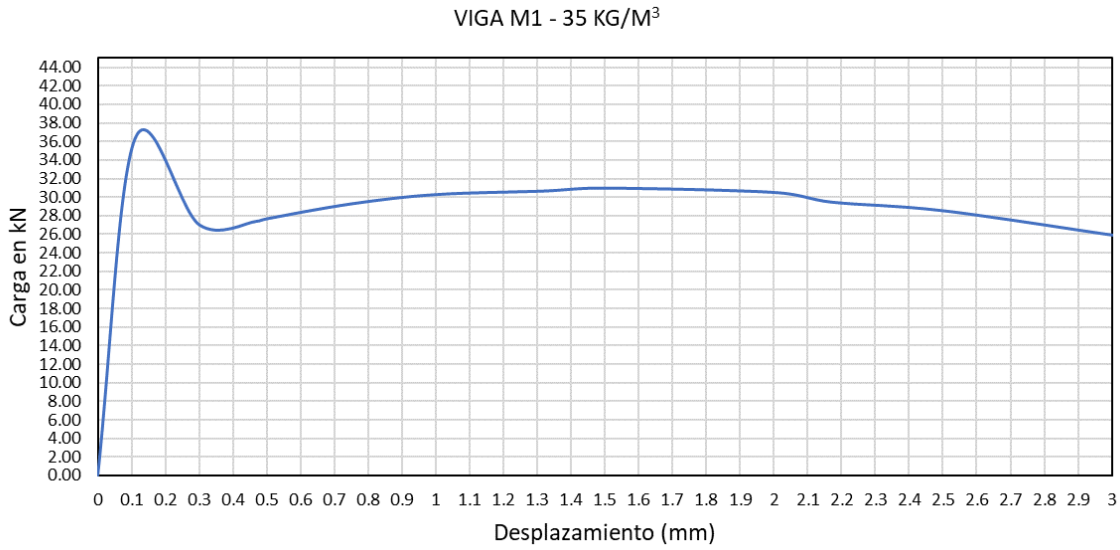
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 198: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-35 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M1 – 35 kg/m^3	150	152	450	0.11	36.27	4.71
				0.5	27.64	3.51
				1.0	30.25	3.93
				1.5	30.95	4.02
				2.0	30.49	3.96
				2.5	28.52	3.70
				3.0	25.90	3.36

Fuente: Elaboración propia

Figura 166: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-35*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 166 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 87.43 kN.mm
- Pe,3: 29.14 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.78 N/mm^2
- Re,3: 80.3 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

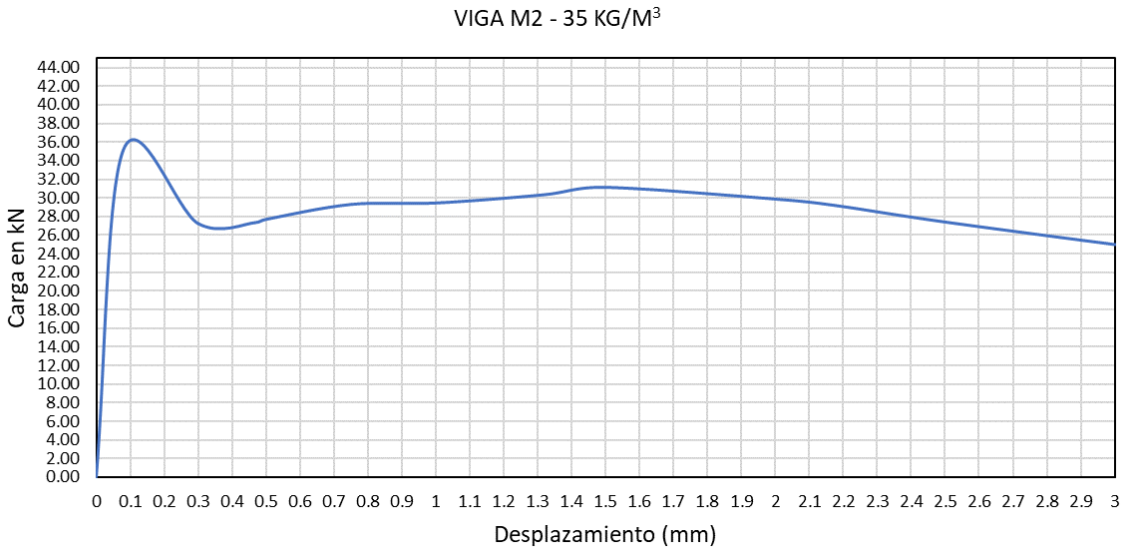
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 199: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-35 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M2 – 35 kg/m^3	149	151	450	0.08	35.21	4.66
				0.5	27.71	3.61
				1.0	29.47	3.90
				1.5	31.15	4.13
				2.0	29.89	3.96
				2.5	27.42	3.63
				3.0	25.00	3.31

Fuente: Elaboración propia

Figura 167: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-35*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 167 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 86.58 kN.mm
- Pe,3: 28.86 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.82 N/mm^2
- Re,3: 82.0 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

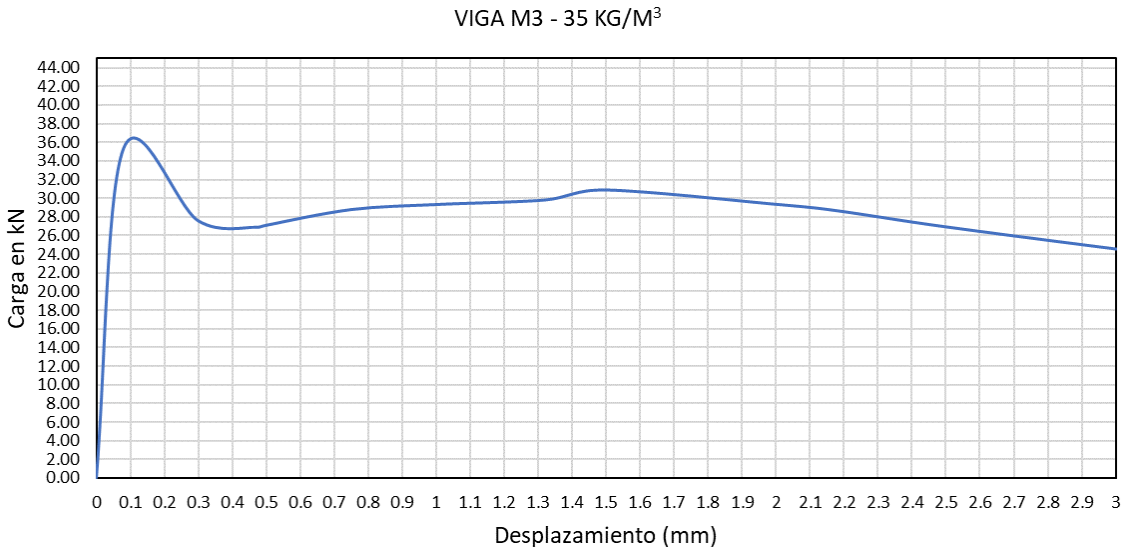
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 200: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-35 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M3 – 35 kg/m^3	150	150	450	0.1	35.30	4.71
				0.5	27.07	3.67
				1.0	29.29	3.90
				1.5	30.85	4.11
				2.0	29.31	3.91
				2.5	26.89	3.59
				3.0	24.52	3.27

Fuente: Elaboración propia

Figura 168: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-35*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 168 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 85.37 kN.mm
- Pe,3: 28.46 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.79 N/mm^2
- Re,3: 80.6 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

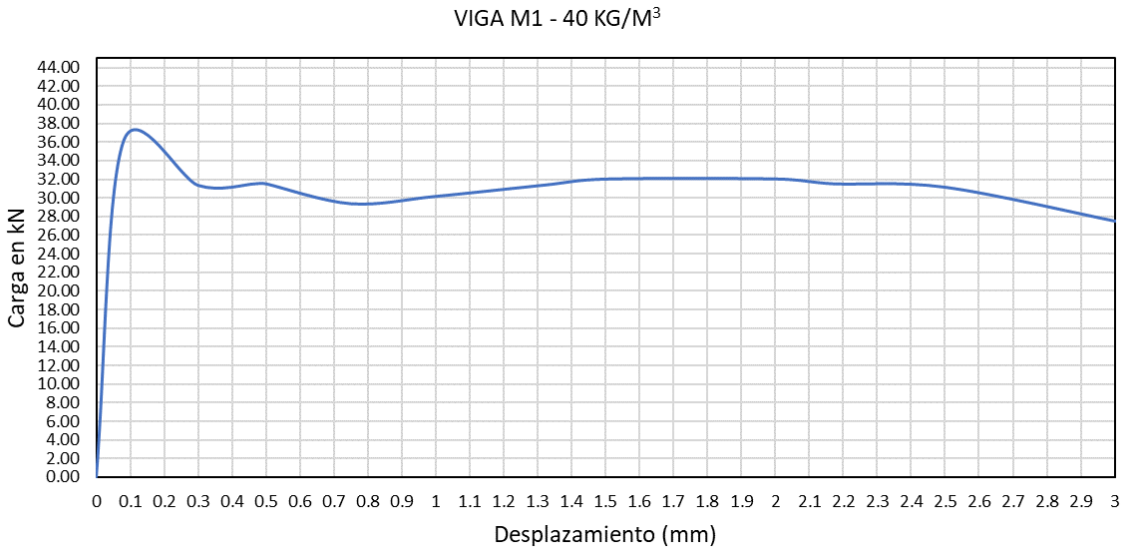
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 201: *Modulo de rotura de la viga de concreto M1-40 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M1 – 40 kg/m^3	150	150	450	0.08	36.08	4.81
				0.5	31.51	4.18
				1.0	30.17	4.02
				1.5	32.02	4.27
				2.0	32.03	4.27
				2.5	31.15	4.15
				3.0	27.51	3.67

Fuente: Elaboración propia

Figura 169: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M1-40*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 169 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 85.37 kN.mm
- Pe,3: 28.46 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 3.79 N/mm^2
- Re,3: 80.6 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

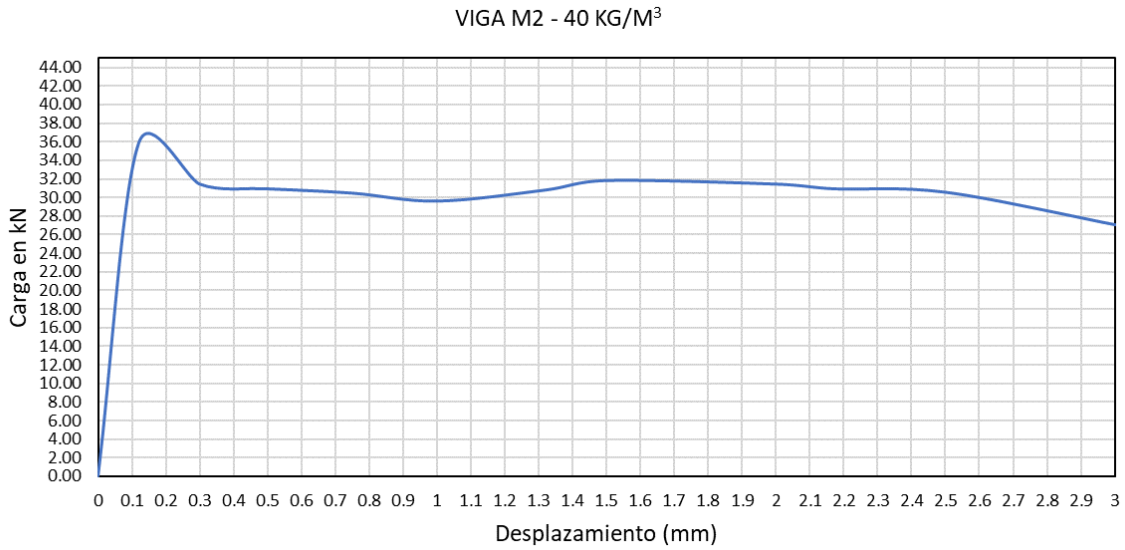
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 202: *Modulo de rotura de la viga de concreto M2-40 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M2 – 40 kg/m^3	150	150	450	0.12	35.85	4.78
				0.5	30.91	4.19
				1.0	29.59	3.95
				1.5	31.80	4.24
				2.0	31.42	4.19
				2.5	30.55	4.07
				3.0	27.05	3.61

Fuente: Elaboración propia

Figura 170: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M2-40*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 170 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 91.09 kN.mm
- Pe,3: 30.36 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 4.05 N/mm^2
- Re,3: 84.7 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

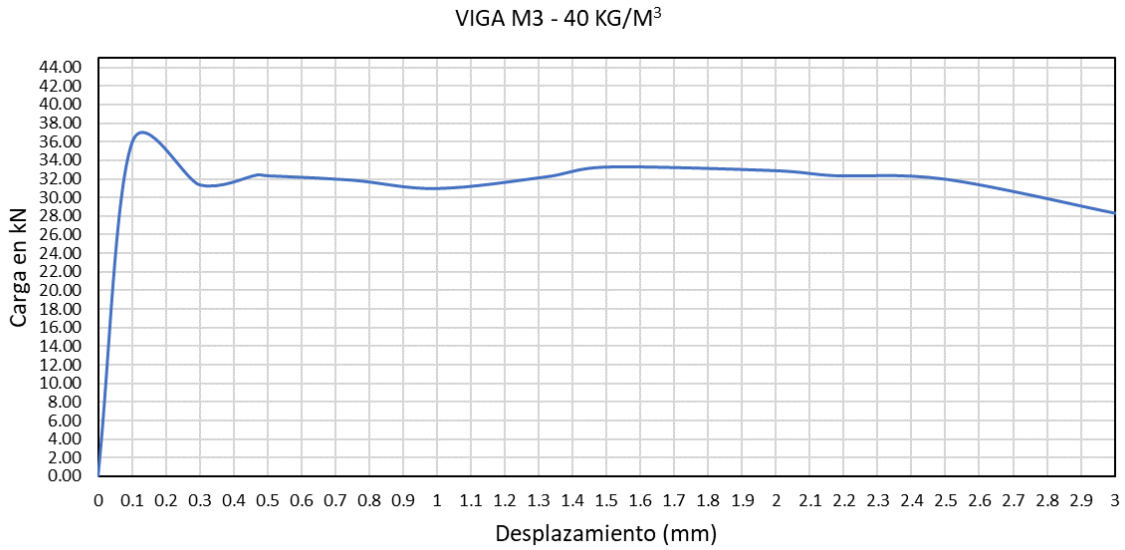
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 203: *Modulo de rotura de la viga de concreto M3-40 para distintos desplazamientos*

Identificación	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia entre apoyos (mm)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	ff_{ct} (N/mm2)
Viga M3 – 40 kg/m^3	150	150	450	0.1	35.85	4.78
				0.5	32.31	4.18
				1.0	30.93	4.12
				1.5	33.25	4.43
				2.0	32.85	4.38
				2.5	31.94	4.26
				3.0	28.28	3.77

Fuente: Elaboración propia

Figura 171: *Grafica Carga – Desplazamiento de la viga de concreto M3-40*



Fuente: Elaboración propia

De la figura 171 se infiere lo siguiente:

- Área bajo la curva: 95.04 kN.mm
- Pe,3: 31.68 kN
- $ff_{ct,eq,150}$: 4.22 N/mm^2
- Re,3: 88.2 %

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

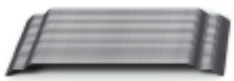
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO D: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

BEKAERT
better together

Dramix®



4D Dramix® 65/60 BG

Esbeltez | Longitud | Acero gris (Bright) | Encolada (Glued)

FICHA TÉCNICA

Características

Propiedades del material

Resistencia Nominal a la tracción:	1.600 (N/mm²)
Módulo de Young:	200.000 (N/mm²)
Deformación máxima en tracción:	0,8 %

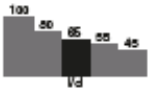
Geometría

Gama de fibras 4D

Longitud (l) 60 mm

Diámetro (d) 0,9 mm

Ratio de esbeltez (l/d) 65



Mínima dosificación según EN 14889-1

15 kg/m³

Red de fibras

2.999 m/m³ por 15 kg/m³
3.149 fibras/kg

Gama Dramix®

3D Aplicaciones estándar HRFA
4D Elevado control en servicio
5D Aplicaciones estructurales avanzadas

	5D	4D	3D
Resistencia a tracción			
Ductilidad del alambre			
Resistencia de anclaje			

Certificados del producto *

* Los certificados del producto son específicos de las plantas de producción.

Conformidad del producto

Dramix® cumple con las normas técnicas ASTM ASTM A820, EN 14889-1 e ISO 13270 clase A.

Certificados del sistema

Todas las plantas industriales Dramix® cuentan con el certificado ISO 9001 e ISO 14001.

Embalaje



SACOS
10 / 20 kg



BIG BAG
800 - 1.100 kg

Manipulación





DRAMIX® 4D 65/60BG

Anclaje optimizado
Dramix® 4D proporciona un control óptimo de la fisuración en estructuras hiperestáticas estándar de hormigón sometidas a cargas estáticas regulares, de fatiga y a cargas dinámicas con altos requisitos en el estado de servicio.

Tecnología encolada para refuerzo tridimensional
Las fibras de acero Dramix® están unidas con cola soluble en agua. La cola ayuda a evitar la formación de bolas de fibras durante el amasado y garantiza una distribución homogénea de las fibras en toda la mezcla de hormigón.

Bekaert Soporte técnico Bekaert
Puede contar con nuestro equipo de soporte para cada fase de su proyecto, desde el anteproyecto hasta durante la ejecución. Nuestros servicios incluyen recomendaciones sobre diseño de pavimentos, detalles de constructivos, optimización del hormigón y procedimientos automáticos de control de calidad. También nos complace compartir nuestros conocimientos con usted y su equipo.
No dude en solicitarnos un seminario o formación sobre el refuerzo de fibras de acero en sus oficinas.

Para recomendaciones sobre manejo, dosificación y mezcla visite www.bekaert.com/dosingdramix. Cualquier otro documento específico o certificado se puede encontrar en www.bekaert.com/dramix/downloads.

Bekaert se reserva el derecho a modificar, renombrar o suspender la producción de este producto en cualquier momento con o sin previo aviso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

FICHA TÉCNICA 2022 / V.1



DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO_2, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
MgO (%)			6.00 Máx.			
SO_3 (%)	1,5 a 3.0		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1,5 a 4.0		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm3)	2,75 a 2,85		-			
Expansión en autoclave (%)	0,07 a 0,03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2,5 a 8,0		12 Máx			
Resistencia a la compresión	Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	Kg/cm²	MPa
3 días	175 a 200	17,1 a 19,6	133 Min	13	122 Min	12Min
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Min	20	194 Min	19 Min
28 días	306 a 340	30 a 33,3	255 Min	25	-	-
Resistencia a los sulfatos	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0,04		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0,05		0.10 Máx			

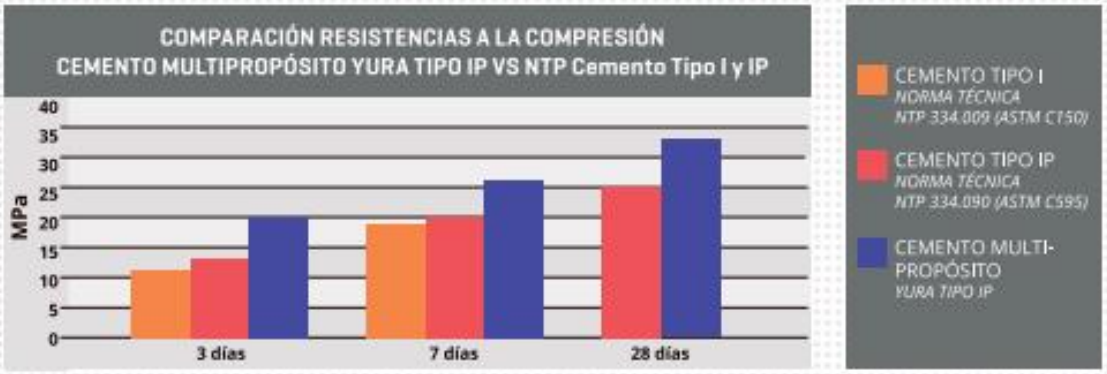
CEMENTO YURA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



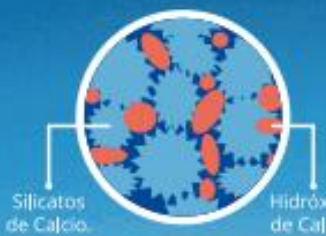
OTRAS PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I

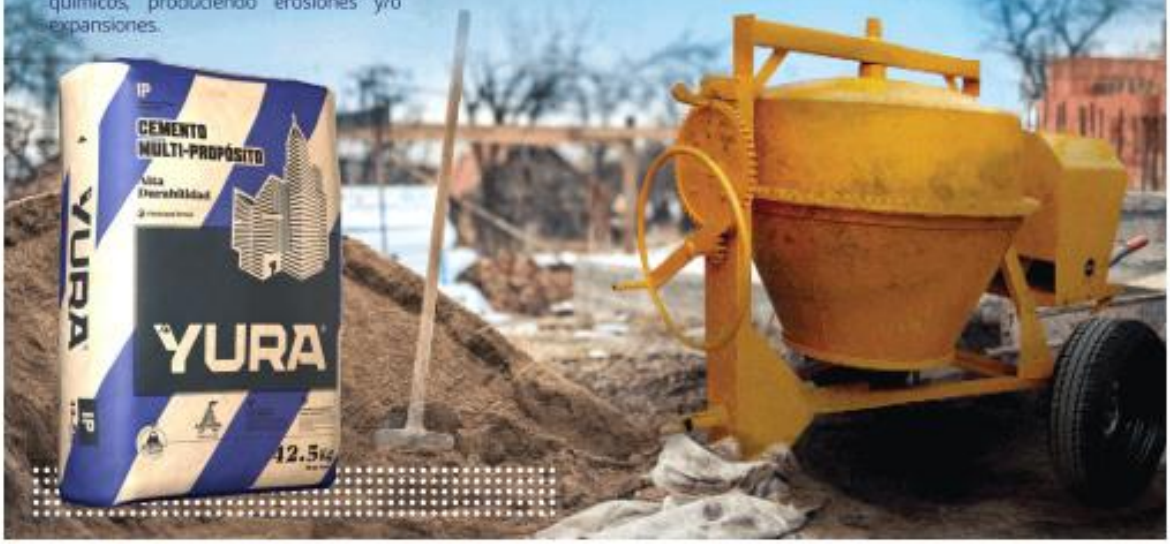


El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25 % es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



3 MAYOR IMPERMEABILIDAD

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los silicatos de la puzolana con los hidróxido de calcio producidos en la hidratación del cemento disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali – agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

5 RECOMENDACIONES DE USO

- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación
- Cemento fabricado con menor emisión de CO_2.


Botas Impermeables


Protección Respiratoria


Guantes Impermeables


Protección Ocular

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

FICHA TÉCNICA 2022 / V.1

YURA



PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 25 Kg	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAIS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 0f.68	Cemento Puzolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Puzolánico	TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 16697	Cimento Portland pozolânico	TIPO CP IV - 25 RS
NORMA COLOMBIANA	NTC 121	Cemento Hidráulico	UG/ARS/BCH/BRA

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 90 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

YURA

Cuidemos juntos el medio ambiente.
Big Bag: Se sugiere desechar como basura común.
Bolsas: Se sugiere reciclar el envase.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante

Aditivo plastificante y reductor de agua para morteros y hormigones

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales.

USOS

SikaCem® Plastificante es recomendable para:
- Estructuras en general canales, diques, estructuras de fundación, columnas, vigas, tanques elementos prefabricados, losas, etc.)
- Cualquier tipo de estructura, cuando se desee aumentar las resistencias mecánicas o dar mayor fluidez al hormigón.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

En el hormigón fresco:
- Mejora la trabajabilidad del hormigón (plastifica), facilitando su colocación y compactación.
- Permite una reducción en la cantidad de agua de amasado en un 15% aproximadamente, lo que se manifiesta en un aumento de las resistencias mecánicas del hormigón endurecido.
- Aumento de la cohesión interna en el hormigón fresco, tendiendo a evitar la segregación de los áridos.
- Disminuye la exudación.

En el hormigón endurecido:
- Posibilita un incremento de las resistencias mecánicas a la compresión del orden de más del 15%.
- Reduce la contracción.
- Aumenta la adherencia al acero.

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaCem® Plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo A y Tipo D

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos.
Empaques	• Envase PET x 4 L • Balde x 20 L
Apariencia / Color	Líquido marrón oscuro
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	En sus envases de origen, bien cerrados y no deteriorados, en lugares frescos y secos, a temperaturas entre + 5°C y + 30°C. Protegido del congelamiento, del calor excesivo y de la radiación solar directa.
Densidad	1.20 +/- 0.02

INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto	Mezclar los materiales componentes del hormigón o mortero con parte del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

agua de mezclado, incorpore el contenido del DoyPack de SikaCem® Plastificante al pastón y complete con la menor cantidad de agua hasta lograr la fluidez requerida.
Para asegurar la homogeneidad del hormigón o mortero, se recomienda mezclardurante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.
Para mejorar el desempeño de morteros y hormigones se recomienda mantener la dosificación y proporción de los materiales componentes, Utilizar la menor cantidad de agua de mezclado hasta alcanzar la fluidez necesaria para la obra.
Cuidar que se cumplan las correctas condiciones de elaboración, colocación, compactación y curado.
La sobre-dosificación de SikaCem® Plastificante puede causar retardo de fragüe.
El desempeño de los aditivos pueden variar si se modifican los materiales componentes o sus cantidades.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	• Como plastificante: 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg. • Como superplastificante: hasta 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

LIMITACIONES

Temperatura Ambiente +5°C mín. / +30°C máx.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad
.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto
.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

Sika Perú
Habilitación Industrial
El Lúcumo Mz. "B" Lote 6
Lurín, Lima
Tel. (511) 618-6060

Publicación aut
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

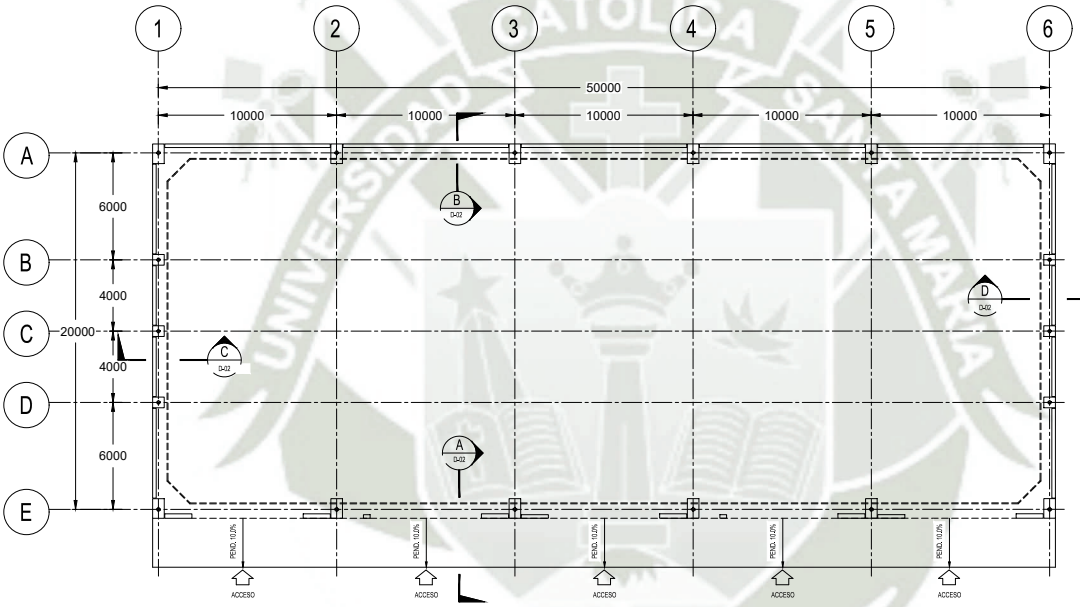
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO E: PLANOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS.
2. RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO AL 100% DEL PROCTOR MODIFICADO Y CON UN CBR > 30%, CON UN ESPESOR MINIMO DE 250 MM.
3. CONCRETO EN PEDESTALES, LOSAS Y PARAPETOS = 280 kg/cm2
4. LONGITUD DE SOBREANCHO Hsa = 810 mm.

PLANTA - LOSA

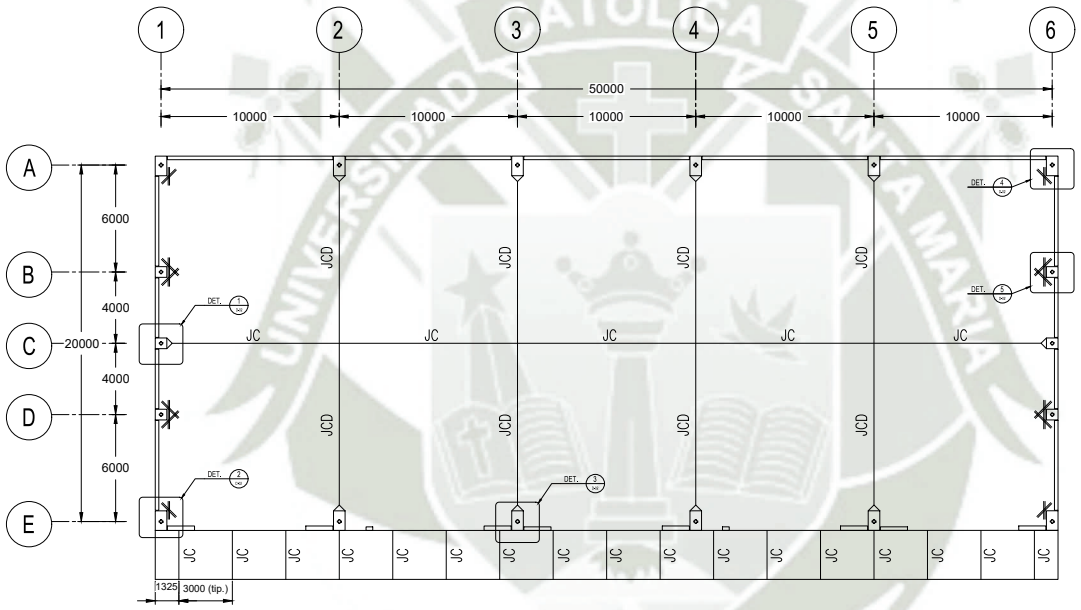
ESCALA 1:150

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA	ELABORADO POR: BACH. YEAMPIER PARIENTE QUENTA		LÁMINA N° P-01
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	PLANO: PLANTA - LOSA	UBICACION: DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: AREQUIPA DISTRITO: SOCABAYA	ESCALA: 1:150	FECHA: DICIEMBRE 2023

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS.
2. RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO AL 100% DEL PROCTOR MODIFICADO Y CON UN CBR > 30%, CON UN ESPESOR MÍNIMO DE 250 MM.
3. LA RELACIÓN LARGO/ANCHO PARA LA DEFINICIÓN DE JUNTAS DEBERÁ GUARDAR UNA RELACIÓN MÁXIMA 1.25 COMO MÁXIMO ENTRE SUS DOS DIMENSIONES PERPENDICULARES EN PLANTA.
4. LAS JUNTAS DE BORDE "JB" PARA LOS PEDESTALES SERA 25mm, PARA EL RESTO DE JUNTAS CON OTROS ELEMENTOS SERA DE 20mm.
5. LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN SE DEFINIRÁN EN CAMPO.
6. EL ACERO DE LOS PARAPETOS DEBE ESTAR EMBEBIDOS DENTRO DE LA LOSA.
7. EL ACERO DE REFUERZO EN LAS ESQUINAS DE LOS PEDESTALES SE COLOCARA 5CM POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA Llosa.

PLANO DE JUNTAS

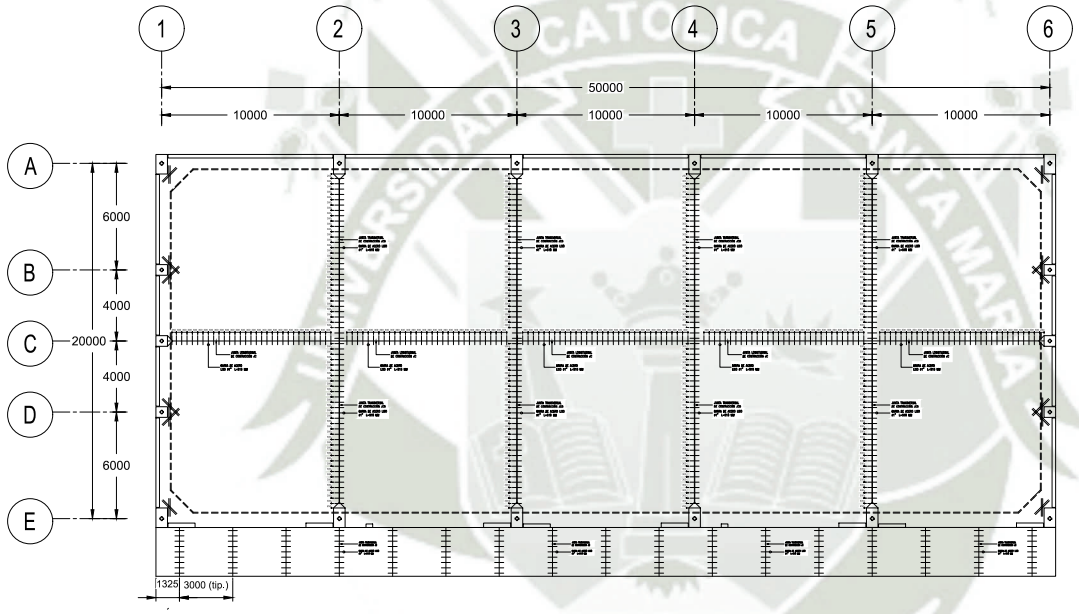
ESCALA 1:150

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA		ELABORADO POR: BACH. YEAMPIER PARIENTE QUENTA		LÁMINA N° P-02
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	PLANO: PLANO DE JUNTAS	UBICACION: DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: AREQUIPA DISTRITO: SOCABAYA	ESCALA: 1:150	FECHA: DICIEMBRE 2023	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS.
2. RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO AL 100% DEL PROCTOR MODIFICADO Y CON UN CBR > 30%, CON UN ESPESOR MINIMO DE 250 MM.
3. LA RELACIÓN LARGO/ANCHO PARA LA DEFINICIÓN DE JUNTAS DEBERÁ GUARDAR UNA RELACIÓN MÁXIMA 1,25 COMO MÁXIMO ENTRE SUS DOS DIMENSIONES PERPENDÍCULARES EN PLANTA,
4. LAS JUNTAS DE BORDE "JB" PARA LOS PEDESTALES SERA 25mm, PARA EL RESTO DE JUNTAS CON OTROS ELEMENTOS SERA DE 20mm.
5. LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN SE DEFINIRÁN EN CAMPO.
6. EL ACERO DE LOS PARAPETOS DEBE ESTAR EMBEBIDOS DENTRO DE LA LOSA.
7. EL ACERO DE REFUERZO EN LAS ESQUINAS DE LOS PEDESTALES SE COLOCARA 5CM POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA LOSA.

PLANTA - DETALLE DE JUNTAS

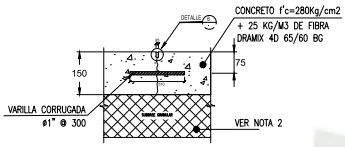
ESCALA 1:150

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA	ELABORADO POR: BACH. YEAMPIER PARIENTE QUENTA		LÁMINA N° P-03
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	PLANO: PLANTA DETALLE DE JUNTAS	UBICACION: DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: AREQUIPA DISTRITO: SOCABAYA	ESCALA: 1:150	FECHA: DICIEMBRE 2023

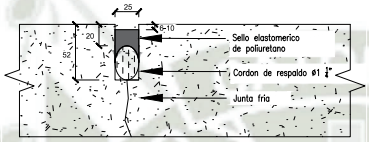
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

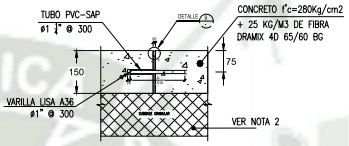
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



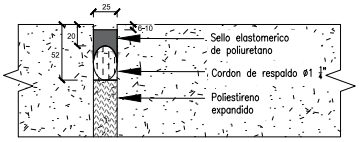
JUNTA DE CONTRUCCION JCT
ESCALA 1:25



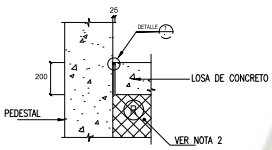
DETALLE 6
ESCALA 1:2.5



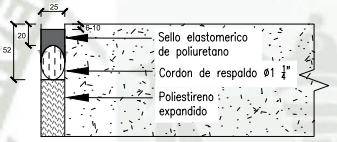
JUNTA DE CONTRACCIÓN JCD
ESCALA 1:25



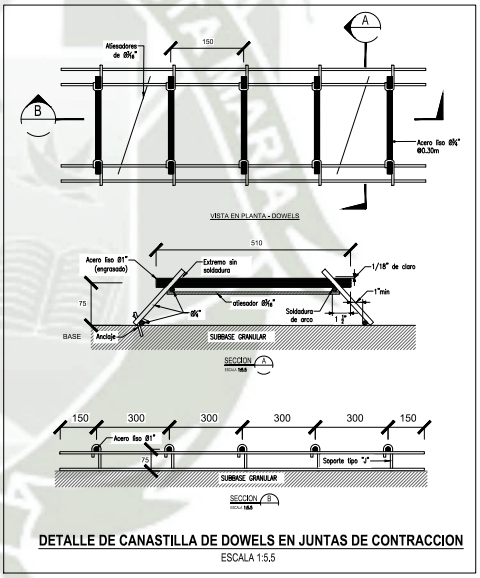
DETALLE 9
ESCALA 1:2.5



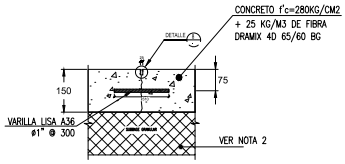
JUNTA DE BORDE JB
ESCALA 1:25



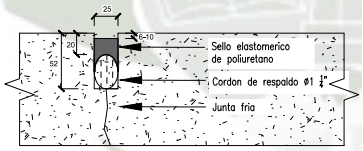
DETALLE 7
ESCALA 1:2.5



DETALLE DE CANASTILLA DE DOWELS EN JUNTAS DE CONTRACCION
ESCALA 1:5,5



JUNTA DE CONTRACCIÓN JC
ESCALA 1:25



DETALLE 8
ESCALA 1:2.5

NOTAS:

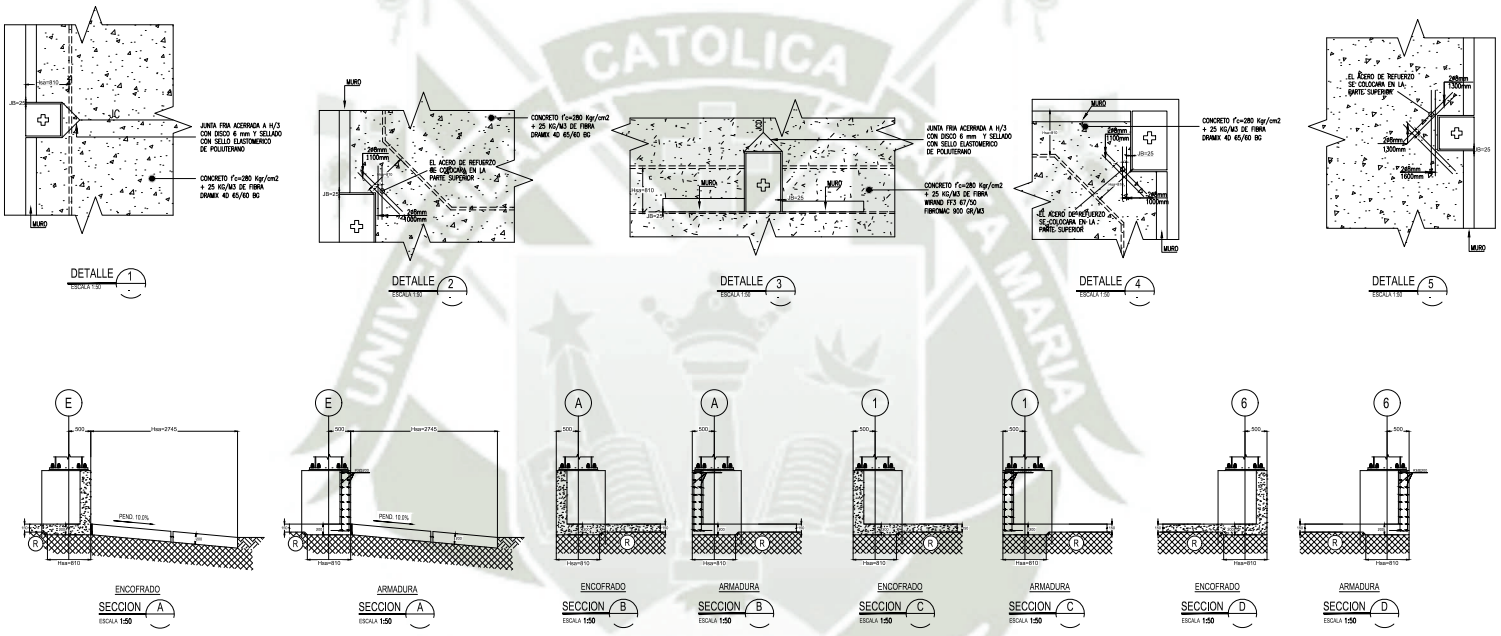
1. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS.
2. RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO AL 100% DEL PROCTOR MODIFICADO Y CON UN CBR > 30%, CON UN ESPESOR MINIMO DE 250 MM.
3. LAS JUNTAS DE BORDE "JB" PARA LOS PEDESTALES SERA 25mm, PARA EL RESTO DE JUNTAS CON OTROS ELEMENTOS SERA DE 20mm.
4. LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN SE DEFINIRÁN EN CAMPO.
5. EL ACERO DE LOS PARAPETOS DEBE ESTAR EMBEBIDOS DENTRO DE LA LOSA.
6. EL ACERO DE REFUERZO EN LAS ESQUINAS DE LOS PEDESTALES SE COLOCARA 5CM POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA Llosa.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA	ELABORADO POR: BACH. YEAMPIER PARIENTE QUENTA		LÁMINA N° D-01
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	PLANO: PLANO - DETALLES CONSTRUCTIVOS	UBICACION: DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: AREQUIPA DISTRITO: SOCABAYA	ESCALA: LA INDICADA	FECHA: DICIEMBRE 2023

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



PLANO - DETALLES CONSTRUCTIVOS

ESCALA 1:50

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO INDUSTRIAL REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA	ELABORADO POR: BACH. YEAMPIER PARIENTE QUENTA		LÁMINA N° D-02
FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	PLANO: PLANO - DETALLES CONSTRUCTIVOS	UBICACION: DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: AREQUIPA DISTRITO: SOCABAYA	ESCALA: LA INDICADA	FECHA: DICIEMBRE 2023

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis