

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD A LA
PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y SU
INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA**

Tesis presentada por el Bachiller:

Machaca Masco, Frank Alex

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Gamarra Tuco, Rubén

Arequipa-Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS DE CAÍDA
DE LA PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS ASFÓLTICAS EN CUENTA
Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

MACHACA NASCO, FRANK ALEX.

Nuestro DICTAMEN es:


APROBADO

OBSERVACIONES:

Arequipa, 02 de DECEMBRE del 2019



COR 7949



COR 2779

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi pareja por siempre acompañarme en cada momento difícil e importante en mi carrera, a su apoyo incondicional y ejemplo a seguir.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Quiero agradecer inmensamente a la Universidad Católica Santa María mi alma mater, por todas vivencias, experiencias y conocimiento que me brindó a lo largo de estos años de carrera universitaria

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Jhon y Norma, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al master Rubén Gamarra Tuco tutor de mi proyecto quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, y a los Administradores de GyA Contratistas y SuperAsfaltos por su valioso aporte para mi investigación.

RESUMEN

El presente trabajo lleva como título “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA”, la investigación tiene como objetivo Implementar un protocolo de calidad aplicado a la mezcla asfáltica caliente producido en una planta estándar en la provincia de Arequipa,

Este trabajo presenta los resultados de una investigación elaborada en las plantas de asfalto GyA Contratistas y SuperAsfaltos, ensayos a los materiales en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y el laboratorio Roberto Cáceres RCF.

Se procedió a encuestar a todo el personal de planta sobre los procedimientos de elaboración, seguridad, capacitación, para identificar los puntos críticos de la planta. Se realizaron varias visitas a campo para observar el proceso de producción.

Se propuso un protocolo de calidad estándar, entendible, trabajable que pueda ser usado para cualquier planta promedio ubicada en la provincia de Arequipa, este protocolo enuncia procedimientos a seguir para garantizar una buena mezcla asfáltica en caliente para las vías en construcción siguiendo los parámetros del manual de carreteras del ministerio de transportes de Perú, especificaciones generales, versión 2013 (EG-2013).

Al finalizar el estudio se implementó el protocolo a la planta GyA contratistas, otorgando un control total de todos los procesos a seguir en la elaboración de mezcla asfáltica en caliente e identificando los puntos débiles a intervenir para la siguiente producción.

Palabras Clave: protocolo, producción, asfalto, calidad, mezcla asfáltica

ABSTRACT

This work is entitled "ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF QUALITY PARAMETERS TO THE PRODUCTION OF HOT ASPHALT PLANTS AND THEIR INFLUENCE ON PAVEMENTS IN THE PROVINCE OF AREQUIPA", the research aims to implement a quality protocol applied to the mixture hot asphalt produced at a standard plant in the province of Arequipa,

This paper presents the results of an investigation carried out in the GyA Contractors and Super Asphalt asphalt plants, material tests in the Civil Engineering Laboratory of the Catholic University of Santa Maria, Faculty of Architecture and Civil and Environmental Engineering, Professional School of Civil Engineering and the Roberto Caceres RCF laboratory.

All plant personnel will be surveyed on the procedures for preparation, safety, training, to identify the critical points of the plant. See several field visits to observe the production process.

A quality protocol, understandable, workable quality protocol was proposed that can be used for any average plant located in the province of Arequipa, this protocol sets out procedures to follow to ensure a good hot asphalt mixture for the roads under construction following the parameters of the manual of roads of the Ministry of Transportation of Peru, general specifications, version 2013 (EG-2013).

At the end of the study, the protocol was implemented to the GyA contractors plant, granting total control of all the processes to follow in the preparation of hot asphalt mixing and identifying the weak points to intervene for the next production.

Keywords: protocol, production, asphalt, quality, asphalt mix

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo implementar parámetros de calidad a la producción de mezclas asfálticas en caliente(MAC) aplicando métodos visuales, toma de muestras y control.

La principal característica de este trabajo es la forma ya tradicional de elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, ya que no tienen un proceso controlado por un área técnica que identifique los problemas principales de una planta de mezcla asfáltica en caliente.

Para analizar esta problemática es necesario de mencionar sus causas. Una de ellas es la falta d capacitación del personal en temas de producción de mezcla asfáltica, asfalto y asfalto.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer porque las vías ya asfaltadas presentan problemas funcionales, tales como deformación(ahuellamiento), piel de cocodrilo y baja resistencia al tránsito.

Por otra parte, mejorar y estandarizar la producción de mezcla asfáltica en caliente en la provincia de Arequipa para una planta asfáltica estándar (planta móvil) proponiendo protocolos de calidad.

En el ámbito profesional, como estudiante de ingeniería civil, el interés verso en conocer el contexto y problemática en el que se desenvuelven las plantas de mezcla asfáltica en caliente.

INDICE

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
CAPITULO I.....	1
OBJETIVOS Y ALCANCES	1
1. Problemática de Estudio	1
2. Objetivos de Estudio.....	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. Justificación	2
4. Alcances y Limitaciones de Estudio.....	3
4.1. Alcances	3
4.2. Limitaciones	4
5. Metodología de Estudio.....	4
5.1. Tipo de Investigación	4
5.2. Tamaño de Muestra.....	4
5.3. Toma de información	5
5.4. Procesamiento y Análisis	5
6. Planteamiento de la Hipótesis.....	5
CAPITULO II	7
GENERALIDADES	7
1. Antecedentes.....	7
2. Empresas en estudio	7
2.1. GyA Contratistas	7

2.1.1. SuperAsfaltos.....	8
CAPITULO III.....	9
MARCO TEORICO.....	9
1. Plantas de Asfalto	9
1.1. Componentes de las Plantas de Mezcla Asfáltica en caliente	10
1.1.1. Sistema de alimentación y dosificación de agregados en frío	10
1.1.2. Secador de agregados.....	12
1.1.3. Sistemas colectores de polvo	13
1.1.3.1. Colector de finos vía seca.....	14
1.1.4. Sistema de cribado	14
1.1.5. Silos de almacenamiento de agregados cribados	15
1.1.6. Sistema de alimentación de relleno mineral	16
1.1.7. Sistema de almacenamiento y calentamiento del cemento asfáltico.....	16
1.1.8. Sistema dosificador de cemento asfáltico	18
1.1.9. Mezclador	19
1.1.10. Tambor secador-mezclador.....	20
1.1.11. Sistema de control.....	21
1.1.12. Transportador escalonado y silo de almacenamiento.....	24
1.2. Tipos de Plantas de Mezcla Asfáltica	25
1.2.1. Plantas intermitentes	26
1.2.2. Plantas continuas de tambor secador-mezclador	28
1.3. Operación de la Planta de Mezcla Asfáltica en Caliente	30
1.3.1. Sistema de alimentación de agregados	30

1.3.2. Dosificación De Agregados	32
1.3.2.1. Ajuste de la compuerta de las tolvas	32
1.3.2.2. Utilización de vibradores en tolvas	33
1.3.2.3. Bandas transportadoras.....	33
1.3.2.4. Correa transportadora rápida	34
1.3.2.5. Raspadores.....	34
1.3.2.6. Ajuste de la tensión y alineación de las correas	34
1.3.2.7. Sistema de secado y mezclado	35
1.3.2.8. Tambor secador mezclador.....	35
1.3.2.9. Divisiones del tambor.....	36
1.3.2.9.1. Zona de secado.....	36
1.3.2.9.2. Zona mezcla	37
1.3.3. Quemador.....	38
1.3.4. Sistema colector de finos	39
1.3.4.1. Colector de polvo vía húmeda.....	39
1.3.4.1.1. Tanques de asentamiento	40
1.3.4.2. Colector de finos vía seca.....	40
1.3.4.2.1. Filtro de Mangas	40
1.3.4.2.2. Identificación de los componentes.....	41
1.3.5. Sistema de almacenamiento y alimentación de combustible.....	43
1.3.6. Sistema de almacenamiento, calentamiento y dosificación de cemento asfáltico	44

1.3.7.	Calentamiento de los tanques de cemento asfáltico.....	45
1.3.8.	Aislamiento	46
1.3.9.	Control de temperatura	47
1.3.10.	Sistema de carga descarga de cemento asfáltico.....	47
1.3.11.	Caldera	48
1.3.12.	Dosificación de cemento asfáltico	49
1.3.13.	Transportador escalonado y silo de almacenamiento.....	50
1.3.14.	Calibración de la planta.....	53
1.3.15.	Funcionamiento de elementos complementarios	54
1.3.15.1.	Cargador frontal.....	54
1.3.15.2.	Camiones	55
1.4.	Especificaciones para las plantas asfálticas según normas peruanas	56
2.	Materiales Pétreos.....	57
2.1.	Tipos de Agregados.....	58
2.1.1.	Definición	58
2.1.2.	Conceptos Para Tipos De Agregados.....	59
2.1.3.	Clasificación y Producción de Agregados	60
2.1.3.1.	Clasificación de agregados	60
2.1.3.1.1.	Agregados naturales.....	60
2.1.3.1.2.	Agregados procesados	60
2.1.3.1.3.	Agregados Sintéticos	62
2.1.3.2.	Producción de Agregados.....	62

2.2.	Acopio y Manejo de Agregados.....	64
2.3.	Importancia del Muestreo y Reducción del Agregado.....	65
2.3.1.	Importancia Del Muestreo De Agregado	65
2.3.2.	Importancia De La Reducción De Agregado	66
2.4.	Propiedades de los Agregados Utilizados en MAC	66
2.4.1.	Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula	67
2.4.1.1.	Graduación	67
2.4.1.2.	Tamaño Máximo de Partícula	67
2.4.2.	Textura Superficial.....	68
2.4.3.	Limpieza	69
2.4.4.	Capacidad de Absorción	69
2.4.5.	Dureza	70
2.4.6.	Afinidad por el Asfalto	70
2.4.7.	Forma de la Partícula	71
2.4.8.	Peso Especifico	71
2.5.	Importancia y Efecto del relleno o Polvo Mineral	72
2.6.	Especificaciones para Agregados en Mezclas Asfálticas en Caliente según Normas Peruanas.....	72
2.6.1.	Agregado Grueso	74
2.6.1.1.	Durabilidad (al sulfato de magnesio)	74
2.6.1.2.	Abrasión de los Ángeles.....	77
2.6.1.3.	Adherencia.....	79

2.6.1.4. Índice de Durabilidad	81
2.6.1.5. Partículas chatas y alargadas	84
2.6.1.6. Caras fracturadas	85
2.6.1.7. Sales Solubles Totales	87
2.6.1.8. Absorción	89
2.6.1.9. Partículas Deleznables	92
2.6.2. Agregado Fino	94
2.6.2.1. Equivalente de Arena	94
2.6.2.2. Angularidad del Agregado Fino	96
2.6.2.3. Azul de Metileno	97
2.6.2.4. Índice de Plasticidad (malla N ^a 40)	98
2.6.2.5. Durabilidad (al sulfato de magnesio)	100
2.6.2.6. Índice de Durabilidad	100
2.6.2.7. Índice de Plasticidad (malla N ^a 200)	100
2.6.2.8. Sales Solubles Totales	101
2.6.2.9. Absorción	101
2.6.2.10. Partículas Deleznables	103
2.6.3. Filler	103
2.6.3.1. Densidad Aparente (peso unitario aparente)	103
2.6.3.2. Coeficiente de emulsibilidad	103
3. Cemento Asfáltico	105
3.1. Refinerías Cemento Asfáltico en el Perú	106

3.1.1. Petroperú	107
3.1.1.1. Refinería Conchán	107
3.1.1.2. Refinería Talara	107
3.1.1.3. Refinería Iquitos	108
3.1.2. Repsol	108
3.1.2.1. Refinería La Pampilla.....	108
3.2. Especificaciones para el Cemento asfáltico en Mezclas Asfálticas en Caliente según Normas Peruanas	109
4. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	109
4.1. Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) según normas peruanas – Método Marshall	111
5. Especificaciones para mezclas asfálticas en caliente(MAC) según normas peruanas	115
6. Colocación y Compactación de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) en Obra	118
6.1. Colocación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)	119
6.1.1. Ancho de la distribución y control del espesor de la mezcla.....	119
6.2. Compactación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)	120
7. Calidad.....	121
7.1. Calidad de los materiales.....	122
7.1.1. Evaluación de proveedores	122
7.1.2. Verificación de los productos adquiridos.....	122
7.1.3. Calidad concertada.....	123

7.2.	Calidad en la Producción.....	123
7.2.1.	Planificación del control de la calidad en la producción	123
7.2.2.	Verificación de los productos	124
7.2.3.	Control de los equipos de inspección, medida y ensayo.....	124
8.	Programa de puntos de Inspección (PPI).....	125
CAPITULO IV.....		126
MATERIALES Y METODOS		126
1.	Diagnostico.....	126
1.1.	GyA contratistas.....	126
1.2.	SuperAsfaltos	127
2.	Descripción de las Plantas Asfálticas	128
2.1.	GyA contratistas.....	128
2.1.1.	Planta.....	128
2.1.2.	Personal.....	129
2.1.3.	Materiales.....	129
2.1.4.	Equipo.....	130
2.1.5.	Laboratorio.....	131
2.2.	SuperAsfaltos	132
2.2.1.	Planta.....	132
2.2.2.	Personal.....	132
2.2.3.	Materiales.....	132
2.2.4.	Equipo.....	134
2.2.5.	Laboratorio.....	134

3.	Evaluación de las Plantas Asfálticas	134
3.1.	GyA Contratistas	135
3.1.1.	Producción	135
3.1.2.	Materiales.....	139
3.1.2.1.	Agregado Grueso.....	139
3.1.2.1.1.	Durabilidad (al sulfato de magnesio).....	140
3.1.2.1.2.	Abrasión Los Ángeles.....	141
3.1.2.1.3.	Adherencia	142
3.1.2.1.4.	Índice de Durabilidad.....	143
3.1.2.1.5.	Partículas chatas y alargadas.....	144
3.1.2.1.6.	Caras fracturadas.....	145
3.1.2.1.7.	Sales Solubles Totales.....	146
3.1.2.1.8.	Absorción.....	147
3.1.2.1.9.	Partículas Deleznables	148
3.1.2.2.	Agregado Fino	149
3.1.2.2.1.	Equivalente de Arena.....	149
3.1.2.2.2.	Angularidad del agregado fino.....	150
3.1.2.2.3.	Azul de metileno	151
3.1.2.2.4.	Índice de Plasticidad (malla N° 40)	152
3.1.2.2.5.	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	154
3.1.2.2.6.	Índice de Durabilidad.....	155
3.1.2.2.7.	Índice de Plasticidad (malla N° 200)	156

3.1.2.2.8. Sales Solubles Totales.....	157
3.1.2.2.9. Absorción.....	158
3.1.2.2.10. Partículas Deleznables	159
3.1.2.3. Filler	160
3.1.2.4. Cemento Asfáltico	161
3.1.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	162
3.1.2.5.1. Temperatura de Mezcla.....	162
3.1.2.5.2. Lavado asfáltico	164
3.1.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica.....	165
3.1.3. Colocación	173
3.1.4. Vías ejecutadas.....	175
3.2. SuperAsfaltos	181
3.2.1. Producción	181
3.2.2. Materiales.....	185
3.2.2.1. Agregado Grueso.....	185
3.2.2.1.1. Durabilidad (al sulfato de magnesio).....	186
3.2.2.1.2. Abrasión Los Ángeles.....	187
3.2.2.1.3. Adherencia	188
3.2.2.1.4. Índice de Durabilidad.....	189
3.2.2.1.5. Partículas chatas y alargadas.....	190
3.2.2.1.6. Caras fracturadas.....	191
3.2.2.1.7. Sales Solubles Totales.....	192

3.2.2.1.8. Absorción.....	193
3.2.2.1.9. Partículas Deleznables	194
3.2.2.2. Agregado Fino	195
3.2.2.1.10. Equivalente de Arena	195
3.2.2.1.11. Angularidad del agregado fino.....	196
3.2.2.1.12. Azul de metileno	197
3.2.2.1.13. Índice de Plasticidad (malla N° 40)	198
3.2.2.1.14. Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	200
3.2.2.1.15. Índice de Durabilidad.....	201
3.2.2.1.16. Índice de Plasticidad (malla N° 200)	202
3.2.2.1.17. Sales Solubles Totales.....	203
3.2.2.2.1. Absorción.....	204
3.2.2.2.2. Partículas Deleznables	205
3.2.2.3. Filler	206
3.2.2.4. Cemento Asfáltico.....	206
3.2.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC).....	208
3.2.2.5.1. Temperatura de Mezcla.....	208
3.2.2.5.2. Lavado asfáltico	210
3.3.2.6. Diseño de Mezcla asfáltica en caliente.....	211
3.2.3. Colocación	219
3.2.4. Vías ejecutadas.....	221

CAPITULO V	225
RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	225
1. Resultados – GyA Contratistas.....	225
1.1. Producción.....	225
1.2. Materiales	228
1.2.1. Agregado Grueso	228
1.2.2. Agregado Fino	228
1.2.3. Filler.....	229
1.2.4. Cemento Asfáltico	229
1.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	230
1.2.5.1. Temperatura de mezcla.....	230
1.2.5.2. Lavado asfáltico.....	230
1.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente (Método Marshall)	231
1.3. Colocación.....	232
1.4. Vías ejecutadas	233
2. Resultados – SuperAsfaltos	234
2.1. Producción.....	234
2.2. Materiales	238
2.2.1. Agregado Grueso.....	238
2.2.2. Agregado Fino	238
2.2.3. Filler.....	239
2.2.4. Cemento Asfáltico	239
2.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	240
2.2.5.1. Temperatura de mezcla.....	240
2.2.5.2. Lavado asfáltico.....	240

2.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente (Método Marshall)	241
2.3. Colocación.....	242
2.4. Vías ejecutadas	243
CAPITULO VI.....	244
PROPUESTA DE CALIDAD.....	244
1. Propuesta de parámetros de Calidad.....	244
2. Implementación del protocolo de Calidad en Planta	256
3. Análisis económico de implementación de Protocolo.....	261
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	262
1. Conclusiones.....	262
2. Recomendaciones	264
3. Bibliografía.....	265
4. Anexos.....	266
4.1. Certificado de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.....	266
4.2. Ensayo de sales solubles totales - agregado grueso - Supermix	268
4.3. Ensayo de sales solubles totales - agregado fino - Supermix.....	269
4.4. Ensayo de sales solubles totales - agregado grueso - Blakstone	270
4.5. Ensayo de sales solubles totales - agregado fino - Blakstone	271
4.6. Cuadros de datos – Diseño se mezclas Marshall – GyA Contratistas.....	272
4.7. Cuadros de datos – Diseño se mezclas Marshall – SuperAsfaltos.....	277

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Panta de Asfalto móvil, Fuente: Manual de planta TEREX, (2018)	9
Figura 2: Panta de Asfalto Estacionaria, Fuente: Manual de planta DIMAQ (2018)	10
Figura 3: Tolvas, Célula de Pesaje y transportador colector, Fuente: MCI Cifali. Manual de Plantas RD (2013)	11
Figura 4: Tolvas, Célula de Pesaje y transportador colector, Fuente: Manual de plantas DESAMAQ (2018)	12
Figura 5: Secador de agregados, Fuente: Planta GyA contratistas, Arequipa (2019)	13
Figura 6: Sistemas colectores de polvo, Fuente: Manual de planta TEREX (2018)	14
Figura 7: Sistema de cribado, Fuente: Manual de planta de asfalto FOCUS (2019)	15
Figura 8: Silo de almacenamiento, Fuente: Manual de planta de asfalto FOCUS (2019) ..	15
Figura 9: Sistema de alimentación de relleno mineral, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)	16
Figura 10: Tanque de almacenamiento, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)	17
Figura 11: Caldero, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)	18
Figura 12: Dosificador de Cemento Asphaltico, Fuente: Planta GyA contratistas (2019) ..	19
Figura 13: Mezclador, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)	20
Figura 14: Tambor secador - Mezclador. Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)	21
Figura 15: Sistema de control, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)	22
Figura 16: Sistema de control, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)	23
Figura 17: Pantalla cabina operador, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)	24
Figura 18: Transportador escalonado y silo de almacenamiento, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)	25
Figura 19: Planta Intermitente, Fuente: Plantas Grupo MLN (2015)	28
Figura 20: Planta Continua, Fuente: Manual de plantas TICEL (2018)	30

Figura 21: Protección de acopios, Fuente: Manual de plantas RD. (2003).....	31
Figura 22: Compuertas de tolvas, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018).....	32
Figura 23: Vibradores, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018).....	33
Figura 24: Vista interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018).....	36
Figura 25: Vista interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: manual de plantas TEREX (2018).....	37
Figura 26: División interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: Manual de plantas TICEL (2019).....	38
Figura 27: Quemador df-04, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018).....	39
Figura 28: Tanques de asentamiento, Fuente: Planta de asfalto, Gerencia regional de transportes y comunicaciones (2018).....	40
Figura 29: Mangas, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018).....	42
Figura 30: Sistema de alimentación de combustible, Fuente: Manual de plantas CIFALI (2001).....	44
Figura 31: Diagrama del funcionamiento del sistema de calentamiento del C.A, Fuente: Manual de plantas CIFALI (2001).....	46
Figura 32: Sistema de almacenamiento de combustible, Fuente: Tanques de almacenamiento MARINI (2019)	48
Figura 33: Caldero, Fuente: Tanques móviles BECOMP (2019)	49
Figura 34: Transportador escalonado y silo, Fuente: Equipos ABLISA (2007).....	51
Figura 35: Cargador Frontal, Fuente: Cargadores frontales VOLVO (2019).....	55
Figura 36: Volquete, Fuente: Volquetes IVECO (2019).....	55
Figura 37 (a): Roca que producirá agregado de buena calidad, Fuente: Cantera Colima (2007).....	61

Figura 38 (b): Roca meteorizada, Fuente: Cantera Colima (2007).....	61
Figura 39 (a): Cantera, Fuente: Cantera Colima (2007).....	63
Figura 40 (b): Trituradora, Fuente: Cantera Colima (2007).....	63
Figura 41 (a): Roca Porosa, Fuente: Cantera Colima (2007).....	64
Figura 42 (b): Roca Solida, Fuente: Cantera Colima (2007)	64
Figura 43 (a): Piedra rugosa, Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006).....	68
Figura 44 (b): Piedra rugosa. Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006).....	68
Figura 45: Piedra lisa, Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006).....	69
Figura 46: Productos y temperaturas típicas de destilación. Ms 22, Fuente: Instituto del asfalto (2001)	105
Figura 47: Proceso típico de refinación. Ms 22, Fuente: Instituto del asfalto (2001).....	106
Figura 48: Cargado de mezcla asfáltica en volquete, Fuente: Planta GyA contratistas (2019).....	110
Figura 49: Componentes de la mezcla asfáltica, Fuente: Instituto del asfalto (2001)	111
Figura 50 (a): Equipo Marshall, Fuente: Laboratorio de asfalto “UCSM” (2019).....	113
Figura 51 (b): Equipo Baño maría, Fuente: Laboratorio de asfalto “UCSM” (2019).....	113
Figura 52: Modelo estándar de Programa de Puntos de Inspección, Fuente: Jorge Jimeno Bernal (2003)	125
Figura 53: Planta de mezcla asfáltica, Fuente: GyA Contratistas (2019)	126
Figura 54: Ubicación de Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Google maps (2019).....	127
Figura 55: Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019)...	128
Figura 56: Ubicación de Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Google maps (2019).....	128

Figura 57: Acopio de agregado grueso de 3/4'', Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019).....	130
Figura 58: Acopio de agregado fino, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019).	130
Figura 59: Cargador frontal, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019).....	130
Figura 60: Equipo de lavado asfáltico, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019).....	131
Figura 61: Acopio de agregado grueso de 3/4'', Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019).....	133
Figura 62: Acopio de agregado fino, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019).....	133
Figura 63: Cargador frontal, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019).....	134
Figura 64 y 65: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	140
Figura 66 y 67: Ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	141
Figura 68 y 69: Ensayo de adherencia, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	142
Figura 70 y 71: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	143
Figura 72 y 73: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	144
Figura 74 y 75: Ensayo de caras fracturadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	145
Figura 76 y 77: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	147

Figura 78 y 79: Ensayo de partículas deleznales, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	148
Figura 80 y 81: Ensayo de equivalente de arena, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	149
Figura 82 y 83: Ensayo de Angularidad, Fuente: Laboratorio de Roberto Cáceres (2019).....	150
Figura 84 y 85: Ensayo de Azul de metileno, Fuente: Laboratorio de Roberto Cáceres (2019).....	151
Figura 86.87 y 88: Ensayo de Limite líquido, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	153
Figura 89 y 90: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	154
Figura 91 y 92: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	155
Figura 93 y 94: Ensayo de índice de plasticidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	156
Figura 95 y 96: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	158
Figura 97 y 98: Ensayo de partículas deleznales, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	159
Figura 99: Ficha Técnica Carpetek, Fuente: Rocatech (2019).....	160
Figura 100: Ficha Técnica PEN 85/100, Fuente: Petroperú (2019).....	161
Figura 101: Carta viscosidad-temperatura PEN 85/100, Fuente: Petroperú (2019).....	162
Figura 102 y 103: Control de temperatura del PEN, Fuente: Planta GyA contratistas (2019).....	163

Figura 104 y 105: Lavado asfáltico, Fuente: Planta GyA contratistas (2019).....	164
Figura 106 y 107: Diseño de mezclas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos, UCSM (2019).....	173
Figura 108 y 109: Asfaltado de vía, Vía Tahuaycani, Fuente: Sachaca (2019).....	175
Figura 110,111,112 y 113: Extracción de diamantinas de asfalto y rotura de probetas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos, UCSM (2019)	178
Figura 114 y 115: Lavado asfáltico, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)..	180
Figura 116 y 117: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	186
Figura 118 y 119: Ensayo de abrasión de los ángulos, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	187
Figura 120 y 121: Ensayo de adherencia, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	188
Figura 122 y 123: Ensayo de Índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	189
Figura 124 y 125: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	190
Figura 126 y 127: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM.....	191
Figura 128 y 129: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	193
Figura 130 y 131: Ensayo de partículas deleznales, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	194
Figura 132 y 133: Ensayo de equivalente de arena, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	195

Figura 134 y 135: Ensayo de Angularidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	196
Figura 136 y 137: Ensayo de Azul de metileno, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	197
Figura 138,139 y 140: Ensayo de limite líquido, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	199
Figura 141 y 142: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	200
Figura 143: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	201
Figura 144 y 145: Ensayo de índice de plasticidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	202
Figura 146 y 147: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	204
Figura 148 y 149: Ensayo de partículas desmenuzables, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM	205
Figura 150: Ficha Técnica PEN 85/100, Fuente: Repsol (2019)	207
Figura 151: Carta viscosidad-temperatura PEN 85/100, Fuente: Repsol (2019).....	208
Figura 152 y 153: Control de temperaturas del PEN, Fuente: Planta SuperAsfaltos (2019).....	209
Figura 154 y 155: Lavado asfáltico, Fuente: Planta SuperAsfaltos (2019)	210
Figura 156 y 157: Diseño de mezclas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019).....	219
Figura 158 y 159: Asfaltado de vía, Av. Dolores, Fuente: José Luis Bustamante y Rivero (2019).....	221

Figura 160, 161 y 162: Extracción de diamantinas de asfalto y rotura de probetas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019) 223

Figura 163 y 164: Lavado asfáltico, Fuente: Laboratorio de asfalto SuperAsfaltos (2019)..... 224

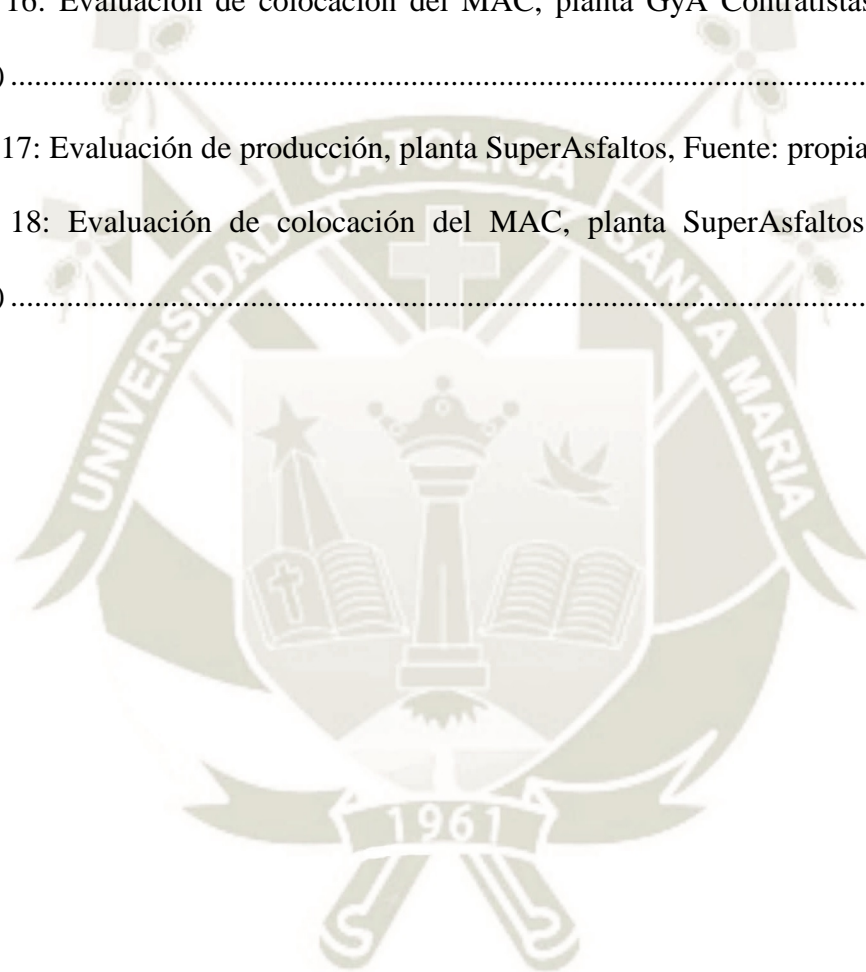
Figura 165 y 166: Planta de asfalto GyA Contratistas, Fuente: Toquepala (2019) 256



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones gradación de agregados, durabilidad, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	75
Tabla 2: Tamaños de malla para tamizado final, durabilidad, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013	77
Tabla 3: Numero de esferas para ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	78
Tabla 4: Gradación de muestra para ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	79
Tabla 5: Peso de muestra para ensayo de adherencia, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	82
Tabla 6: Peso de muestra para ensayo de caras fracturadas, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013	86
Tabla 7: Peso de muestra para ensayo de absorción, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013	90
Tabla 8: Peso de muestra para ensayo de partículas deleznable, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	93
Tabla 9: Tamices para separación de terrones de arcilla y partículas deleznable para ensayo de partículas deleznable, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	93
Tabla 10: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico clasificado por penetración, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	109
Tabla 11: Especificaciones para la gradación del agregado combinado, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	114
Tabla 12: Especificaciones para el empleo del tipo de cemento asfáltico según características climáticas de la región, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.....	114

Tabla 13: Especificaciones para mezclas asfálticas, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013	115
Tabla 14: Componentes de la mezcla asfáltica, Fuente: Manual de carreteras EG-2013 (2018)	117
Tabla 15: Evaluación de producción, planta GyA Contratistas, Fuente: propia (2019) ...	139
Tabla 16: Evaluación de colocación del MAC, planta GyA Contratistas, Fuente: propia (2019)	174
Tabla 17: Evaluación de producción, planta SuperAsfaltos, Fuente: propia (2019)	185
Tabla 18: Evaluación de colocación del MAC, planta SuperAsfaltos, Fuente: propia (2019)	220



CAPITULO I

OBJETIVOS Y ALCANCES

1. Problemática de Estudio

Las plantas de asfalto en caliente en la provincia de Arequipa son las empresas que proveen de Mezcla asfáltica en caliente para todos los proyectos viales que se ejecutan en la provincia de Arequipa. Las vías de la provincia de Arequipa fueron construidas en la última década con un objetivo sólido de desarrollo económico y social.

Hoy en día estas vías dan preocupantes signos de deterioro, llegando a terminar su vida útil después de unos pocos años de uso, siendo una de las causas el mal producto ofrecido por las plantas asfálticas de la Ciudad de Arequipa.

Es por este motivo que surgió la iniciativa de realizar una investigación que muestre algunas causas de los problemas comunes que se presentan en una producción de mezcla asfáltica en caliente. Un adecuado proceso constructivo y controles de calidad en la planta de asfalto, conllevan a pavimentos de mejor calidad

Las plantas de asfalto en Arequipa no tienen establecido un parámetro de calidad, que defina el alcance y los objetivos de calidad para llevar un mejor servicio al cliente, definir mejoras que conlleven a un producto mejorado para el cliente y controlar dichos procesos. De aquí es que nace esta propuesta de esta tesis, de la necesidad de elaborar protocolos que controlen procedimientos y designen recursos para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente (que de ahora en adelante lo llamaremos MAC) enmarcado en los requerimientos del manual de carreteras del ministerio de transportes y comunicaciones de Perú (MTC), especificaciones generales, versión 2013 (EG-2013).

2. Objetivos de Estudio

2.1. Objetivo General

Implementar parámetros de calidad aplicado a la mezcla asfáltica caliente producida en las plantas asfálticas en caliente en la provincia de Arequipa, para la construcción de mezcla asfáltica en caliente según las especificaciones técnicas del manual de carreteras EG-2013 del ministerio de transportes y comunicaciones MTC.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la aplicación del Manual de Carreteras, especificaciones generales, versión 2013 (EG-2013) en la elaboración de mezcla asfáltica caliente en las plantas de asfalto en caliente en la provincia de Arequipa.
- Ofrecer un protocolo de calidad aplicado a la mezcla asfáltica caliente producida en las plantas asfálticas en caliente y su impacto en el desempeño de la mezcla colocada, según los fundamentos y requisitos del manual de carreteras EG-2013. Esto para los profesionales y empresas que estén involucrados en la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.
- Realizar un reglamento interno o controles en la planta de asfalto en caliente.
- Proporcionar información básica de los problemas que pueden ocurrir en una producción de mezcla asfáltica sin seguir los protocolos de calidad.
- Evidenciar los beneficios que se observan en un proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente con la implementación de los protocolos de calidad

3. Justificación

La producción de mezcla asfáltica en caliente de ha mejorado considerablemente, hoy en día las plantas y los procesos de elaboración se han realizado de manera rustica, con poca preparación y/o capacitación del personal en temas de mezclas asfálticas en caliente. Ningún equipo sofisticado podrá compensar malas técnicas de trabajo y mal uso de materiales.

Una buena mezcla asfáltica en caliente dependerá del cumplimiento de los requisitos. Por ende, revisar el diseño proporcionado en las especificaciones, llevara a una carpeta asfáltica resistente, durable y económica.

En tal sentido, este proyecto es necesario, incorporar a las plantas de asfalto, un protocolo de calidad aplicado a la producción de mezcla asfáltica en caliente

Este protocolo mejorara el producto ofrecido a los proyectos viales y capacitara al personal en poner en practica buenos hábitos en la producción de mezcla asfáltica en caliente.

4. Alcances y Limitaciones de Estudio

4.1. Alcances

La investigación aplicada se enfoca hacia la incorporación, control de los procesos y recursos asociados que deben aplicarse, para cumplir con los requisitos y objetivos de calidad en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, determinando:

- Implementación de controles de calidad en la producción para la mezcla asfáltica en caliente.
- Establecer procesos y puntos específicos a intervenir en la elaboración del MAC
- Proporcionar registros de manera que quede evidencia de todo el proceso de la elaboración del MAC en cualquier jornada.
- Verificar la calidad de todos los materiales que intervienen en la elaboración del MAC.
- Evaluar y conocer al personal involucrado en la planta de mezcla asfáltica en caliente

4.2. Limitaciones

Esta tesis abarca la estructura de un protocolo de calidad enfocado a los materiales, metodología de producción y construcción en obra de las mezclas asfálticas en caliente siguiendo los parámetros del Manual de Carreteras, especificaciones generales (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El análisis funcionará únicamente para una planta móvil estándar de elaboración de mezcla asfáltica en caliente y ejecución de vías ubicadas en la provincia de Arequipa.

En la evaluación calidad de materiales, se realizarán todos los ensayos según el Manual de Carreteras, especificaciones generales (EG-2013), a excepción de los ensayos al cemento asfáltico debido a la dificultad para el acceso de estos equipos

5. Metodología de Estudio

5.1. Tipo de Investigación

El método de investigación es de observación, fotografías y toma de muestras, acudiendo a la experiencia de personal conociendo el problema(entrevistas), observando todo el procedimiento de elaboración con el personal vinculado en la producción de mezcla asfáltica en caliente.

Para la realización de la toma de datos se coordinó con las instancias correspondientes, para contar con el permiso, así de esta manera se pueda tener acceso a realizar las encuestas y las evaluaciones de los diagnósticos de las plantas de asfalto.

5.2. Tamaño de Muestra

Para obtener la información necesaria para el análisis de una planta de mezcla asfáltica en caliente se tomaron las siguientes muestras:

Materiales para ensayos: 120 kg de Arena de la tolva de la planta, 120 kg de piedra de la tolva de la planta, 02 galones de cemento asfáltico tomados del tanque de almacenamiento de la planta.

Personal entrevistado: Jefe de planta, Ingeniero de planta, Operador de planta, jefe del laboratorio, ingeniero de ejecución de vía, operador de rodillo tándem, operador de rodillo neumático, lo que hace un total de 07 personas.

Todos estos materiales y personas entrevistadas son por cada planta asfáltica a estudiar.

Las plantas estudiadas son: GyA Contratistas y SuperAsfaltos.

5.3. Toma de información

Se utilizó el método de la encuesta, a los personales que laboran en las plantas de asfalto y al área administrativa de las entidades. La técnica que se utilizó fue la entrevista mediante la encuesta, toma de fotografías y toma de muestras de materiales para ensayarlos, técnica utilizada para la recolección de información sobre el nivel de conocimiento de producción de mezcla asfáltica en caliente.

5.4. Procesamiento y Análisis

El instrumento de medición de las variables del objeto de estudio se refiere a las encuestas, toma de fotografías y muestras extraídas de las plantas, que consisten en un conjunto de preguntas sobre los hechos y aspectos de interés en la investigación, toma de fotografías a áreas, ejecución, manipulación de los distintos componentes relacionados a las plantas asfálticas y la extracción de muestras para someterlas a pruebas establecidas en el manual de carreteras y así evaluar su calidad.

Al final de todo este proceso se obtendrán los resultados que nos dirán cuáles son los problemas comunes que presentan las plantas de MAC, y así proponer un protocolo de calidad que mitigue esos problemas y garantice un MAC de calidad.

6. Planteamiento de la Hipótesis

No hay un buen control en la producción de mezcla asfáltica en caliente en las plantas asfálticas estándar en la provincia de la Arequipa siendo el mayor inconveniente el incumplimiento de los requerimientos del manual de carreteras, especificaciones generales (EG-2013) en el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica. Por lo que al plantear un protocolo calidad se podrá controlar mucho mejor la producción de mezcla asfáltica en caliente

e intervenir en varios puntos de la planta que no cumplan los requerimientos de calidad del Manual de Carreteras, especificaciones generales (EG-2013) y garantizar la calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida en planta.



CAPITULO II

GENERALIDADES

1. Antecedentes

Como antecedentes a la presente investigación se tomó en cuenta los siguientes trabajos de investigación:

Pacco Apaza Néstor Raúl, 2015: En su estudio “Plan de calidad en la producción de mezcla asfáltica en caliente, en la planta de asfalto de la ciudad de Juliaca”, tuvo como objetivo proponer un plan de calidad aplicado a la mezcla asfáltica caliente producido en la planta de asfalto de la Municipalidad Provincial de San Román de la ciudad de Juliaca, sobre la base de los fundamentos y requisitos de las normas ISO 9000:2000, ISO 9001:2000, mediante la metodología de la encuesta y la observación de la planta. Desarrollando un plan de calidad en la producción de mezcla asfáltica.

Al final de la investigación dejó claros los conceptos de los sistemas de calidad en general, su implementación, aplicación en la planta de asfalto.

2. Empresas en estudio

Para el presente estudio se evaluarán las plantas de 2 entidades importantes en el abastecimiento de mezcla asfáltica en caliente en la Provincia de Arequipa:

2.1. GyA Contratistas

Es una empresa dedicada al desarrollo y construcción de edificaciones y obras civiles en general, atendiendo la demanda de clientes públicos y privados; utilizando su capacidad de gestión e ingeniería para asegurar en cada proyecto la máxima satisfacción de sus clientes, basándonos en la participación responsable y activa de cada uno de sus clientes.

Actualmente se encuentra bajo la dirección del Ing. Mario Herbert Gonzales Aguilar, quien es Ingeniero Civil de profesión y cuya planta que será objeto de estudio está a su cargo.

2.1.1. SuperAsfaltos

Es una empresa dedicada a la producción de mezcla asfáltica en caliente para obras viales en general, atendiendo la demanda de clientes públicos y privados. Con 10 años al servicio de la provincia de Arequipa

Actualmente se encuentra bajo la dirección del Ing. Jean Paul Paredes Román, quien es Ingeniero Civil de profesión y cuya planta que será objeto de estudio está a su cargo.



CAPITULO III

MARCO TEORICO

1. Plantas de Asfalto

Una planta de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones. Una planta de asfalto puede ser pequeña o puede ser grande. Puede ser fija (situada en un lugar permanente) o puede ser portátil (transportada de una obra a otra). En términos generales cada planta puede ser clasificada como planta de dosificación, o como planta mezcladora de tambor.

El propósito es el mismo sin importar el tipo de planta. El propósito es de producir una mezcla en caliente que posea las proporciones deseadas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las especificaciones. Ambos tipos de planta (plantas de dosificación y plantas mezcladoras de tambor) están diseñadas para lograr este propósito. La diferencia entre los dos tipos de planta es que las plantas de dosificación secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo (Aponte, A. 2018).



Figura 1: Planta de Asfalto móvil, Fuente: Manual de planta TEREX, (2018)



Figura 2: Panta de Asfalto Estacionaria, Fuente: Manual de planta DIMAQ (2018)

A continuación, se describirán los distintos componentes de las plantas para mezcla asfáltica en caliente, tomando en consideración que la mayoría de estos elementos son comunes para todos los tipos de planta, haciéndose mención de las variantes y componentes exclusivos para algún tipo de planta cuando se considere necesario.

1.1. Componentes de las Plantas de Mezcla Asfáltica en caliente

1.1.1. Sistema de alimentación y dosificación de agregados en frío

Este sistema es el encargado de la captación de los agregados, a temperatura ambiente, está compuesto principalmente por tres, cuatro o hasta seis tolvas, dependiendo el tipo y los requerimientos del tipo de planta. En la parte inferior de las tolvas se encuentra la correa dosificadora, esta es accionada por uno de los rodos guías, el cual recibe potencia a través de correas de un motor reductor que es accionado por un motor eléctrico. En algunos casos la velocidad de la correa transportadora es constante, aunque en las plantas de tambor mezclador puede ser de velocidad variable.

Tolvas: Son elementos en forma de tronco piramidal invertidos, con capacidades de entre 5m³ hasta 8m³. En estas es depositado cada uno de los agregados pétreos. En la parte inferior, en el lado de salida y en dirección donde corre la banda dosificadora están provistas de compuertas encargadas de limitar la salida del agregado y por ende hacer la dosificación necesaria.

Célula de Pesaje: En la mayoría de sistemas de dosificación, este proceso se realiza pesando la cantidad de los agregados, esto se realiza por medio de un dispositivo de control, el elemento primario lo constituye una célula la cual es instalada en la parte inferior de la correa dosificadora. La unidad de medida puede ser Ton / hora.

Transportador colector: La mayoría de plantas están equipadas con el transportador colector, este consiste en una correa transportadora donde son llevados los agregados ya dosificados en forma conjunta y uniforme. Es de mucha importancia tomar en consideración que la correcta dosificación de los agregados, principalmente para las plantas de tambor mezclador, es uno de los factores más importantes para la calidad de la mezcla.

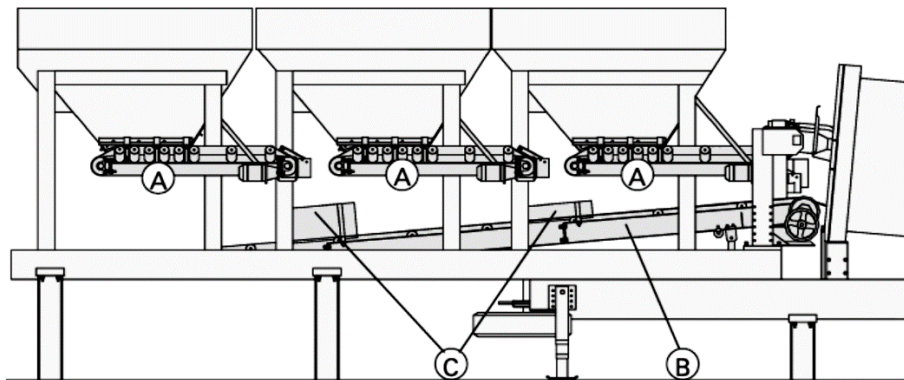


Figura 3: Tolvas, Célula de Pesaje y transportador colector, Fuente: MCI Cifali. Manual de Plantas RD (2013)

A: Correa dosificadora, B: Transportador Colector, C: Células de carga



Figura 4: Tolvas, Célula de Pesaje y transportador colector, Fuente: Manual de plantas DESAMAQ (2018)

1.1.2. Secador de agregados

Las plantas para mezcla asfáltica en caliente, todas están provistas de un secador, el cual tiene la función de secar los agregados pétreos y elevarlos a la temperatura de mezclado, necesaria para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Para las plantas intermitentes y convencionales el secador consiste en un cilindro metálico, que gira alrededor de su eje, en su interior posee aletas para arrastrar los agregados y exponerlos a la llama y gases calientes que produce el quemador de llama graduable que se encuentra en un extremo del cilindro.

Los vapores producidos por la humedad contenida en los agregados, es removida por la circulación controlada de gas y aire producida por el ventilador.

Los secadores poseen termómetros encargados de registrar la temperatura de los agregados durante el proceso de secado.

En las plantas de tambor el secado de los agregados se realiza en el tambor secador-mezclador, este elemento se describe más adelante.



Figura 5: Secador de agregados, Fuente: Planta GyA contratistas, Arequipa (2019)

1.1.3. Sistemas colectores de polvo

El sistema colector de polvo o de finos tiene como principal función la eliminación de partículas de los gases de escape que son liberados al medio ambiente, para evitar la contaminación. Las partículas que son producidas durante el proceso de secado provenientes de los agregados; son arrastradas por el flujo de aire producido por el ventilador extractor y luego son atrapadas y precipitadas por el sistema colector de polvo. Para los colectores de polvo o finos como suele llamárseles de vía húmeda el sistema está constituido por un sistema de riego, tubo Venturi, decantador y chimenea, además del ventilador. Los gases del proceso son extraídos por el ventilador extractor; ayudando también a la combustión dentro del secador, luego son regados con agua atomizada aproximadamente 80Gls. /min. dependiendo el diseño de la planta.

El agua y el flujo de gases abrumado de partículas finas en una forma de flujo ciclónico llegan al tubo ventilador y la mezcla densa de agua y polvo se remueven o se transfiere a los estanques de asentamiento. Éstos están diseñados para permitir la remoción de las partículas sólidas del agua. El ventilador-extractor controlado por una válvula de entrada de aire, regula la circulación de gas de proceso y la caída de la presión. Los colectores de polvo logran

eficacias de hasta 96%. Las partículas atrapadas en el colector de polvo y precipitadas en los tanques de asentamiento pueden ser reincorporadas a la mezcla asfáltica.

1.1.3.1. Colector de finos vía seca

Una de las innovaciones en el proceso de colección de finos es el sistema de filtros secos para la recolección de partículas finas, conocidos como baghouse, o filtros de mangas. Las plantas más modernas están equipadas con este tipo de filtros; estos son muy eficientes, regularmente las plantas equipadas con filtro de mangas son plantas del tipo de tambor secador-mezclador. Este sistema de colector de finos contribuye a la reducción de contaminación ambiental significativamente.



Figura 6: Sistemas colectores de polvo, Fuente: Manual de planta TEREX (2018)

1.1.4. Sistema de cribado

El sistema de cribado de materiales es un proceso regularmente exclusivo para plantas convencionales e intermitentes, consiste en hacer pasar los agregados ya secados a través de diferentes tamices, con el objeto de obtener la granulometría deseada para la mezcla asfáltica.

Los dispositivos utilizados para el cribado consisten en una serie de cribas, (tamices) vibratorias, están colocadas a la salida del secador inmediatamente encima de los silos que reciben los agregados.

El sistema de cribado por lo regular en las plantas de tambor mezclador no es necesario puesto que la mayoría de veces las tolvas son alimentadas con agregados provenientes del

proceso de trituración y los agregados ya poseen la granulometría necesaria según el diseño de la mezcla asfáltica a producir.

El cribado de material es utilizado en el proceso del reciclado de pavimento, lo cual debe ser controlado según el tipo de mezcla asfáltica a producir.



Figura 7: Sistema de cribado, Fuente: Manual de planta de asfalto FOCUS (2019)

1.1.5. Silos de almacenamiento de agregados cribados

Estos silos son exclusivamente utilizados en las plantas intermitentes, son depósitos intermedios para los agregados secos y cribados previamente a ser pesados y mezclados. Están diseñados para reducir al mínimo las segregaciones.



Figura 8: Silo de almacenamiento, Fuente: Manual de planta de asfalto FOCUS (2019)

1.1.6. Sistema de alimentación de relleno mineral

El polvo recuperado por el colector de finos puede ser reincorporado al mezclador por medio de un alimentador y un elevador quedando apilado en el silo correspondiente. Para las plantas de tambor mezclador los finos recuperados en el filtro de mangas, son reincorporados en el tambor mezclador, siendo llevados por un tornillo de rosca sin fin, el sistema debe de estar en buen funcionamiento y libre de obstrucciones.



Figura 9: Sistema de alimentación de relleno mineral, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

1.1.7. Sistema de almacenamiento y calentamiento del cemento asfáltico

El sistema de almacenamiento del cemento asfáltico consiste en tanques de almacenamiento, provistos de dispositivos para calentar el cemento asfáltico hasta la temperatura de diseño, dependiendo del tipo de cemento asfáltico que se va a trabajar.

Las capacidades de los tanques de cemento asfáltico son variables dependen de la capacidad de producción de la planta, para plantas pequeñas podemos hablar de tanques de 25 000 a 30 000 Litros, regularmente para la mayoría de plantas los tanques son depósitos cilíndricos metálicos con aislante térmico en la mayoría de los casos fibra de vidrio. En ausencia de tanques, se pueden construir fosas de concreto debidamente impermeabilizadas, para evitar

fugas; también equipadas con serpentines para mantener a la temperatura necesaria el cemento asfáltico.

El sistema de calentamiento está compuesto principalmente por una caldera, una bomba centrífuga que hace recircular el aceite térmico, tuberías enchavetadas (encamisadas), y serpentines que están directamente sumergidos en los depósitos de cemento asfáltico así también el sistema debe contar con los dispositivos de control necesarios, en este caso termómetros.

La mayoría de calderas están provistas de un control automático que regulan la temperatura una vez programadas. En algunos sistemas también son utilizados el vapor o gases de combustión como fluido caliente. En caso de usar los sistemas de calefacción por gases calientes de quemadores de combustible líquidos, la cámara de combustión, debe estar fuera del tanque o protegida con material refractario; y es necesario un mejor control de la temperatura.



Figura 10: Tanque de almacenamiento, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)



Figura 11: Caldero, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

1.1.8. Sistema dosificador de cemento asfáltico

En las plantas continuas la dosificación del cemento asfáltico se realiza por medio de bombas a presión. Los tipos más utilizados son las bombas de volumen constante, pero también se utilizan las de volumen variable. Las bombas de caudal constante, mediante distintos juegos de piñones, se consigue ajustar la porción de asfalto a suministrar. Los fabricantes de plantas tipo continuo dan generalmente los datos sobre la cantidad de asfalto suministrado por la bomba por cada vuelta que esta realiza, hay que tomar en consideración los datos de temperatura y condición de los engranes de la bomba. Las bombas de engranajes para inyección de asfalto se encuentran de diferentes capacidades; para una planta de 100 Ton/Hora se utiliza una de 1.5 pulgadas y una de 2 pulgadas para una capacidad mayor. Estas bombas poseen una cámara externa, a través de la cual puede circular el aceite térmico para evitar el atascamiento de cemento asfáltico por endurecimiento.



Figura 12: Dosificador de Cemento Asfáltico, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

1.1.9. Mezclador

Es el elemento de la planta donde después de haberse dosificado lo agregados se realiza la mezcla homogénea de estos con el cemento asfáltico. Aunque el fundamento del mezclado sea el mismo, existen diferentes tipos de mezcladores, según sea el tipo de planta. Las plantas tipo intermitente emplean mezcladores de ejes gemelo provistos con paletas, las cuales mezclan los agregados y el cemento asfáltico de cada mazada en forma homogénea. Al girar en sentido opuesto las paletas baten y revuelven la mezcla en todo el recipiente. Es muy importante para el buen funcionamiento de este tipo de mezclador que las paletas estén en buen estado mecánico.

En las plantas de tipo continuo, básicamente el funcionamiento de mezclador es idéntico al mezclador de las plantas intermitentes, con la diferencia de que el mezclador está abierto en uno de sus extremos por donde se efectúa la descarga continua y su longitud es mayor que el de un mezclado de tipo intermitente. Por un extremo entran los agregados y en la primera sección realiza un mezclado en seco, posteriormente se inyecta el cemento asfáltico y se completa el proceso de mezclado para luego realizarse la descarga. La precisión del mezclado varía con la altura o peso del material contenido en el mezclador, el cual puede regularse por

medio de la compuerta de salida. La altura de los materiales no debe superar la altura de las paletas. El tiempo de mezclado está en función de la capacidad del mezclador y la producción.

Tiempo de mezclado en seg. = Capacidad del mezclador en kilos / (Producción en kilos / s)



Figura 13: Mezclador, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

1.1.10. Tambor secador-mezclador

La estructura del tambor consiste en un cilindro metálico y dos anillos de acero, en estos últimos es donde el cilindro se apoya para rodar sobre cuadro rodos de apoyo.

El tambor gira sobre su propio eje accionado por un moto reductor, el cual recibe potencia de un motor eléctrico. En la primera sección interior están dispuestas las tablillas que hacen que los agregados sean elevados y caigan obligatoriamente, a través del flujo de gases calientes provenientes del fuego del quemador, con esta función se logra quitar la humedad de los agregados, así como calentarlos a la temperatura especificada para la mezcla asfáltica. En su segunda sección, la inyección del cemento asfáltico es hecha por la bomba dosificadora, en esta sección las tablillas están dispuestas de tal forma para que los agregados se mezclen con el cemento asfáltico, así como retener parte de las partículas que son arrastradas por el sistema de extracción de gases calientes provenientes del quemador.



Figura 14: Tambor secador - Mezclador. Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)

El tambor mezclador o barril tiene en uno de sus extremos con un quemador, el cual produce una llama de intensidad graduable, la cual es la que hace posible el secado de los agregados y la elevación de la temperatura de la mezcla asfáltica.

1.1.11. Sistema de control

El sistema de control está compuesto principalmente por el Hardware (componentes físicos) y Software. Parte de estos ubicados en una cabina de control, donde se encuentran todos los mandos de la planta y desde donde se pueden monitorear todas las operaciones de arranque, funcionamiento, acciones correctivas y paro de la misma.

El Hardware comprende desde las computadoras, impresora de reportes, y todos los controles electrónicos y eléctricos ubicados en la cabina de control y el sistema de control compuesto por los dispositivos eléctricos y electrónicos que reciben las señales de los distintos sensores ubicados en la planta y que envían y reciben operaciones de mando de los microprocesadores en cabina de control.

En la actualidad, la mayoría de plantas productoras de mezcla asfáltica en caliente utilizan sofisticados sistemas de control, el tipo de sistema de control dependerá directamente del tipo de planta y del fabricante. El software comprende los distintos programas para computadora,

realizados para cada tipo de sistema de control, en la mayoría de ellos se puede observar en pantalla distintos parámetros como: temperatura de aceite térmico, temperatura del filtro de mangas, temperatura de la mezcla asfáltica a la salida, etc. Desde allí se pueden realizar operaciones de mando sobre todo el proceso.

En la Figura a continuación se puede observar la pantalla que permanece durante la operación y en ella se incluye:

- Diagrama mímico animado que señala los componentes que están en movimiento y las taras instantáneas de agregados mezcla asfáltica, asfalto y combustible.
- Alarmas por valores irregulares de temperatura o ausencia de llama.
- Paradas por valores irregulares de temperatura o ausencia de llama.
- Sistema de manejo semiautomático.
- Interruptor para apagado secuencial.



Figura 15: Sistema de control, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)



Figura 16: Sistema de control, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)

En el tablero se registra:

- Secuencia de arranque
- Temperaturas programadas de asfalto, combustible, mezcla asfáltica y gases
- Temperaturas actuales de asfalto, combustible, gases y mezcla asfáltica
- Peso de agregados secos
- Toneladas consumidas de agregados
- Toneladas producidas de mezcla asfáltica en caliente
- Consumo de asfalto
- Consumo de combustible.
- Velocidad de los alimentadores
- Velocidad de la bomba de asfalto
- Porcentaje de apertura de la válvula de asfalto

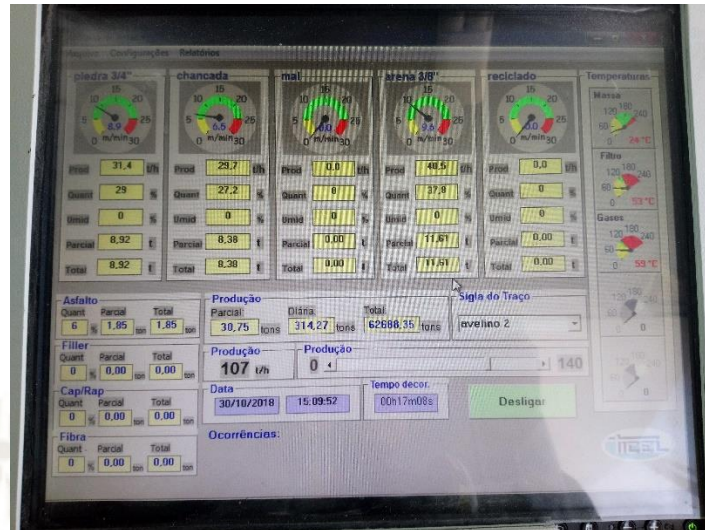


Figura 17: Pantalla cabina operador, Fuente: Planta Marquisa SAC (2019)

1.1.12. Transportador escalonado y silo de almacenamiento

El transportador escalonado, tiene como función transportar la mezcla asfáltica en caliente terminada, hacia el depósito de descarga o hacia un silo de almacenamiento, dependiendo si la planta está equipada con éste. El transportador escalonado consiste en un rectángulo metálico, que en su interior posee una cadena equipada con las paletas de arrastre, las que transportan la mezcla asfáltica. Es colocado de forma inclinada a 45 hasta 55 grados según sea el caso.

Los silos de almacenamiento son depósitos cilíndricos recubiertos con un aislante térmico para mantener la temperatura de la mezcla asfáltica, en algunos casos son equipados con serpentines para recirculación de aceite térmico, su diseño se realiza de tal forma de evitar la segregación de la mezcla asfáltica. En la parte inferior están equipados de una compuerta de accionamiento por medio de cilindros neumáticos, por medio de la cual se descarga directamente a camiones.

La utilización de los silos de almacenamiento para mezcla asfáltica en caliente terminada, se hacen necesarios por la razón de mantener una capacidad de compensación para mantener una producción continua (Pacco, N. 2015).



Figura 18: Transportador escalonado y silo de almacenamiento, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

1.2. Tipos de Plantas de Mezcla Asfáltica

El principal objetivo de las plantas de asfalto, en el proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente, es la dosificación exacta de los agregados pétreos y la del cemento asfáltico, según el método de diseño de la mezcla asfáltica y el tipo en sí de ésta.

Posteriormente se deberá controlar el proceso de secado mezclado, que difiere según el tipo de planta y es donde se consideran la temperatura y humedad de los agregados; así como la temperatura del cemento asfáltico.

Como se mencionó en secciones anteriores en las plantas continuas convencionales, como en las plantas de bachada, el proceso de secado y mezclado se da de manera totalmente independiente, por el contrario, en las plantas de tambor secador-mezclador es un proceso continuo, lo que ha hecho de que las plantas de tambor mezclador, sean más versátiles y eficientes.

En la actualidad la producción en plantas de tambor secador-mezclador ha logrado llegar hasta 600 Ton/hora, con la ayuda de la implementación del sistema de compensación y almacenamiento, se puede producir diferentes volúmenes de mezcla asfáltica. Las plantas de tambor secador-mezclador pueden producir todos los diferentes tipos de mezcla asfáltica sin

ningún inconveniente. En la actualidad la mayoría de las plantas más modernas son del tipo tambor secador-mezclador, por esta razón se hará mayor énfasis en la operación de estas.

Hay que tomar en consideración que previo a la producción en cualquier tipo de planta se deben seguir ciertos lineamientos generales según sea el caso:

- Revisión general de la planta
- Establecimiento de tipo de mezcla asfáltica a producir
- Análisis de los agregados
- Análisis de cemento asfáltico
- Calibración de la planta
- Revisión de suministros de materia prima
- Revisión de suministros de operación de la planta (combustible, gas, lubricantes).
- Disponibilidad de operarios
- Consumo de la mezcla asfáltica.

1.2.1. Plantas intermitentes

El proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente da inicio cuando un cargador frontal alimenta las tolvas con los agregados pétreos previamente analizados para el tipo de mezcla asfáltica a producir y según el método de diseño de la misma, seguidamente el operador de planta inicia el arranque de esta, según la secuencia indicada en el manual del fabricante; hay que tomar en cuenta que los horneros de planta ya verificaron en este momento que la temperatura del cemento asfáltico este dentro del rango correcto de las especificaciones técnicas de producción.

El sistema de alimentación de agregados en frío compuesto principalmente por las tolvas, se encarga por medio de las compuertas graduables colocadas en la parte inferior de éstas (de 2 a 3 diámetros del agregado), alimentar de forma uniforme los agregados en frío, estos son llevados por las bandas transportadoras y pesados por las células de pesaje de forma individual,

las bandas transportadoras son accionadas por motores eléctricos a través de fajas y un moto reductor, de esta manera caen al colector rápido que los lleva y los deposita en forma conjunta y continua al cilindro secador. En el secador se retira la humedad de los agregados y son calentados hasta la temperatura necesaria para su mezclado, al final del secador está el sistema de extracción de gases y el sistema colector de finos, estos dos sistemas se encargan de proporcionar a la vez, oxígeno para la combustión, retirar los gases de combustión y atrapar las partículas que estos llevan, para su reincorporación al mezclador.

Una vez secados y calentados los agregados son llevados hacia los silos de almacenamiento en caliente, a través del elevador escalonado, que opera continuamente, accionado por motores eléctricos a través de sistemas de bandas, poleas y un moto reductor; posteriormente los agregados son seleccionados, según la granulometría necesaria por medio de cribas vibratorias, las cuales los clasifican y rechazan los de tamaño no conveniente. Una vez cribados son depositados en los silos de almacenamiento en caliente, donde esperan ser depositados en la tolva pesadora, conjuntamente con el relleno mineral, luego son vertidos al mezclador, simultáneamente se mide la cantidad de cemento asfáltico en un tanque caliente y se vierte por cada revoltura.

El proceso de mezclado se realiza cuando ya la cantidad de agregados ha sido pesada y el cemento asfáltico fue medido. La mayoría de plantas intermitentes utilizan un mezclador de ejes paralelos de martillos el cual mezcla íntimamente el material. Ya cuando se termina el mezclado se vierte directamente al camión o puede existir un sistema de compensación y almacenaje, aunque no es muy necesario. El tiempo de mezclado dependerá de la capacidad en volumen del mezclador y de la producción deseada. De esto depende el sincronismo y la cantidad dosificada por el sistema de alimentación de agregados en frío. Es de esperar que los silos de almacenamiento de agregados calientes deban estar listos para proporcionar la cantidad

de agregados para la siguiente mazada cuando el mezclador vierta la mezcla asfáltica ya terminada.

En algunas plantas modernas de bachada, se cuenta con el sistema de alimentación de material a reciclar; este material se vierte directamente a la tolva pesadora.

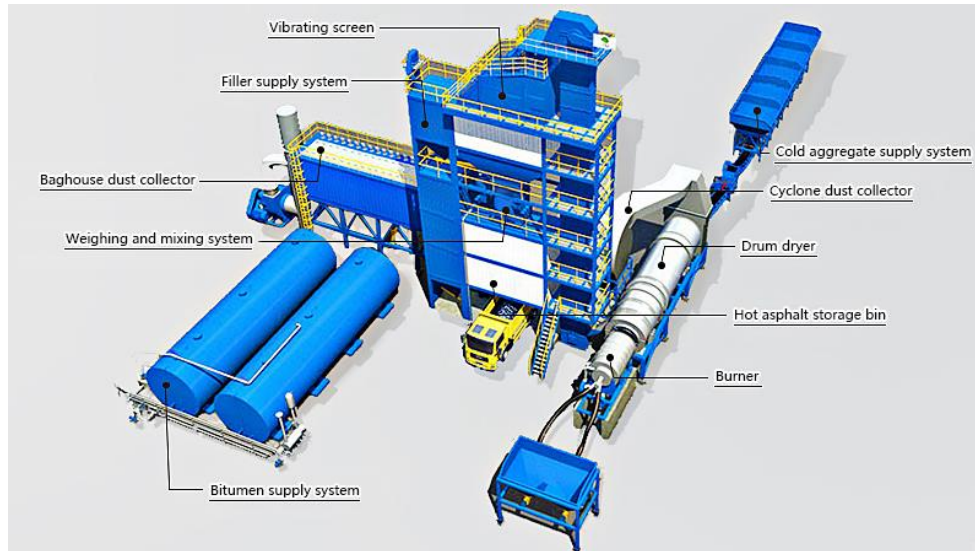


Figura 19: Planta Intermitente, Fuente: Plantas Grupo MLN (2015)

1.2.2. Plantas continuas de tambor secador-mezclador

Al igual que en las plantas intermitentes el proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente en las plantas de tambor secador-mezclador da inicio cuando la máquina de carga, por lo regular un cargador frontal llena inicialmente las tolvas del sistema dosificador de agregados, cada tolva es llenada con un solo tipo de agregado, esto según sea el tipo de mezcla asfáltica en caliente a producir, y posterior al análisis granulométrico de los mismos.

Posteriormente, se revisa la temperatura del cemento asfáltico y se procede al arranque en la secuencia determinada, según el manual del fabricante de la planta, las bandas transportadoras de cada una de las tolvas empieza a acarrear cada uno de los agregados a la banda colectora, cada una de las bandas está equipada con una célula de carga, las que se encargan de monitorear automáticamente el peso de cada uno de los agregados, este sistema de control hace las correcciones necesarias para la dosificación de cada uno de los agregados,

variando la velocidad de cada uno de los motores que acciona el moto reductor que transfiere la potencia a los rodos de las bandas transportadoras, cumpliendo de esta manera la correcta dosificación de cada uno de los agregados.

En la banda colectora, a medida que pasa cargada sobre una célula de pesaje, el peso es registrado en toneladas hora, y una lectura es normalmente corregida para dar cuenta de la humedad en el agregado, puesto que los datos del agregado seco son utilizados en laboratorio para establecer el porcentaje de cemento asfáltico que requiere la mezcla asfáltica, además, por medio de la lectura mostrada por el pesaje en la banda colectora se puede apreciar cualquier variación en la alimentación de las tolvas.

En la actualidad los sistemas de control de las plantas de tambor mezclador pueden hacer correcciones de dosificación de agregados, variando la velocidad de las bandas y/o controlando el flujo de cemento asfáltico hacia la parte de mezclado.

Posteriormente a la dosificación de los agregados, estos son depositados en el tambor secador-mezclador, que podría decirse es el corazón de la planta, en éste los agregados son inicialmente secados, retirándose así la humedad, por lo regular no mayor al 5%; Luego son calentados para proseguir, siempre dentro del mismo tambor a su mezclado con el cemento asfáltico de manera continua. Estas acciones se consiguen gracias al movimiento giratorio del tambor. Por último, la mezcla asfáltica en caliente es elevada por el transportador escalonado hacia un depósito el cual abre y cierra con determinada frecuencia para evitar la segregación, dependiendo de la velocidad de producción; en otros casos se cuenta con el sistema de compensación y almacenaje de mezcla asfáltica; previo a la descarga hacia los camiones. La temperatura de la mezcla asfáltica es monitoreada a través de sensores de temperatura ubicados en la salida del tambor, esta debe estar dentro de los límites establecidos.

Hay que mencionar que el sistema de secado se hace posible gracias a la acción del quemador en el extremo superior del tambor secador-mezclador; En el extremo inferior del

tambor secador-mezclador se encuentra el sistema de extracción de polvos, ya sea de vía seca o vía húmeda, los cuales retiran las partículas finas del tambor y las atrapan para evitar la contaminación.



Figura 20: Planta Continua, Fuente: Manual de plantas TICEL (2018)

1.3. Operación de la Planta de Mezcla Asfáltica en Caliente

A continuación, se explicará en diferentes puntos cual es el proceso ideal que se debe seguir en la elaboración del MAC en una planta de mezcla asfáltica continua, el cual es el modelo de planta estándar en la ciudad de Arequipa.

1.3.1. Sistema de alimentación de agregados

La calidad y homogeneidad de los agregados son factores de gran importancia para la producción de concreto asfálticos, según la especificación del plan y en la calidad requerida del grupo entero de la planta. Otro factor importante es el cuidado con respecto al almacenamiento y movimiento de los agregados: estos deben estar en un lugar ancho, de manera que se evite la humedad y que se mezclen los montones de diferente granulometría unos con otros.

La distancia entre los silos de agregados y el lugar del almacenamiento debe ser el más pequeño posible, permitiendo la mayor agilidad en la alimentación, aumentando la potencia productora de la planta y la seguridad en el funcionamiento de aprovisionar. Deben mantenerse constante los niveles de agregados en los silos, para que la densidad de los agregados se

condicione, dentro de éstos y no esté sujeto a grandes variaciones que pueden alterar el flujo del material.

Para ningún tipo de mezcla asfáltica, los agregados no deben pasarse de un silo para otro. Para protección contra las lluvias puede usarse lonas impermeables o construir pabellones del almacenamiento. Para evitar la mezcla de materiales diferentes, es conveniente construir barreras o particiones entre los montones. Éstos normalmente son algunos ejemplos de recomendaciones clásicas en los sitios de la construcción, pero deben desarrollarse otras soluciones conforme con los recursos y condiciones del lugar de la instalación. El operador del cargador frontal al llenar la pala de agregados, debe tener la precaución de no raspar la tierra, evitando así extraer lodos extraños con los agregados. Lo ideal es depositar los montones de agregados en un suelo compactado y/o preparado; al hacer el llenado de los agregados en los silos, las descargas del cargador frontal deben ser de manera suave, porque de manera brusca los agregados se apretarán en el fondo del silo, dañando el flujo, principalmente de los agregados más finos.

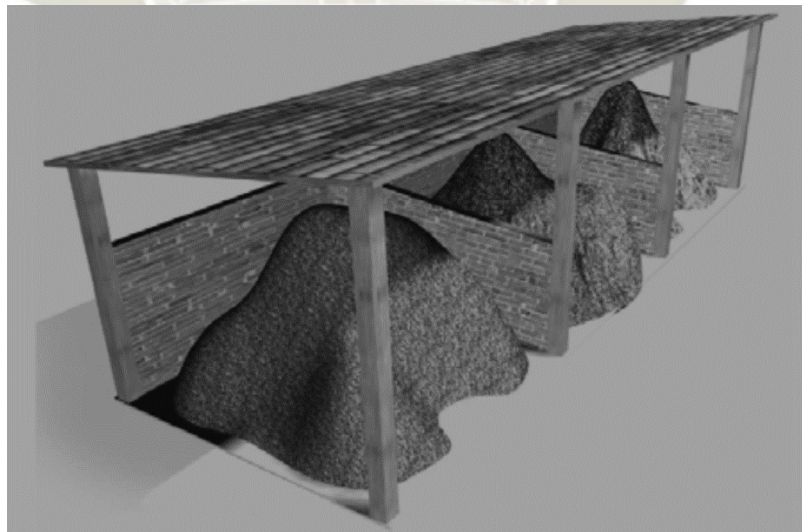


Figura 21: Protección de acopios, Fuente: Manual de plantas RD. (2003)

1.3.2. Dosificación De Agregados

La producción requerida de la planta se regulará a través de lo siguiente: la afinación de la apertura de la compuerta de los silos, combinada con la variación de la velocidad de bandas dosificadoras, poniendo a punto las compuertas de las tolvas.

1.3.2.1. Ajuste de la compuerta de las tolvas

El criterio para el ajuste de la apertura de las compuertas, en el dosificador con agregados de granulometría más grande, en otros términos, los que poseen el material de mayor tamaño, la apertura de la compuerta debe ser aproximadamente dos veces y medio en el tamaño de éstos. Eso es importante para evitar que la lona de las correas se dañe con la fricción de los agregados.



Figura 22: Compuertas de tolvas, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018)

Después de la calibración de la planta, la apertura de las compuertas no debe alterarse. Si esto es necesario, restablecer la calibración; apriete la tuerca mariposa firmemente, para que las compuertas no se muevan. Las compuertas de los silos de agregados deben estar libres de cualquier objeto extraño que puede obstruir el paso del material. Se recomienda que durante la operación de la planta una persona se asegure de verificar la posible existencia de objetos extraños.

En algunas plantas que cuentan con sistemas de control de pesaje simple, es necesario restablecer la calibración para cada cambio de línea de mezcla asfáltica a producir. Debiendo cambiar la posición de las compuertas. Sin embargo, para las plantas más modernas, las cuales cuentan con sistemas de control más sofisticados se puede trabajar con varias líneas o tipos de mezcla asfáltica sin necesidad de recalibrar la planta; no siendo necesario mover las compuertas.

1.3.2.2. Utilización de vibradores en tolvas

Como trabaja: un vibrador se coloca en la pared lateral del silo(s); Hay que considerar que el uso fijo del vibrador produciría problemas de apelmazamiento. La alimentación eléctrica del circuito de accionamiento del vibrador pasa por el interruptor del mecanismo de control de dosificación de la banda o correa. El uso de motovibradores se recomienda sobre todo para los silos que operan con los agregados finos, los que normalmente presentan problemas de irregularidad de flujo debido al apelmazamiento. Sin embargo, el accionamiento del vibrador sólo ocurre cuando falta el material en el cinturón. Esta situación se descubre por el palpador, cuando esta baja se cierra el circuito, puesto que la palanca cierra el interruptor haciendo funcionar el motovibrador.



Figura 23: Vibradores, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018)

1.3.2.3. Bandas transportadoras

Las correas están montadas bajo de los silos dosificadores y tienen el propósito de dosificar y descargar a los agregados en la Correa transportadora rápida. Las correas dosificadoras

trabajan por la acción de motorreductores de 3.0 CV, de velocidad variable que se logra a través de los inversores de frecuencia montados en la cabina de mando.

1.3.2.4. Correa transportadora rápida

La función de la correa transportadora rápida es transferir los agregados de las correas dosificadoras para dentro del tambor secador-mezclador. En algunas plantas el colector rápido está equipado con una célula de pesaje para calcular la producción en ton-hora.

Guías: Tienen la función de encauzar el material que circula en las bandas dosificadoras evitando que este caiga. En los extremos inferiores de las tolvas se ubican dos laterales y una trasera, dichas guías deben posicionarse a 1mm de distancia entre su extremo y la banda transportadora, esto para evitar el contacto directo, que causaría desgaste a los dos elementos.

1.3.2.5. Raspadores

Las correas dosificadoras poseen un raspador externo y la correa transportadora posee un raspador interior y uno externo, en esta última cerca de la entrada del tambor-secador.

Los raspadores externos tienen el propósito de soltar a los agregados para evitar que se adhieran en la lona de las correas. El raspador interior, de la correa transportadora, se fija en el lado interior de la correa transportadora, para impedir que algunos materiales adhieran a la correa y dañen la lona, hasta podría rasgarse. Para todos los raspadores, la fijación del raspador de goma debe regularse periódicamente.

1.3.2.6. Ajuste de la tensión y alineación de las correas

Después de la instalación de la planta, regule la tensión y la alineación de las lonas de las correas, transportadora y dosificadoras. En ambos casos, el ajuste de la tensión y la alineación de la correa, se hace de una manera simultánea, el ajuste debe hacerse a través de las tuercas al igual en la correa transportadora, a través de los tornillos estiradores. La regulación debe hacerse inicialmente con las correas sin agregados (vacías) y después puede ser necesario algún ajuste pequeño al trabajar con la carga. Ponga la correa en funcionamiento y observe la

tendencia eventual del mismo al movimiento para un lado. Espere algunos segundos para observar el que ejecuta la reacción en la estructura, mientras va corrigiendo en caso sea necesario.

La corrección del desplazamiento lateral de la lona, debe hacerse a través de las tuercas o tornillos estiradores, encuadrando el rodo-guía para que la correa se centre (alineación).

La correa tiende a moverse al lado de menor tensión. En este caso, suelte el tensionador aflojando las tuercas del lado de mayor tensión y reduzca la tensión; aumente la tensión en el otro lado, hasta centrar la correa.

1.3.2.7. Sistema de secado y mezclado

Para las plantas de tambor, luego de la dosificación el tambor es el corazón del proceso, el tambor secador mezclador tiene la finalidad de secar los agregados provenientes de los silos dosificadores y mezclarlos al ligante asfáltico. El secador es proyectado para trabajar en las condiciones de media humedad, hasta 5% en los agregados. El nivel de humedad sobre este valor reducirá el rendimiento de la planta, siendo necesario aumentar el consumo de combustible del quemador, para mantener la misma producción de cada hora.

1.3.2.8. Tambor secador mezclador

En la primera sección interior están dispuestas una serie de tablillas que hacen que los agregados sean elevados y caigan obligatoriamente a través del flujo de gases calientes provenientes del fuego del quemador. Esta manera, logra su función de quitar la humedad de los agregados, así como calentarlos hasta la temperatura especificada para la última mezcla asfáltica.

En su segunda sección, la inyección del cemento asfáltico o ligante es hecho por la bomba de engranajes en cantidad ordenada por el microprocesador que controla la dosificación. En esta sección las tablillas están dispuestas de forma que se pueda hacer la mezcla de los agregados con el cemento asfáltico, así como retener una porción importante del particulado

que está arrastrándose por el sistema del extractor, con los gases calientes provenientes del quemador.

1.3.2.9. Divisiones del tambor

El secador puede separarse en 2 zonas principales que son:

- Zona de secado
- Zona de mezcla

1.3.2.9.1. Zona de secado

Es el área del secador - equivalente a 2/3 de la longitud del tambor dónde el quemador ejerce 2 funciones básicas:

- Quitar la humedad del agregado
- Aumentar la temperatura del agregado, hasta el máximo requerido por el tipo de mezcla asfáltica en caliente a producir.

Por ejemplo, en algunas regiones es regla que La diferencia de temperatura entre el cemento asfáltico y los agregados, al alcanzar la zona de la mezcla, no puede ser superior a 15 °C y la temperatura de la masa, en la salida del mezclador, no puede ser superior a 177 °C.

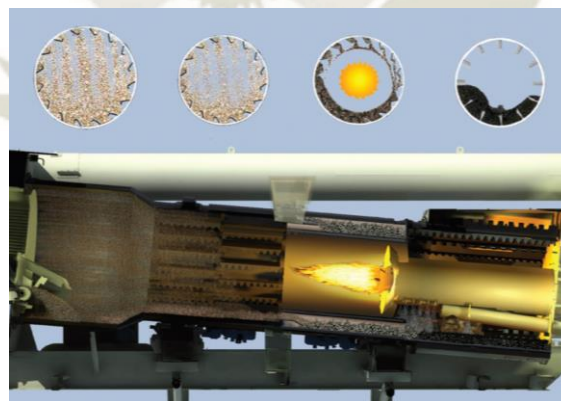


Figura 24: Vista interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018)



Figura 25: Vista interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: manual de plantas TEREX (2018)

La zona de secado también incluye la zona de la combustión, equipada con tablillas especiales, estas tablillas, llamadas “los tiradores”, empujan el material que entra en el secador hasta el punto de secado, impidiendo que el material se levante dentro del silo y se caiga delante del fuego o dentro del área de combustión.

Esta área posee una longitud de 1.5 m. en la dirección longitudinal del tambor. La función básica de las tablillas del secador en esta área es separar al máximo los agregados causando el efecto cascada, separando el material más fino del agregado grueso. Con esto, se transmite mayor energía térmica y crece el rendimiento del sistema.

1.3.2.9.2. Zona mezcla

Esta área empieza al final del área de secado y va al punto dónde la barra esparcidora de asfalto y filler consiguen alcanzarse. Por esta razón la longitud de las barras nunca debe alterarse porque afectará la longitud del área de secado

La inclinación del tambor respecto a la horizontal es aproximadamente de 5° dependiendo el modelo y/o diseño de la planta, la velocidad de giro del tambor es constante, y la longitud de cada área, incluyendo también el diseño de las tablillas puede variar de un fabricante a otro, pero siguen la misma función. En la siguiente figura se muestra las longitudes de las distintas zonas, de un sistema clásico en un tambor secador-mezclador.

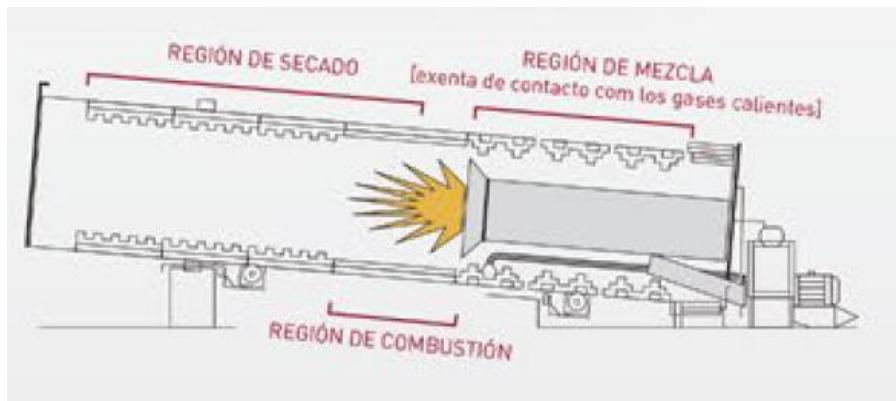


Figura 26: División interna de tambor Secador – Mezclador, Fuente: Manual de plantas TICEL (2019)

Por trabajar con algunos tipos de líneas con el porcentaje alto de agregados finos y ligante asfáltico, es necesario periódicamente hacer la inspección y limpieza dentro del tambor, porque la acumulación de material que se pega a las paredes y a las tablillas mezcladoras, dañará la calidad de la mezcla asfáltica en caliente. El secador se inclina en relación con la horizontal (5°) como se mencionó y semejante inclinación aliada a su rotación, determinan el tiempo utilizado por los agregados para cruzarlo. Los agregados entran en el secador en su extremo más alto dónde se localiza el quemador y lo dejan por la parte de atrás para llegar al ascensor escalonado. Para alcanzar la máxima productividad y eficacia, es necesario observar el funcionamiento de cada parte de la planta de asfalto. La dosificación correcta de los agregados, el ajuste del quemador y el extractor de gases que vienen del tambor-secador, porque estos componentes deben formar un conjunto armónico. Siempre se debe encender primero la llama-piloto y sólo después, accione la inyección de combustible del quemador.

1.3.3. Quemador

El quemador tiene la finalidad de proporcionarle calor al conjunto tambor secador con el objetivo de eliminar la humedad de los áridos y consecuentemente proveer el secado y la elevación de la temperatura del mismo.

El quemador tiene un sistema de encendido automático a la distancia, accionado a través de botón de toque, instalado en el panel de mando, asegurando con eso agilidad y seguridad en su operación.

Opera con combustibles líquidos (OC-1A, OC-2A, diésel) proporcionando alto rendimiento térmico en función de la inyección de aire comprimido a través de la punta del aspersor, optimizando la pulverización del aceite combustible, así como, posibilitando el reglaje de intensidad de la llama.

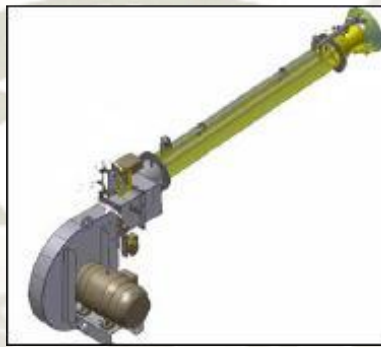


Figura 27: Quemador df-04, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018)

1.3.4. Sistema colector de finos

Se utilizan los colectores de finos, para retirar las partículas en suspensión, que se generan durante el proceso de secado y mezclado; existen dos tipos de colectores de finos, los colectores de finos vía húmeda y los colectores o filtros secos.

1.3.4.1. Colector de polvo vía húmeda

Como se mencionó en los colectores vía seca, los gases del proceso son extraídos por el ventilador extractor; ayudando también a la combustión dentro del secador, luego son regados con agua atomizada aproximadamente 80 gal/min. dependiendo el diseño de la planta.

El agua y el flujo de gases abrumado de partículas finas en una forma de flujo ciclónico llegan al tubo Venturi y la mezcla densa de agua y polvo se remueven y se transfieren a los estanques de asentamiento.

1.3.4.1.1. Tanques de asentamiento

Consisten en una construcción de una fosa o depósito de mampostería, para la decantación de sólidos, en dos secciones: la primera destinada a sólidos y la segunda a líquidos. Estas dos secciones se conectan por medio de un vertedor que tiene la función de recuperar el agua para su recirculación. El principal inconveniente de este sistema, es el de no eliminar totalmente los residuos que provocan la contaminación ambiental. Además, se necesita vaciar las piletas cada cierto tiempo y mayor espacio.



Figura 28: Tanques de asentamiento, Fuente: Planta de asfalto, Gerencia regional de transportes y comunicaciones (2018)

1.3.4.2. Colector de finos vía seca

Uno de los grandes avances en la tecnología de plantas de asfalto es la creación de los sistemas de recolección de finos vía seca, sus costos son más elevados, pero son más limpios e integrados al funcionamiento y operación de las plantas de asfalto. A continuación, se describirá el funcionamiento y operación de un filtro de mangas, como suele llamársele por la forma de sus elementos filtrantes.

1.3.4.2.1. Filtro de Mangas

Las plantas de asfalto en general, son equipos que por la característica de su actividad (producción de concreto asfáltico), trabajan con la quema de derivados de petróleo y gran cantidad de agregados finos, siendo este un tipo de material que puede ser altamente contaminante. El filtro de mangas es un equipo anti-polución sumamente eficaz para lugares

dónde la emanación de las partículas no excede los 90 mg/ m³. Básicamente el filtraje es hecho a través de las bolsas de tejido, con la recuperación del particulado colectado para el reaprovechamiento en la mezcla asfáltica. La atención al ajuste correcto y funcionamiento del conjunto de la planta, son factores que ciertamente pueden minimizar los elementos contaminantes y todavía mejorar la acción y la productividad de la planta de asfalto.

1.3.4.2.2. Identificación de los componentes

- La cámara de aspiración, en la salida del tambor.
- Ducto de conexión entre la salida del tambor y la cámara de filtrado.
- La cámara de aire saturado o cuerpo intermedio, donde se localizan las mangas.
- La cámara de aire limpio, parte superior de las mangas: el aire saturado, después de pasar por las mangas (eso retiene las partículas del polvo), alcanza la cámara superior (de aire limpio), de dónde es succionado para el extractor.
- El canal de sección rectangular que lleva el aire limpio a la succión del extractor.
- Extractor: responsable del flujo del aire a través del filtro, siendo posible el filtraje por las mangas.
- La cámara inferior, recuperadora de finos: forma un laberinto, precipitando las partículas retenidas por las mangas.
- Rosca transportadora: quita el material acumulado en la cámara inferior y lo mueve para la zona de mezcla del tambor-secador (drum), reduciendo la circulación de éstos por el filtro y reincorporándolo a la masa asfáltica
- Moto reductor de accionamiento de la rosca transportadora (tornillo sin fin).
- Las válvulas del pulso para limpieza de las mangas: alimentadas por el compresor del filtro de mangas, inyectan pulsos de aire comprimidos dentro de las mangas en sentido contrario al flujo de trabajo. Así desprende el material arrestado en la periferia de las mangas.

- Las mangas: son elementos filtrantes hechos en tejido Nomex. Tiene la forma tubular (prolongada), estando dispuesto en grupos, para que consigan el área de filtraje suficiente para la limpieza del aire contaminado que circula por las mangas.
- Las jaulas: son armazones de alambre puestos internamente en las mangas, manteniendo constantemente la forma cilíndrica.
- Venturi: tiene la función de retener el aire inyectada en las mangas, provocando la vibración de la misma, soltando las partículas arrestadas en el tejido.
- Las tapas de inspección superior: Permiten el acceso fácil para la instalación y el mantenimiento de los filtros.
- La tapa de inspección inferior: permite el acceso a la estructura inferior, para hacer inspecciones o servicios en el filtro, con una comodidad más grande
- La válvula reguladora de la acción del extractor.
- El compresor: proporciona el aire comprimido para la limpieza de las mangas.
- El sensor de temperatura T1: Localizado en la salida de la cámara de aspiración, supervisa la temperatura del aire que se dirige al filtro de mangas, a través del ducto. El mando de la temperatura es hecho de dos maneras:
 - ✓ Manual: a través de la compuerta reguladora del extractor.
 - ✓ Automático: a través del cilindro neumático y compuerta.



Figura 29: Mangas, Fuente: Manual de plantas TEREX (2018)

1.3.5. Sistema de almacenamiento y alimentación de combustible

El tanque entero de combustible tiene que ser vaciado periódicamente, además debe tomarse las medidas de seguridad en el almacenamiento de combustible. Los tanques de almacenamiento de los combustibles, deben tener un volumen compatible con el consumo del equipo y que prestar facilidad en el acceso para la descarga, medidas, limpieza y desagüe.

Los tanques de almacenamiento deben ser periódicamente limpiados para retirar impurezas que pueden obstruir la tubería. Cuando se cambie el tipo del combustible usado en el equipo, todo el combustible debe sacarse para evitar la contaminación y rehacer las afinaciones de presión del combustible.

Todas las precauciones de seguridad deben tomarse en el manejo, transporte y almacenamiento, evitando el riesgo de fuegos.

Cuando se usa aceite pesado, es de mucha importancia mantener el combustible a una temperatura correcta, obedeciendo los límites:

El mínimo: la viscosidad para una buena acción del quemador es de 100 (S.S.U.) o menor.

El máximo: algunos grados debajo del punto de inflamación del combustible. La calefacción del combustible, puede lograrse en tres formas:

- En el interior de los tanques de almacenamiento: Puede hacerse a través de las resistencias eléctricas, serpentines con vapor o fluidos de transmisión de calor (aceite térmico).
- La circulación del combustible en las tuberías encamisadas.
- En un intercambiador de calor, que eleve la temperatura del combustible, hasta el punto dónde posee la viscosidad apropiada a ser atomizada, además ayudara al filtraje del combustible.

En la figura siguiente puede observarse la disposición de los diferentes elementos que intervienen en el almacenaje y en la alimentación de combustible, en este caso se utiliza diésel

y un aceite pesado, el diésel se inyecta al quemador durante los primeros cuatro minutos de operación de la planta y luego se establece la operación con aceite pesado, preliminarmente al paro del quemador, deberá inyectarse de nuevo diésel cuatro minutos antes de apagar el quemador. Nótese la necesidad de calentar el aceite pesado para llevarlo a la viscosidad necesaria para ser quemado.

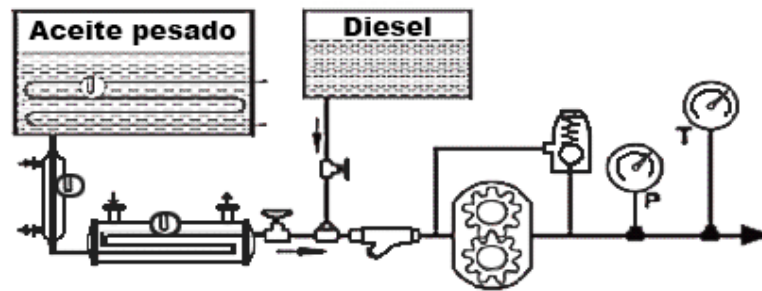


Figura 30: Sistema de alimentación de combustible, Fuente: Manual de plantas CIFALI (2001)

En la actualidad la mayoría de las plantas de asfalto, son totalmente móviles, por consiguiente, los tanques que se utilizan para el almacenaje de los combustibles son depósitos metálicos, que incluso son conformados por el sistema completo de almacenaje y alimentación todo sobre un remolque.

Debe tomarse muy en cuenta las disposiciones legales del lugar de donde se opera la planta en lo que se refiere al manejo y almacenamiento de combustibles.

1.3.6. Sistema de almacenamiento, calentamiento y dosificación de cemento asfáltico

El sistema de almacenamiento, calentamiento y dosificación de cemento asfáltico, es un sistema independiente del sistema de control de la operación de la planta a excepción de la dosificación de cemento asfáltico el cual se realiza a través de la bomba dosificadora la cual es controlada por el sistema de control.

Hay que considerar el hecho de que antes de iniciar la operación de la planta de asfalto, la temperatura del cemento asfáltico y la del combustible, según el caso, deben ser las correctas

he aquí la importancia del sistema de almacenamiento y calentamiento del cemento asfáltico. Los tanques de cemento asfáltico deben almacenar la suficiente cantidad para mantener la producción, incluso contando con posibles retrasos en las entregas de asfalto.

1.3.7. Calentamiento de los tanques de cemento asfáltico

El aceite térmico está constantemente circulando por todo el sistema intercambiando o transfiriendo calor a los tanques de cemento asfáltico y también al combustible pesado si es necesario.

La caldera produce calor a través de su quemador (2), donde el mando de temperatura es automático una vez programado. La bomba centrífuga (14) es responsable de la circulación del aceite térmico para el sistema entero.

El aceite térmico empieza la circulación en los tanques de asfalto 1 y 2, según el caso; el mando de la apertura y cierre para la circulación del aceite térmico en los tanques es hecho a través de las válvulas registradoras (4 y 5) que están en la entrada del serpentín de cada tanque, si la válvula (5) está cerrada, el aceite térmico va hasta el siguiente tanque.

El aceite térmico circula dentro de los tanques de Asfalto a través de los serpentines (3), transfiriendo el calor al cemento asfáltico, manteniéndolo caliente.

Después de calentar el cemento asfáltico, el aceite térmico también calienta el combustible pesado, en el tanque respectivo, a través del serpentín respectivo (8). Nótese que, para esto, es necesario que la válvula de registro (7), de este tanque este abierta. Si está cerrado, el aceite térmico procede directamente para las siguientes aplicaciones.

Siguiendo la secuencia, el aceite térmico se separa, en el punto (9): Un camino entra en el rectificador de CA (10) y encamisado del tubo (11a) cuya salida unirá al retorno en el punto (13).

El siguiente camino va a los siguientes artículos, en el orden: al encamisado del tubo (11b), calentador de la bomba de CA (12) y encamisado del tubo (11c). En secuencia, este flujo se

une también al retorno en el punto (13). Es de beneficio el retorno total, empezando en la unión (13), para la succión de la bomba centrífuga (14), de dónde reinicia el ciclo entero.

El tanque de expansión (15) permite la expansión del volumen de aceite térmico en función de las alteraciones de temperatura del mismo (la dilatación).

El siguiente diagrama muestra la distribución de tuberías del circuito de aceite térmico, encargado de calentar los dos tanques de cemento asfáltico y además en este caso calentar el depósito de combustible pesado, así como los tramos de tubería encamisada.

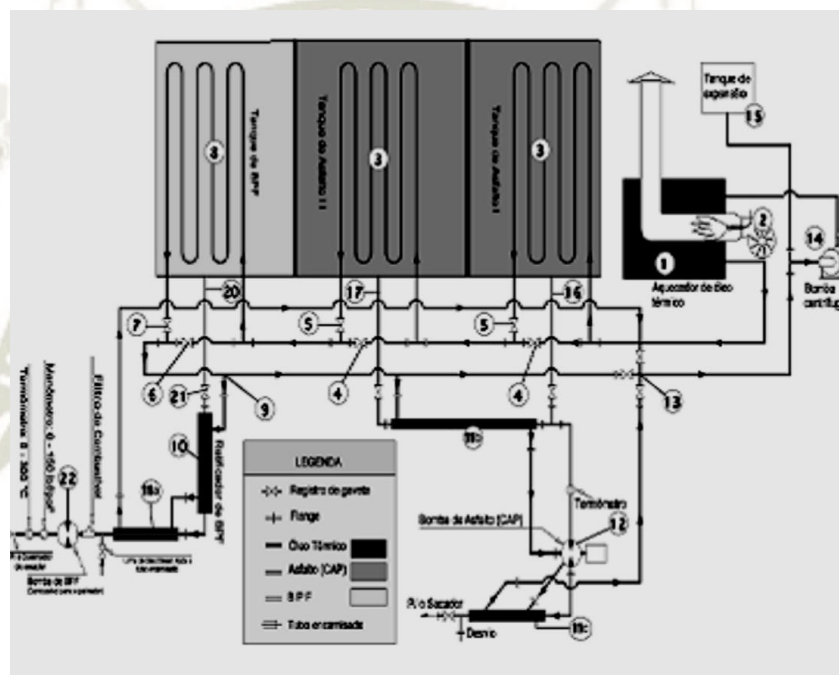


Figura 31: Diagrama del funcionamiento del sistema de calentamiento del C.A, Fuente: Manual de plantas

CIFALI (2001)

1.3.8. Aislamiento

Es necesario el uso de algún material aislante en los tanques que contienen el cemento asfáltico y el combustible pesado; así también deben ser aisladas las tuberías encamisadas que conducen el cemento asfáltico (CA). El aislamiento es necesario no solo porque mantenemos la temperatura necesaria para el trabajo en el cemento asfáltico (CA), sino porque a la larga reducimos los costos al ahorrar combustible que es quemado para producir el calor que es transferido al aceite térmico en la caldera. En la mayoría de los tanques el material que se utiliza

como aislante térmico es la fibra de vidrio, la cual es colocada en la parte exterior de los tanques, posterior a esto es colocada en algunos casos láminas de acero inoxidable, que además de dar una apariencia agradable complementan el sistema aislante.

1.3.9. Control de temperatura

Como se mencionó anteriormente, el sistema de calentamiento posee un mando de control automático donde se establece la temperatura que debe mantener el sistema de calentamiento, para lograr la temperatura de trabajo el sistema se lleva un tiempo de varias horas, según sea la capacidad de la caldera y es necesario que se controle el desarrollo de la temperatura. Por lo general los tanques están provistos de termómetros, donde se puede monitorear la temperatura real en todo momento, este trabajo por lo regular no lo realiza el sistema de control de la planta, sino debe ser realizado por el personal operario de la planta. El hecho de controlar la temperatura del cemento asfáltico es muy importante, ya que se puede dar un sobrecalentamiento que afectaría las características y calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

La temperatura del cemento asfáltico para poder operar una planta de asfalto es de 145 °C a 150 °C, este rango puede variar debido a las especificaciones de la mezcla asfáltica en caliente y/o a las características propias del cemento asfáltico a utilizar. La temperatura del combustible pesado debe ser aproximadamente de 150 °C, en este caso la temperatura dependerá, del hecho que el combustible logre al menos una viscosidad de 100 S.S.U. o según las especificaciones del quemador; habrá que verificar si el quemador que se tiene fue diseñado para poder trabajar con combustibles pesados.

1.3.10. Sistema de carga descarga de cemento asfáltico

La carga y la descarga de cemento asfáltico hacia los tanques se lleva a cabo por medio de una sola bomba, claro que independiente a la bomba dosificadora, por lo regular solo se carga el tanque, en muy raras ocasiones es necesario vaciar el tanque; tal vez para el traslado de la planta; La bomba debe estar alimentada por la línea de aceite térmico para que esta pueda

operar, y solo cuando esta trabaja posterior a la carga se debe cerrar las válvulas de la línea de aceite térmico. Un aspecto muy importante en el sistema de carga de los tanques es que tanto la línea de descarga como las líneas de retorno que descargan en los tanques de almacenaje, deben estar en todo momento sumergidas bajo el nivel de asfalto en el tanque para evitar la oxidación de este.



Figura 32: Sistema de almacenamiento de combustible, Fuente: Tanques de almacenamiento MARINI (2019)

1.3.11. Caldera

La caldera de aceite térmico es la responsable de la generación de calor que, a través del aceite térmico se transferirá al cemento asfáltico y al combustible pesado según sea el caso. Posee un tanque de la expansión para el aceite térmico. Componentes principales de la caldera:

- Cámara de combustión para el calentamiento del aceite térmico;
- El quemador: está provisto con un turboventilador, una bomba de aceite diésel y un pico inyector, cerca de la salida.
- Tanque de aceite diésel para el quemador. Una parte de este depósito se usa para el agua que enfría los sellos de la bomba que hace circular el aceite térmico por todo el sistema



Figura 33: Caldero, Fuente: Tanques móviles BECOMP (2019)

1.3.12. Dosificación de cemento asfáltico

Por lo general, en las plantas continuas la dosificación de cemento asfáltico se realiza por medio de una bomba de engranes; la bomba posee una cámara externa por donde circula aceite térmico para mantener la fluidez del CA. La operación de la bomba, por lo general durante la operación de la planta es en el modo automático y el sistema de control que opera la dosificación de los agregados, también controla la cantidad de cemento asfáltico que llega al tambor mezclador. La bomba puede trabajar en los siguientes regímenes:

- Manual: En este caso, la velocidad de la bomba puede controlarse a mano, a través de un botón desde la cabina de control.
- Automático: La velocidad de la bomba es controlada por el sistema de control.
- Reversa: La bomba gira, al contrario, mientras retira todos los residuos de asfalto del cuerpo de la bomba y del conducto entre la bomba y el tanque, enviando los todos los residuos hacia el tanque.

La reversión de la bomba del asfalto debe trabajarse en las siguientes situaciones:

- Al trabajar la planta, la bomba se pone en la reversión y hasta después del accionamiento del quemador y que la temperatura llega a 150 °C en los gases en la salida del secador, se acciona la bomba poniéndola en el modo automático para empezar el bombeo de CA para el tambor secador-mezclador.

- Al detener la planta: cuando se detiene el flujo de agregados, la bomba de CA se detiene automáticamente. La bomba debe estar en la rotación contraria durante 20 minutos para vaciar el conducto y la propia bomba.

El flujo de la bomba se da en función de la cantidad de asfalto especificada en la línea y en la producción de cada hora.

Ejemplo:

¿Suponiendo que la producción de cada hora programada es de 50 toneladas de mezcla asfáltica, y se quiere una cantidad del 6 % de asfalto en la mezcla asfáltica;

¿Cuál es el flujo que pide la bomba del asfalto?

$$\text{Flujo} = (50 \times 6) / 100$$

$$\text{Flujo} = 3 \text{ toneladas /hora}$$

Debe de recordarse que previo a operar la planta y dosificar el CA se debe verificar la temperatura de este, la temperatura debe de ser la correcta, debido al hecho que la cantidad de masa de cemento asfáltico depende directamente de la temperatura a la cual éste se encuentre.

1.3.13. Transportador escalonado y silo de almacenamiento

El ascensor escalonado es el encargado de elevar la mezcla asfáltica producida en el tambor secador-mezclador hasta una altura considerable para que sea cargada por los camiones. En las plantas pequeñas de tambor secador-mezclador el transportador escalonado no posee un silo de almacenaje, únicamente posee en su extremo superior un depósito, que tiene una compuerta, que abre y cierra de acuerdo a la producción de la planta, esto con el fin de evitar la segregación de la mezcla asfáltica en caliente. A continuación, se describen los componentes del transportador escalonado, sin silo de almacenamiento.

Silo de masa: Localizado en la punta del ascensor de masa, este silo acumulador tiene el propósito de evitar la segregación de la masa asfáltica. La segregación se debe la altura de descarga del silo en el cubo del camino que provoca la separación de los agregados de

granulometría más grande de la de los finos. Para evitar que esto suceda, el silo guarda cantidades más grandes de masa lista y la libera para el cubo del camión.

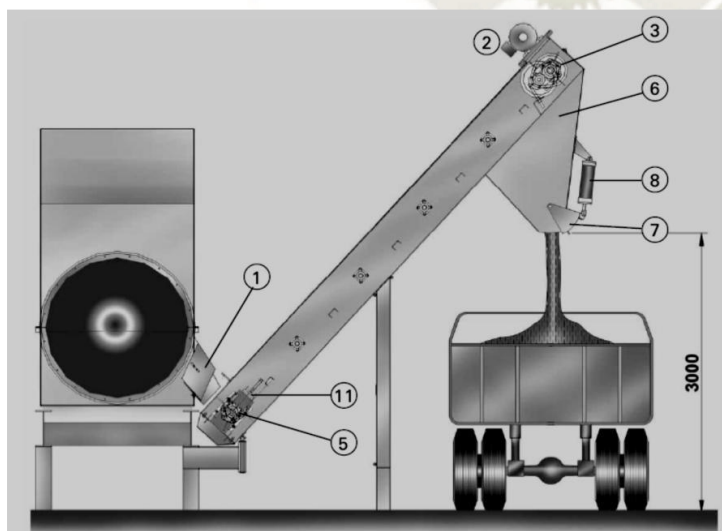
El sistema de apertura y cierre de la compuerta está bien sincronizado y controlado a través de dos temporizadores:

T1 Controla el tiempo de cierre de la compuerta, en otros términos, la cantidad de segundos que esta se queda cerrada, mientras se llena el silo.

T2 Controla el tiempo, en segundos, en que la compuerta permanece abierta, para la descarga de la masa.

La masa asfáltica se transporta en el fondo de las tablillas y posee un fondo compuesto por planchas reemplazables en hierro fundido resistente a la abrasión.

Por ser un transportador de masa lista el propio asfalto (CA) incorporado en la masa sirve de lubricante al sistema de arrastre, garantizando así la durabilidad de las planchas que cubren a las tablillas. (o chapa de desgaste). El ascensor trabaja por el motor eléctrico con la transmisión por las correas en “V” al reductor de velocidad acoplado directamente al eje superior.



1. Compuerta de la entrada
2. Motor
3. Reductor y eje de la cadena (superior)
4. Tablillas
5. Eje-guía y estirador (inferior)
6. Silo de masa
7. Compuerta de Descarga
8. Cilindro neumático de la compuerta

Figura 34: Transportador escalonado y silo, Fuente: Equipos ABLISA (2007)

La compuerta opera con el arranque del ciclo de descarga programado desde el panel de control de la planta de asfalto, a través de dos temporizadores (T1 y T2), estos determinan el intervalo de cerrar y el tiempo de abrir.

El intervalo entre ciclos (controlado por el temporizador T1) y el tiempo de abrir de la compuerta (controló por T2), ellos varían conforme con la potencia productora de la planta del asfalto, la capacidad del silo y la especificación de la línea.

El silo de la planta puede abastecer hasta 500 kg de mezcla asfáltica en caliente aproximadamente, para determinar el tiempo de mantener cerrada la compuerta, aplique la fórmula: $\text{Tiempo de cerrar} = 500 \times 3600 / \text{Producción de cada hora en kg}$, Por ejemplo: Para una producción de cada hora de 80 toneladas (80 000 kg), el tiempo de cerrar debe ser de: $(500 \times 3600) / 80\ 000 \text{ kg}$.

Tiempo de cerrar = 22.5 s

En este caso, el temporizador que T1 debe ajustarse en 22,5 s o un tiempo menor.

Tiempo de abrir: El tiempo de abrir la compuerta (para la descarga), debe ajustarse entre 3 y 5 segundos, a través del temporizador T2. El tiempo debe ser bastante para que pase una descarga completa a cada apertura.

Después de hacer la afinación de los temporizadores, con la planta en el funcionamiento, se debe verificar:

1 - Si hay segregación del concreto asfáltico en el momento de la descarga en el camión, aumente el tiempo de acumulación en el temporizador T1;

2 - Si, por otro lado, la masa inunda la ventana (12) del ascensor, el tiempo de abrir de la compuerta debe reducirse en el temporizador T1.

1.3.14. Calibración de la planta

Consiste en determinar todas las constantes “k” de la planta, esto significa encontrar los valores los cuales sirven de punto de referencia al sistema de control para la operación de la planta, dichos valores representan los distintos parámetros que regulan la operación de la planta y son calculados en el proceso de calibración, que no es más que la primera prueba basada en términos reales.

El proceso de calibración de la planta, es diferente para cada tipo de planta y para cada sistema de control. Hay plantas que vienen calibradas de fábrica y solo indican en su manual las indicaciones detalladas, de los cambios que hay que hacer si se cambia el tipo de mezcla asfáltica en caliente a producir, pero sólo permiten la producción de ciertas líneas descritas en el manual. Las plantas más modernas permiten realizar la calibración y determinar las constantes “k” para diversos tipos de líneas o tipos de mezclas, desde un inicio, quedando registrados estos valores en el sistema de control, siendo necesario únicamente seleccionar el tipo de línea que se desea trabajar sin tener que hacer de nuevo una calibración.

A continuación, se describen las constantes que hay que determinar para la operación de una planta de tambor secador-mezclador:

Constante “K” de la velocidad de las correas dosificadores de agregados

Constante “K” del peso de la carga de los silos de agregados

Constante “K” de la dosificación del asfalto

Constante “K” de la dosificación de filler (Si está equipado)

Constante “K” de la temperatura de CA

Constante “K” de la temperatura de la masa

Constante “K” de la temperatura del filtro de mangas

Los valores de las constantes deben ingresarse en la pantalla de calibración del sistema de control de la planta, debe tenerse cuidado a la hora de ingresar estos datos, la correcta operación de la planta depende de estos.

La correcta operación de la planta depende de la correcta calibración de la planta, posterior a este hecho el correcto funcionamiento de la planta dependerá del control que se tenga sobre la carga de los agregados, la temperatura del CA y de la capacidad de control del operador de planta.

1.3.15. Funcionamiento de elementos complementarios

1.3.15.1. Cargador frontal

Es de mucha importancia en la operación de la planta el buen funcionamiento, o estado de un cargador frontal como mínimo, este tiene la función de alimentar las tolvas del sistema dosificador de agregados y mantenerlas como mínimo con el 50 % de su capacidad de material, esto con el fin de mantener la presión de dosificación dentro de los límites necesarios para el buen funcionamiento del sistema dosificador. Además, el cargador frontal es utilizado para el correcto apilamiento de los agregados en el lugar asignado para este fin. La capacidad del cargador deberá ir de acuerdo con la capacidad de producción de la planta, además debe estar en óptimas condiciones de funcionamiento para no afectar la producción por sus posibles descomposturas.

Hay que tomar en cuenta el hecho de que la producción de la planta se pararía al no funcionar el cargador frontal; por esto es necesario darle el mantenimiento requerido, durante los paros eventuales de la planta.



Figura 35: Cargador Frontal, Fuente: Cargadores frontales VOLVO (2019)

1.3.15.2. Camiones

Los camiones se utilizan para el acarreo de la mezcla asfáltica, de la planta hacia el lugar donde será colocada, usualmente son camiones de doble eje trasero de palangana de volteo y su capacidad usualmente es de 20 toneladas métricas. Se recomienda que todas las unidades estén en condiciones óptimas de funcionamiento, puesto que, al presentar fallas en el camino, si este va cargado fácilmente podría echarse a perder la mezcla asfáltica en caliente que este lleva, por el enfriamiento de la mezcla asfáltica (Pacco, N. 2015).



Figura 36: Volquete, Fuente: Volquetes IVECO (2019)

1.4. Especificaciones para las plantas asfálticas según normas peruanas

Las plantas de elaboración de mezcla asfáltica en caliente deberán cumplir estos requisitos establecidos en el manual de carreteras EG-2013, en la sección de pavimentos flexibles, pavimento de concreto asfáltico en caliente, para un adecuado proceso de elaboración del MAC.

- Se deberá cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.
- Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición.
- las plantas del tipo tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella.
- La planta estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.
- El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.
- La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente.
- El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo.
- En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor.

- Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del cemento asfáltico.
- La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación de aditivos, los cuales deberán estar protegidos contra la humedad.
- En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso.
- Antes de la instalación de la planta mezcladora, el Contratista deberá solicitar a las autoridades correspondientes, los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.
- Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial.
- Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes (MTC, 2019)

2. Materiales Pétreos

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto que para nuestro caso se usara asfalto normal o sea sin aditivos; los agregados por su parte son de una gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en

lo que se refiere a una buena distribución granulométrica. Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado ó en las propiedades de éste puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente elaborada por lo tanto es necesario llevar un control eficiente de los agregados que se está usando en la planta de producción de mezcla asfáltica en caliente lo cual puede comprender:

- Control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora.
- Acopio de agregados.
- Alimentación en frío de agregados.

El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen, además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.

2.1. Tipos de Agregados

2.1.1. Definición

Agregado, es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.1.2. Conceptos Para Tipos De Agregados

Entre los conceptos más usados relacionados a los agregados se encuentran:

- Agregado Grueso: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 4).
- Agregado Fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4) y queda retenido en el tamiz de 75 μ m (N° 200).
- Polvo Mineral: La porción de agregado fino que pasa el tamiz N° 200.
- Relleno Mineral: Producto mineral finamente dividido en donde más del 70 % pasa el tamiz de 75 μ m (N° 200).
- Agregado de Graduación Gruesa: Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.
- Agregado de Graduación Fina: Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.
- Agregado Densamente Graduado: Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.
- Agregado de Graduación Abierta: Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.
- Agregado Bien Graduado: Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla asfáltica bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

2.1.3. Clasificación y Producción de Agregados

2.1.3.1. Clasificación de agregados

Los agregados usados en pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

2.1.3.1.1. Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que tamiz N° 4. La arena se define como partículas de un tamaño menor que tamiz N° 4 pero mayor que el tamiz N° 200. Las partículas de tamaño menor que 75 μm (tamiz N° 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

2.1.3.1.2. Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

La roca es triturada por tres razones:

- Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa.
- Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular.
- Para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

En la cantera antes de trasladar las rocas en su tamaño adecuado a la trituradora es controlada visualmente la calidad de la roca que se está extrayendo, ya que puede darse el caso que las rocas no sean apropiadas para producir agregado de buena calidad que cumpla con todos los requisitos que se establecen para agregado de mezclas asfálticas o cualquier otro uso, en la figura 36 (a) se muestra una roca que es de buena calidad, la cual producirá agregado de calidad, mientras que la figura 37 (b) muestra una roca muy meteorizada lo cual hace que la roca se desintegre fácilmente, tan sólo con tocarlas con las manos. El propósito de la trituración de las rocas, es principalmente reducirlas a un tamaño que sea manejable, el tamaño de la roca que es llevada a la trituradora es aproximadamente del tamaño de la roca que se utiliza para hacer los muros de contención, también, los cambios en la textura superficial y apariencia en dureza son muy importantes a la hora de enviar la roca a la trituradora.



a)



b)

Figura 37 (a): Roca que producirá agregado de buena calidad, Fuente: Cantera Colima (2007)

Figura 38 (b): Roca meteorizada, Fuente: Cantera Colima (2007)

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partículas. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con las especificaciones establecidas de granulometría. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

2.1.3.1.3. Agregados Sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado. Básicamente cualquier agregado que sirve para mezcla asfáltica en caliente es bueno para concreto, pero no todo el agregado bueno para concreto sirve para mezcla asfáltica en caliente. Los requerimientos que debe cumplir el agregado para mezcla asfáltica son más altos. Normalmente para concreto no se utilizan agregados finos, a no ser para aplicaciones especiales que tienen sus propios requerimientos. Las mezclas asfálticas de granulometrías abiertas no utilizan finos, pero una mezcla asfáltica densa requiere una curva granulométrica que tenga una distribución de todos los tamaños.

2.1.3.2. Producción de Agregados

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al realizar el descapote para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo

superficial contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras (ver Figura (a)) deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un nivel horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme el material que se explota en ocasiones debe ser lavado en lagunas de agua para retirar todo el material innecesario y dañino como las arcillas y materia orgánica. Después de extraer las rocas de la cantera el material es reducido a un tamaño adecuado y transportado a la trituradora (Ver Figura (b)) donde se reduce a tamaños según las granulometrías que se estén produciendo, esto se logra mediante unos tamices los cuales retienen las partículas grandes para que sean de nuevo procesados el triturado y tamizado es esencial ya que se debe evaluar completamente los agregados producidos para verificar si cumplen con los requisitos de calidad y graduaciones establecidas.



(a)



(b)

Figura 39 (a): Cantera, Fuente: Cantera Colima (2007)

Figura 40 (b): Trituradora, Fuente: Cantera Colima (2007)

En la siguiente figura se muestran dos tipos de rocas la primera es una roca muy porosa por lo que produce gravas porosas lo que no es deseado en un agregado, mientras que el segundo tipo de roca es de superficie lisa sin porosidades por lo que producirá agregado de la más alta calidad para mezclas asfálticas (Cortez, J., Guzmán, H., Reyes, A., 2007).



(a)

Figura 41 (a): Roca Porosa, Fuente: Cantera Colima (2007)



(b)

Figura 42 (b): Roca Solida, Fuente: Cantera Colima (2007)

2.2. Acopio y Manejo de Agregados

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de los contratantes no tienen claras las especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello el dueño del proyecto requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, el constructor deberá estar al tanto de cómo las prácticas de manejo y acopio de reservas tanto buenas y malas afectan la selección del agregado. El muestreo y los ensayos son los únicos medios para verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para

garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo, indicados en el Ensayo MTC E-201, Manual de ensayo de materiales del MTC.

2.3. Importancia del Muestreo y Reducción del Agregado

2.3.1. Importancia Del Muestreo De Agregado

El muestreo es una etapa muy importante en el proceso de verificación de la calidad del material ofrecido por un proveedor, se debe hacer de una forma muy correcta para que una porción de material que es extraído de un acopio de varias toneladas, presente las características y propiedades del agregado en bruto que representa, además, los buenos procedimientos de control de calidad requieren de varios ensayos durante los procesos de producción, acopiado, y manejo para:

- Asegurar que solamente se use un buen material en la mezcla asfáltica de pavimentación
- Proporcionar un registro constante como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones del proyecto.

El muestreo debe ser representativo, esto es, que una muestra o grupo de muestras refleje con precisión la concentración y estado de cualquier componente en un determinado acopio de agregados. Los resultados obtenidos de las muestras representativas deben mostrar las variaciones de los contaminantes y sus concentraciones. Por lo tanto, es muy importante tener técnicas apropiadas de muestreo (Muestreo de Agregados, Ensayo E-201). En el cual se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo nominal de la partícula de agregado.

Por ejemplo, uno de los muestreos más comunes es el de un acopio, dicho ensayo establece que se debe de realizar un plan para que todas las partes involucradas queden conformes y acepten los resultados; para un apilamiento se deben de tomar muestras de cada uno de los

tercios del apilamiento y de diferentes lugares del apilamiento, luego mezclar para obtener una sola muestra.

Debe recordarse que las muestras más representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

2.3.2. Importancia De La Reducción De Agregado

Una vez que se ha realizado el muestreo en campo para realizar cualquier ensayo es necesario hacer una reducción del material que se ha muestreado a un tamaño de muestra suficiente para realizar dicho ensayo, éste proceso de reducción de muestra de campo a muestra de ensayo es necesario realizarlo con el equipo y procedimientos adecuados para poder garantizar que una muestra de unos cuantos gramos presentará las mismas características y propiedades del agregado en bruto al cual representa, sino, se siguen los procedimientos de reducción los resultados no serán confiables y arrojarán datos erróneos.

Cada ensayo a realizar en los agregados extraídos en campo tiene sus requisitos y recomendaciones para poder ser ensayados, por ejemplo, el método más común de reducción de muestra que se explicara más adelante, el cuarteo (manual o mecánico), que es la forma más común de reducir la muestra representativa (Cortez, J., Guzmán, H., Reyes, A., 2007).

2.4. Propiedades de los Agregados Utilizados en MAC

En una mezcla asfáltica en caliente densamente graduada, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla asfáltica de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento.

Se prefieren las partículas que se acerquen a la forma cúbica, para las mezclas asfálticas. La mezcla asfáltica escogida, así como el diseño de la estructura del agregado, se puede manejar de diferente manera a través de la planta.

Las propiedades más comunes para considerar apropiado un agregado para concreto asfáltico de buena calidad, son las siguientes: Graduación y tamaño máximo de partícula,

Textura superficial, Limpieza, Capacidad de absorción, Dureza, Afinidad con el asfalto y Forma de la partícula y peso específico.

2.4.1. Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula

2.4.1.1. Graduación

En las especificaciones de mezcla asfáltica en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de distribución de diferentes tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertos porcentajes mayores o menores en una serie de tamices (huso granulométrico). Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

La norma que regula el huso granulométrico en el Perú requerido por las mezclas asfálticas es la EG-2013, en el ítem de Pavimento de concreto asfáltico en caliente (pág. 559) nos muestra un cuadro en el que nos da los márgenes de este huso según el tipo del MAC que se va a elaborar.

2.4.1.2. Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas para designar tamaños máximos de las partículas.

- Tamaño máximo nominal del agregado
- Tamaño máximo del agregado

Estas variaran en función al tipo de MAC solicitado.

2.4.2. Textura Superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla asfáltica de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie de la carpeta de rodadura. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera (Figura 42 (a) y 43 (b)), como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas (Figura 44). Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. La trituración produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula. No existe un método directo para evaluar la textura superficial; es tan solo, una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en la resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla asfáltica en caliente durante la construcción.



(a)



(b)

Figura 43 (a): Piedra rugosa, Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006)

Figura 44 (b): Piedra rugosa. Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006)



Figura 45: Piedra lisa, Laboratorio - Ing. Mario Ángel Urbina, Fuente: U.E.S. (2006)

2.4.3. Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (N° 200). El Ensayo del Equivalente de Arena (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4).

2.4.4. Capacidad de Absorción

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una mezcla asfáltica en caliente. En suelos muy absorbentes esto puede ocasionar un

sobrecosto en el MAC, ya que necesariamente se tiene que utilizar más PEN que el especificado en el diseño de mezclas asfálticas.

2.4.5. Dureza

La dureza es la capacidad de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla asfáltica de pavimentación y durante el periodo de trabajo del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben de tener mayor resistencia que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito. A esto se le debe añadir la sobre fuerza que ejercen los vehículos en el frenado repentino y aceleración que realizan en las vías.

El Ensayo Desgaste de la Máquina de Los Ángeles (MTC E-207) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

2.4.6. Afinidad por el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas y las rocas traqueanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies. Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto, esta característica es muy importante ya que mientras más adherencia asfalto-agregado se tenga se obtendrá una mezcla asfáltica en caliente más homogénea, trabajable y resistente. Por consiguiente, existen agregados que tienden a separarse de las partículas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos, Cuarzita y algunos granitos, son agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución, los materiales de superficies lisas pueden repeler el asfalto ya que pueden contener los minerales antes mencionados.

2.4.7. Forma de la Partícula

Las exigencias de forma de la partícula varían ligeramente para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas redondas, planas, alargadas y en forma de lascas, ya que este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas asfálticas. La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla asfáltica de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla asfáltica a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. Las partículas irregulares y angulares benefician al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento está en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos, adicionalmente no se debe olvidar el gran aporte que estas generan debido a su forma. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas.

Una forma de verificar la forma de la partícula es el ensayo del MTC E-210 para caras fracturadas y el ensayo ASTM 4791 para partículas chatas y alargadas.

2.4.8. Peso Específico

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas asfálticas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla asfáltica en caliente, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada

de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen) (Cortez, J., Guzmán, H., Reyes, A., 2007).

2.5. Importancia y Efecto del relleno o Polvo Mineral

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y procesados, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca.

Ellos son esenciales para la producción de una mezcla asfáltica densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua; sin embargo, un pequeño porcentaje de más, ó de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla asfáltica parezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla asfáltica de pavimentación parecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla asfáltica pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Las especificaciones para relleno mineral están establecidas en el manual de carreteras, especificaciones generales (EG-2013), en el que cita al ensayo AASHTO M-303 y cuyos parámetros de calidad están establecidos en el mismo ensayo (Cortez, J., Guzmán, H., Reyes, A., 2007).

2.6. Especificaciones para Agregados en Mezclas Asfálticas en Caliente según Normas Peruanas

Para la elaboración de mezclas asfáltica en caliente, los agregados deben cumplir requisitos de almacenamiento, manipulación y calidad, los cuales están en el manual de carreteras EG-2013 en el ítem de pavimento de concreto asfáltico en caliente. A continuación, se muestra un resumen desglosado de los requerimientos que deben cumplir los agregados gruesos, agregados finos y el filler.

Los Agregados gruesos, finos y filler deben cumplir ciertos requisitos, para su recepción, almacenamiento y manipulación:

Recepción y Almacenamiento:

- Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas.
- El agregado estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto.
- El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto.
- Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos.
- Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a 1.5 m, y no por montones cónicos.
- Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad.
- Los acopios deben ser cubiertos cuando se presente el riego de alguna precipitación.
- Para su traslado al sitio de las obras, el filler podrá empacarse en bolsas o a granel.
- El depósito para el filler suministrado en bolsas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto.
- Cada fracción del agregado se acumulará separadamente de las demás, para evitar contaminaciones al entremezclarse.

Manipulación:

- La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50 % y el 100 % de su capacidad, sin rebosar.
- En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

- Los materiales producidos deben ser acopiados y manipulados con los cuidados correspondientes a fin de evitar su contaminación con tierra vegetal, materia orgánica u otros,

2.6.1. Agregado Grueso

A continuación, se detallan todos los ensayos que según el manual de carreteras (EG-2013) deben cumplir los agregados gruesos para que puedan ser utilizados en un MAC

2.6.1.1. Durabilidad (al sulfato de magnesio)

Objetivo:

Determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Finalidad y Alcance:

Este Modo Operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

Suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no se dispone de información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales.

Equipos, materiales e insumos:

- Tamices: 3/4", 3/8" y N° 4,
- Balanzas con capacidad no menos de 500 g y con sensibilidad de por lo menos 0.1 g.
- Horno de secado a 110 °C y envases.

- Solución de sulfato de magnesio. Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra ($MgSO_4$) o la forma cristalina ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar.

Procedimiento:

- Agregado grueso: El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (Nº 4). La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos retenidos serán por lo menos el 5 % de la muestra tamizada).

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Tabla 1: Especificaciones gradación de agregados, durabilidad, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

- Se lava y seca completamente las muestras de agregado grueso hasta peso constante a 105 °C a 110 °C y se separará en los diferentes tamaños indicados mediante un tamizado completo cuando la porción de ensayo consiste en dos tamaños, pese por

separado dentro de las tolerancias y combínelas al peso total designado. Registre el peso de la muestra de ensayo y sus fracciones componentes. Se obtendrá el peso adecuado de la muestra para cada fracción y se colocará en envases individuales para el ensayo.

- Inmersión de las muestras en la solución: Se introducirán las muestras en la solución de sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal, que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1.5 cm.
Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantendrán a una temperatura de 21 ± 1 °C durante el período de inmersión.
- Secado de las muestras después de la inmersión. Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante $15 \text{ min} \pm 5$ min y se coloca en el horno de secar. Previamente, se llevará la temperatura del horno a 105 °C ó 110 °C. Se seca la muestra a la temperatura especificada hasta obtener un peso constante. Después de haber conseguido el peso constante, enfríe la muestra a la temperatura ambiente y luego se sumerge en la solución. Durante el lavado de la muestra, deberá prevenirse impacto o abrasión que puedan ocasionar el quebrantamiento de las partículas.
- Número de ciclos: Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de 5 ciclos.
- Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente se lava cada fracción por separado para eliminar el sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Los últimos lavados serán hechos con agua destilada y mediante la reacción con cloruro de bario (BaCl_2) podrá comprobarse si el agua de lavado está libre de las sales anteriores.

- Después que ha sido eliminado el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se seca cada fracción de la muestra hasta peso constante a 105 °C ó 110 °C y luego se anota. Se tamizará para cada tamaño apropiado de partícula.

Tamaño del agregado	Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida
63 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	31,5 mm (1 ¼")
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (¾")	16,0 mm (5/8")
19,0 mm (¾") a 9,5 mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	4,0 mm (Nº 5)

Tabla 2: Tamaños de malla para tamizado final, durabilidad, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

- El tamizado del agregado grueso será realizado a mano, con una agitación suficiente solamente para asegurar que el material de menor medida pase la malla. No deberá emplearse manipulación extra para quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla. Pese el material retenido en cada malla y registre. La diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso y será expresada como porcentaje del peso inicial utilizado.

Resultado:

La muestra representativa del agregado grueso debe tener un porcentaje de durabilidad al sulfato de magnesio no mayor a **18 %**

2.6.1.2. Abrasión de los Ángeles

Objetivo:

Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37.5 mm (1 1/2") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

Finalidad y Alcance:

Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen

abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo.

Equipos, materiales e insumos:

- Máquina de Los Ángeles
- Tamices: 3/4", 1/2" y 3/8"
- Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0.1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.
- Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46.8 mm (1 27/32") de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.
 - ✓ La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo, será como sigue:

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Tabla 3: Numero de esferas para ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

Procedimiento:

- Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a 110 ± 5 °C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Tabla 4: Gradación de muestra para ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Manual de carreteras, EG-

2013

- Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1.70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1.70 mm. Lavar el material más grueso que la malla de 1.70 mm y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1 g.
- Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

Resultado:

La muestra representativa del agregado grueso debe tener un porcentaje de abrasión no mayor a **40 %**.

2.6.1.3. Adherencia

Objetivo:

Describir el revestimiento y procedimientos para determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua.

Finalidad y Alcance:

Este método no debería ser usado como una medida del desempeño en campo, porque una correlación semejante no ha sido establecida.

Este procedimiento es sugerido como una prueba que califica o no califica al nivel de 95 %, porque su precisión no es satisfactoria para la aplicación para niveles menores. No debe hacerse ningún esfuerzo para evaluar la retención de una película por debajo de 95 %.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza, con una capacidad de 200 g y una exactitud de ± 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura entre 60 y 149 °C.
- Tamices, de 9.5 mm (3/8”) y otro el de 6.3 mm (1/4”).
- Recipientes, para mezclado y espátula de acero.

Procedimiento:

- Prepare el agregado, tal que el 100 % pase por la malla de 9.5mm (3/8”) y sea retenido en la malla de 6.3 mm (1/4”). Los agregados para la prueba de revestimiento seco serán lavados en agua destilada para remover todos los finos, secado entre 135 a 149 °C hasta peso constante.
- Revestimiento: Pesar 100 ± 1 g del agregado, seco en horno, a temperatura apropiada dentro del recipiente de mezclado. Añadir 5 ± 0.2 g de material bituminoso precalentado cuando es necesario a la temperatura especificada, dependiendo del grado del bitumen. Mezclar el material bituminoso y el agregado vigorosamente con la espátula por 2 minutos. Después del revestimiento, dejar la mezcla para que enfríe a temperatura ambiente.
- Inmersión en agua: transferir el agregado revestido a un recipiente de vidrio de 600 ml, cubrir inmediatamente con 400 ml de agua destilada a temperatura ambiente. Dejar el agregado revestido para que permanezca inmerso en agua por 16 a 18 horas.

- Estimación visual del área recubierta en la prueba de desprendimiento: Iluminar el espécimen por una lámpara, adecuada con una bombilla eléctrica de 75 w posicionado para eliminar el brillo de la superficie del agua. Por observación a través del agua, por encima, estimar el porcentaje del área total visible del agregado con revestimientos retenidos por encima o por debajo que 95 %.

Resultado:

La muestra representativa del agregado grueso debe tener un porcentaje de adherencia no menor a 95 %

2.6.1.4. Índice de Durabilidad**Objetivo:**

El índice de durabilidad de un agregado calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos como la arcilla

Finalidad y Alcance:

Esta prueba asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y el carácter de material arcilloso que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica.

Equipos, materiales e insumos:

- Vaso mecánico de lavado, cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano.
- Recipiente colector o fondo de mallas, circular, de al menos 254 mm (1.0") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad.
- Agitador-Un dispositivo mecánico diseñado para sostener el recipiente de lavado en posición vertical.
- Balanza, con capacidad de 500 g y tamices
- Soluciones de Cloruro de Calcio-Stock y de trabajo
- Agua destilada o agua desmineralizada

Procedimiento:

- Séquense suficientemente las muestras de agregados, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4.75mm (N° 4).
- Quiebre los terrones duros y elimínense los finos que cubren los agregados gruesos.
- Determínese la gradación de la muestra por tamizado, de acuerdo con el requerimiento del MTC E-107, con los tamices de 19.0; 12.5; 9.5; 4.75; 2.36 y 1.18mm (3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16). Descártese cualquier material que sea retenido en el tamiz de 19.0mm (3/4").
- Prepárese una muestra preliminar de ensayo, de $2550 \pm 0,25$ g, secada al aire, usando la siguiente gradación:

Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm (3/4" a 1/2")	1070 \pm 10
12,5 a 9,5 mm (1/2" a 3/8")	570 \pm 10
9,5 a 4,75 mm (3/8" a N° 4)	910 \pm 5
	2550 \pm 25

Tabla 5: Peso de muestra para ensayo de adherencia, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

- Introducir la muestra preliminar de ensayo dentro del vaso mecánico de lavado, añadir $1\ 000 \pm 5$ ml de agua destilada o desmineralizada.
- Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítese el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.
- Al terminar el periodo de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y Vierta su contenido por el tamiz de 4.75 mm (N° 4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera.
- Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4.75 mm (N° 4) a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y pése.

- Preparar 2500 g de muestra de ensayo preliminar usando la gradación prescrita. Secar la muestra hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el agregado grueso lavado, en los tamices de 12.5; 9.5 y 4.75 mm (1/2", 3/8", N° 4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4).
- Colóquese la muestra de ensayo lavada en el vaso de lavado mecánico. Añádase luego la cantidad de agua destilada o desmineralizada; ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador. Comiencese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.
- Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítesele la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales - circulares, cinco o seis veces, para, poner los finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices.
- Añádase agua destilada o desmineralizada, hasta dar el volumen de 1000 ± 5 ml de agua sucia. Transfiérase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
- Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de lavado para poner los finos en suspensión.
- Completándose el proceso de mezclado, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por 1200 ± 15 segundos cuidando de no perturbarlo. Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2.5 mm (0.1").

Resultado:

Calcúlese el índice de durabilidad del agregado grueso, aproximándolo al entero mas cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Donde:

D_c = Índice de durabilidad

H = Altura de sedimentación, en mm, y la cantidad $(0.29 + 0.15 H)$ en radianes.

2.6.1.5. Partículas chatas y alargadas**Objetivo:**

Método de determinación de los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

Finalidad y Alcance:

Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

Equipos, materiales e insumos:

- Dispositivo calibrador proporcional.
- Balanza y recipientes
- Horno, a temperatura constante, ± 110 °C

Procedimiento:

- Secar la muestra al horno a peso constante a la temperatura de 110 ± 5 °C.
- Tamizar la muestra, reduzca cada fracción mayor a 9.5 mm (3/8") O 4.75 (N° 4) si es requerido, en un 10 % o más de su peso original.
- Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarlas en uno de los tres grupos: 1) Chatas, 2) Alargadas y 3) Ni chatas ni alargadas.
- Utilizar el calibre.

- Ensayo de partículas chatas: Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de la partícula. La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor.
- Ensayo de partícula alargada: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor.

Resultado:

Calcular el porcentaje de partículas chatas y alargadas con aproximación 1 % para cada malla mayor de 9.5 mm (3/8”) o 4.75 (N° 4) según sea necesario.

Cuando se requiere el promedio de partículas chatas y alargadas de alguna muestra asumir que la medida de malla no ensayada (aquella que representa menos del 10 % de la muestra) tiene el mismo porcentaje de partículas chatas y alargadas que la siguiente malla menor o la siguiente malla mayor, o utilizar el promedio de ambas mallas dado el caso.

2.6.1.6. Caras fracturadas**Objetivo:**

Este método de ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados.

Finalidad y Alcance:

Algunas especificaciones contienen requerimientos relacionados al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Un propósito de tales requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción inter-partícula tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados. Otro propósito es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza, tamices y espátula

Procedimiento:

- Secar la muestra lo suficiente hasta obtener una separación clara entre el material fino y grueso en la operación de tamizado. Tamizar la muestra por la malla N° 4 (4.75 mm), u otra malla especificada para la retención de material para este ensayo y luego reducir la parte retenida sobre la malla usando un cuarteador hasta el tamaño apropiado para ensayo.
- La masa de la muestra de ensayo debe al menos ser lo suficiente grande de modo que la partícula más grande no esté en más del 1 % de la masa de muestra; o la muestra de ensayo debe ser al menos tan grande como se indica a continuación, en ningún caso más pequeño:

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 1/2")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 1/2)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 1/2)	90 000 (198)

Tabla 6: *Peso de muestra para ensayo de caras fracturadas, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013*

- Lavar la muestra sobre el tamiz designado para la determinación de partículas fracturadas para retirar cualquier material fino remanente y secar a masa constante.
- Extender la muestra de ensayo seca sobre una superficie larga, plana y limpia que permita una inspección cuidadosa de cada partícula. Para verificar que la partícula entra en el criterio de fracturada, tomar la partícula del agregado de manera que la cara sea observada directamente.

- Usando la espátula o herramienta similar, separa en dos (02) categorías: (1) partículas fracturadas basadas en tanto si tiene el número requerido de caras fracturadas, (2) partículas que no reúnen el criterio especificado.
- Determinar la masa o cantidad de partícula en la categoría de partícula fracturada y la masa o cantidad de las partículas que no reúnan el criterio de fractura especificado.
- Si más de un número de caras de fractura es especificado (por ejemplo 80% con una o máscaras fracturadas y 50 % con 2 o más caras de fracturas), repetir el procedimiento sobre la misma muestra para cada requerimiento.

Resultado:

Calcular el porcentaje de masa o porcentaje de conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1 % de acuerdo con lo siguiente:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas,

N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.

2.6.1.7. Sales Solubles Totales**Objetivo:**

Establecer el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

Finalidad y Alcance:

Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza analítica, con sensibilidad de 0.01 g.
- Estufa, capaz de mantener temperaturas de 105 ± 5 °C.
- Mecheros, matraces aforados, vaso precipitado, pipetas, tubos de ensayo y agua destilada y plancha de calentamiento.
- Solución de Nitrato de Plata.

Procedimiento:

- Secar la muestra en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, aproximando a 0.01 g. Registre esta masa como A.
- Colocar la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.
- Agitar durante 1 min. Repetir la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- Decantar mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos.
- Repetir los pasos anteriores hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.

- Una vez enfriados, vacíe todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrase con agua destilada.
- Tomar una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como C.
- Cristalizar la alícuota en un horno a 100 ± 5 °C, hasta masa constante y registre la masa como D.

Resultado:

El cálculo está dado por la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Volumen de muestra enfriada y enrasada

C = Volumen de alícuota

D = Peso de alícuota secada en horno

2.6.1.8. Absorción**Objetivo:**

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso.

Finalidad y Alcance:

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza: Sensible a 0.5 g y con capacidad de 5 000 g ó más.
- Cesta con malla de alambre, depósito de agua y tamices.
- Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Procedimiento:

- Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria. Descartar todo el material que pase el tamiz 4.75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.
- El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la Tabla:

Peso mínimo de la muestra de ensayo	
Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Tabla 7: *Peso de muestra para ensayo de absorción, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013*

- Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37.5 mm (1 1/2") o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente $50 \text{ }^\circ\text{C}$). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
- Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las

partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0.5 g o al 0.05 % del peso de la muestra, la que sea mayor.

- Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre 23 °C.
- Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre 100 °C + 5°C y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C) y se pesa.

Resultado:

Peso Específico:

- Peso Específico de masa (P_{em})

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

- Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

- Peso específico aparente (P_{ea})

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

- Absorción ($A_b(\%)$)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

2.6.1.9. Partículas Deleznable

Objetivo:

Establecer el procedimiento para determinar de manera aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en agregados que se emplearán en la elaboración de hormigones (concretos) y morteros.

Finalidad y Alcance:

Esta norma se aplica para determinar la aceptabilidad de agregados finos en relación con los requisitos de la NTP 400.015, en lo que respecta al contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanzas: Una balanza o báscula con una exactitud dentro del 0.1 %.
- Recipientes, tamices y estufa.

Procedimiento:

- Las muestras serán secadas hasta obtener peso constante a una temperatura de 110 °C.
- Las muestras de ensayo de agregado fino estarán comprendidas de las partículas retenidas en el tamiz normalizado de 1.18 mm (N° 16) y tendrán una masa no menor de 25 g.
- Las muestras de ensayo de agregado grueso deberán ser separadas en los tamices normalizados de 4.75 mm (N° 4), 9.50 mm (3/8”), 19.0 mm (3/4”), 37.5 mm (1 1/2”).

El peso de la muestra no será menor a lo indicado en la Tabla:

Peso mínimo de la muestra

Tamaño de las partículas de las muestras	Peso mínimo de la muestra (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No.4 a 3/8 pulg)	1000
9,5 mm a 19,0 mm (3/8 pulg a 3/4 pulg)	2000
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pulg)	3000
Mayor que 37,5 rnm (1 1/2 pulg)	5000

Tabla 8: Peso de muestra para ensayo de partículas delezables, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

- Se pesa la muestra de ensayo y se esparce en una capa fina sobre el fondo del recipiente, cubrir con agua destilada, y poner en remojo durante un periodo de 24 ± 4 h.
- El desmenuzamiento de los terrones de arcilla y las partículas delezables será efectuado por- compresión y deslizamiento entre los dedos pulgar e índice. La rotura de los mismos no debe efectuarse ayudándose con las uñas ni presionando contra superficies duras, ni entre ellos.
- Las partículas que puedan ser desmenuzadas con los dedos en finos removibles por tamizado húmedo serán clasificadas como terrones de arcilla o partículas desmenuzables.
- Después que todos los terrones de arcilla y las partículas desmenuzables perceptibles han sido disgregados, separar los detritos de la muestra restante por tamizado húmedo, sobre el tamiz prescrito en la Tabla:

Tamices a utilizar para la separación de las partículas

Tamaño de las partículas de las muestras	Tamiz a utilizar para la separación de los terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1,18 rnm (No 16)	850 um (Nº 20)
4,75 rnm a 9,5 mm (Nº4 a 3/8 pulg)	2,36 mm (Nº 8)
9,5 rnm a 19,0 rnm (3/8 pulg a 3/4 pulg)	4,75 mm (Nº 4)
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pu1g)	4,75 mm (Nº 4)
Mayor que 37,5 rnm (1 1/2 pulg)	4,75 mm (Nº 4)

Tabla 9: Tamices para separación de terrones de arcilla y partículas delezables para ensayo de partículas delezables, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

- Realizar el tamizado húmedo haciendo pasar agua sobre la muestra a través del tamiz mientras se agita manualmente el tamiz, hasta que todo el material de menor tamaño haya sido removido.
- Remover cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, secarlas hasta peso constante a la temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, enfriar, y pesar con una aproximación del 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.

Resultado:

El porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla del agregado fino ó de los tamaños de agregado grueso indicados en la Tabla anterior, deberá calcularse con la siguiente fórmula:

$$P = [(M - R) / M] \times 100$$

Donde:

- P = Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla
- M = Masa de la muestra de ensayo (para el agregado fino la masa de las partículas retenidas en el tamiz normalizado de 1.18mm (Nº 16).
- R = Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado.

2.6.2. Agregado Fino

A continuación, se detallan todos los ensayos que por norma(EG-2013) deben cumplir los agregados finos para que puedan ser utilizados en un MAC.

2.6.2.1. Equivalente de Arena**Objetivo:**

Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz Nº 4 (4.75mm).

Finalidad y Alcance:

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo.

Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

Equipos, materiales e insumos:

- Un cilindro graduado, transparente de plástico acrílico, tapón de jebe, tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón
- Horno, tamiz N° 4 (4.75mm), embudo y papel filtro.
- Agitador mecánico para equivalente de arena.
- Stock de Solución: Se van a requerir los siguientes materiales:
 - ✓ Cloruro cálcico Anhidro, 454 g (1.00 lb) de grado técnico.
 - ✓ Glicerina USP, 2050 g (1 640 ml).
 - ✓ Formaldehído, (40 volumen % solución) 47g (45 ml).
- Solución de trabajo de cloruro cálcico.

Procedimiento:

- Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo.
- Golpear ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.
- Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.
- Después de aflojar el material del fondo del cilindro, agitar el cilindro y su contenido.

- Siguiendo con la operación de agitación, colocar el cilindro sobre la parte superior de la mesa de trabajo y remover el tapón de jebe.
- Realizar el procedimiento de irrigación.

Resultado:

La muestra representativa del agregado grueso debe tener un porcentaje de equivalente de arena no menor a **60 %**

2.6.2.2. Angularidad del Agregado Fino**Objetivo:**

Determinar mediante el cálculo de vacíos de aire y la Angularidad de los agregados finos, la cual se correlaciona con la resistencia al ahuellamiento.

Finalidad y Alcance:

Se define como Angularidad del agregado fino el porcentaje de vacíos con aire presente en las partículas menores de 2.36 mm (pasante malla N° 8), levemente compactados.

Equipos, materiales e insumos:

- Tamices 2.36mm (N° 8) y 75mm (N° 200), cilindro metálico de volumen conocido, embudo metálico y marco metálico.

Procedimiento:

- Se separa material que pase el tamiz 2.36 mm (N° 8) y sea retenido en el tamiz 75 mm (N° 200).
- Se determinará la gravedad específica bruta del agregado seleccionado (Gsb).
- Se vierte la arena por el embudo hasta que rebose el cilindro de volumen conocido. Se enrasa y se pesa el material retenido en el cilindro.

Resultado:

Determinando el peso del agregado fino (W) que llena el cilindro de volumen conocido (V), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro así:

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100$$

A° = Absorción

V = Volumen del picnómetro

G_{sb} = Gravedad específica de la muestra de suelo

W = Peso de la muestra secada al horno

2.6.2.3. Azul de Metileno**Objetivo:**

Se indica el procedimiento para determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del Valor de Azul de Metileno.

Finalidad y Alcance:

La solución de Azul de Metileno es titulada en pequeños incrementos en un recipiente que contiene agua destilada y la muestra de material menor del tamiz de 75 mm (N° 200).

Equipos, materiales e insumos:

- Bureta, agitador magnético, matraz volumétrico, papel filtro y azul de metileno.

Procedimiento:

- Colocar 10 g (± 0.05 g) de material pasante del tamiz 75 mm (N° 200), seco hasta masa constante, en un vaso volumétrico tipo griffin de 500 ml.
- Adicionar 30 ml de agua destilada y batir con el agitador hasta tener una lechada.

- Agregar con la bureta a la lechada de suelo 0.5 ml de solución de azul de Metileno y agitar durante un minuto.
- Sacar con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y dejarla caer sobre el papel filtro.
- Se observa la gota en el papel filtro. Si no se ha formado alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de Metileno, agitando durante un minuto para cada incremento y realizando de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.

Resultado:

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

VA = valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa el tamiz de 75 μm (N° 200),

C = concentración de la solución de azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución.

V = ml de solución de Azul de Metileno requerida en la titulación.

W = gramos de material seco utilizado en la prueba.

2.6.2.4. Índice de Plasticidad (malla N° 40)**Objetivo:**

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

Finalidad y Alcance:

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Equipos, materiales e insumos:

- Espátula, balanza, horno, tamiz N° 40 y agua destilada
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

Procedimiento:

- Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1.5 g a 2.0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con el ensayo MTC E-110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.
- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

- Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con el ensayo MTC E-108.

Resultado:

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

2.6.2.5. Durabilidad (al sulfato de magnesio)

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de Durabilidad (al sulfato de magnesio) para agregado grueso.

2.6.2.6. Índice de Durabilidad

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de Índice de durabilidad para agregado grueso.

2.6.2.7. Índice de Plasticidad (malla N^o 200)

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de Índice de plasticidad para agregado fino.

2.6.2.8. Sales Solubles Totales

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de sales solubles totales para agregado grueso.

2.6.2.9. Absorción

Objetivo:

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

Finalidad y Alcance:

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E-203.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza, estufa, frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad y molde cónico.
- Varilla para apisonado, metálica, recta.

Procedimiento:

- Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.
- Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.

- Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.
- Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar el peso.

Resultado:

- Peso específico de masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

V = Volumen del frasco en cm^3

V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

- Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss}):

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

- Peso específico aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

- Absorción (A_b):

$$A_b = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

2.6.2.10. Partículas Deleznables

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de Partículas deleznables para agregado grueso.

2.6.3. Filler

2.6.3.1. Densidad Aparente (peso unitario aparente)

Este mismo procedimiento está descrito en el ensayo de Absorción para agregado fino.

2.6.3.2. Coeficiente de emulsibilidad

Objetivo:

Se describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para calificar la idoneidad del polvo mineral, como componente de las mezclas bituminosas, en función de su influencia respecto a la acción y efecto del agua sobre la calidad de las referidas mezclas

Finalidad y Alcance:

El procedimiento que se describe se fundamenta en el hecho que las emulsiones directas “agua en ligante” se pueden diluir en agua, mientras que las inversas “agua en ligante” no se pueden diluir.

Equipos, materiales e insumos:

- Morteros de porcelana, varillas de vidrio, pipeta graduada, estufa, balanza y tamiz.
- Betún fluidificado y agua destilada

Procedimiento:

- Se tamizan unos 400 g. del material para ensayo por el tamiz de 80 μm y se pone en una capsula de porcelana el material que pasa dicho tamiz. Se introduce en una estufa por 24 h.
- Se disponen 10 morteros de porcelana, cada uno con su correspondiente varilla de vidrio, y se transfieren 20 g. de polvo mineral a cada uno de los citados morteros.

- Al mismo tiempo que los morteros y su contenido, se mantienen en la estufa, también a 60 °C, 02 vasos de 500 cm³ conteniendo uno con agua destilada, y el otro betún fluidificado tipo FR 200.
- Transcurrida la hora de permanencia en la estufa, se saca uno de los morteros con la varilla y la muestra y se le agregan 10 cm³ de agua destilada a 60 °C, inmediatamente se homogeniza el conjunto ahitándolo con la varilla de vidrio, hasta obtener una pasta.
- Se repite uno a uno el mismo proceso descrito en el apartado anterior con el contenido de cada uno de los otros 9 morteros que están en la estufa, pero incrementando en 1 gramo, sucesivamente, la cantidad de ligante fluidificado FR 200 para incorporar a la “papilla” de polvo mineral y agua de cada mortero.
- El punto de la inversión de la emulsión es con alguna frecuencia difícil de advertir, por lo que conviene realizar, previamente, unos ensayos de tanteo. Una vez así, conseguida la aproximación al referido punto, se procede como se ha descrito anteriormente, pudiéndose observar en el retorno del punto de inversión 03 mezclas críticas, sucesivas, al adicionar 1 g. más de ligante.

Resultado:

Si L es la masa en gramos del ligante bituminoso añadida correspondiente al punto de inversión, y P la masa de la muestra de polvo mineral ensayada, 20 gramos en las condiciones de ensayo, el coeficiente de emulsividad, C, viene expresado por la relación:

$$C = L/P$$

El resultado del ensayo será la media aritmética de dos o más series de ensayo, determinada con aproximación a la décima (MTC, 2019)

3. Cemento Asfáltico

El asfalto es un material de color oscuro, cementante, que tiene una consistencia variable, que a temperaturas normales del ambiente varía de sólido a semisólido. Su comportamiento reológico hace que tenga consistencia líquida a altas temperaturas y se vuelva más densa a medida que esta baja, en forma líquida permite cubrir todas las partículas durante la producción de mezcla en caliente.

El cemento asfáltico se produce por la destilación del petróleo en crudo en las refinerías. Este es un proceso por el cual varios productos son separados del petróleo en crudo debido a un aumento de la temperatura, como se puede ver en la siguiente figura:

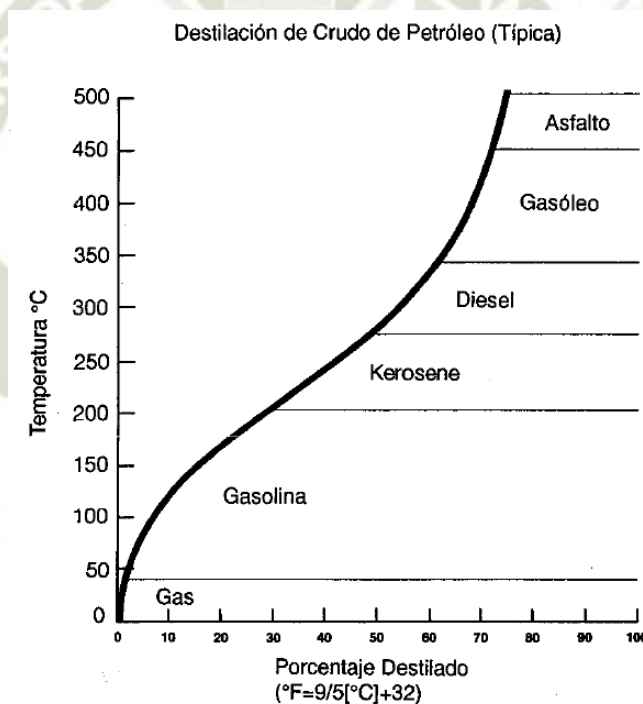


Figura 46: Productos y temperaturas típicas de destilación. Ms 22, Fuente: Instituto del asfalto (2001)

Una vez que los asfaltos fueron procesados, pueden ser mezclados, en distintas proporciones, para producir otros tipos de asfaltos. Es así que los asfaltos pueden ser muy viscosos o menos viscosos como intermedios. A continuación, se muestra una figura del proceso de la destilación del petróleo en crudo y la elaboración de los distintos tipos de asfaltos (Instituto del Asfalto, 1982)

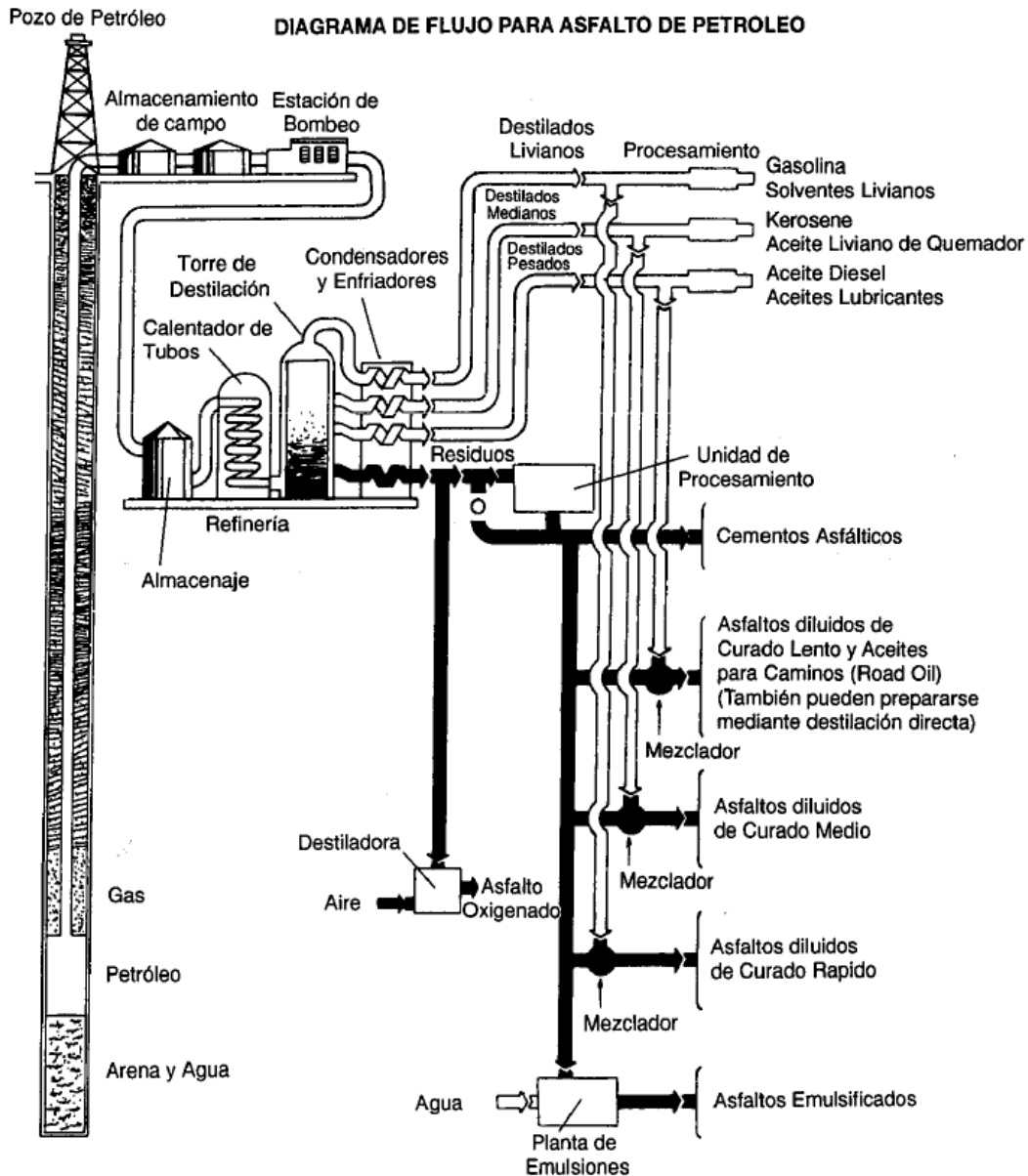


Figura 47: Proceso típico de refinación. Ms 22, Fuente: Instituto del asfalto (2001)

En el Perú se tiene refinerías que producen determinados tipos de asfalto según la demanda, a continuación, se detallara cada uno de estos y las especificaciones técnicas que deben tener para su uso en mezclas asfálticas en caliente.

3.1. Refinerías Cemento Asfáltico en el Perú

En el Perú se tiene 2 proveedores de Asfaltos cuyas refinerías están en distintos lugares del Perú, a continuación, se detallará cada uno:

3.1.1. Petroperú

3.1.1.1. Refinería Conchán

Diseñada por la compañía Fluor Corporation de Canadá, la Refinería Conchán fue construida sobre un terreno de 50 hectáreas ubicado en el kilómetro 26.5 de la carretera Panamericana Sur, en el distrito de Lurín, departamento de Lima.

Esta refinería produce los siguientes asfaltos:

- C.A. PEN 20/30
- C.A. PEN 40/50
- C.A. PEN 60/70
- C.A. PEN 85/100
- C.A. PEN 120/150
- Asfalto Liquido RC-250
- Asfalto Liquido MC-30

3.1.1.2. Refinería Talara

La Refinería Talara, instalada sobre un área de 128.9 hectáreas, se localiza en la ciudad del mismo nombre en el departamento de Piura, a 1185 km al norte de Lima, la capital del Perú. Por el sur limita con el área residencial de Punta Arenas, por el oeste y el norte con la Bahía de Talara.

Los tanques de almacenamiento están en la zona sur-este y en la franja occidental, mientras que las principales unidades de procesos están distribuidas en dirección sur-norte.

Esta refinería produce los siguientes asfaltos:

- C.A. PEN 40/50
- C.A. PEN 60/70
- C.A. PEN 85/100
- C.A. PEN 120/150

- Asfalto Liquido RC-250
- Asfalto Liquido MC-30

3.1.1.3. Refinería Iquitos

La Refinería Iquitos se localiza en la margen izquierda del río Amazonas, a 14 kilómetros de la ciudad de Iquitos, capital de la provincia de Maynas, en el departamento de Loreto.

Por encontrarse ubicada en la capital de la Amazonía peruana, esta refinería trabaja en armonía con la naturaleza y con respeto hacia las comunidades nativas y la población local.

Esta refinería produce los siguientes asfaltos:

- C.A. PEN 40/50
- C.A. PEN 60/70
- C.A. PEN 85/100
- C.A. PEN 120/150
- Asfalto Liquido RC-250
- Asfalto Liquido MC-30

3.1.2. Repsol

3.1.2.1. Refinería La Pampilla

La refinería La Pampilla es una refinería de petróleo del Perú bajo administración de Repsol Perú. La refinería se ubica por la avenida Néstor Gambetta en Ventanilla, provincia del Callao y tiene una capacidad para refinar 102 000 barriles diarios de petróleo lo cual supone la mitad de la producción de refino del país.

Esta refinería produce los siguientes asfaltos:

- C.A. PEN 40/50
- C.A. PEN 60/70
- C.A. PEN 85/100
- C.A. PEN 120/150

- Asfalto Líquido RC-250
- Asfalto Líquido MC-30

3.2. Especificaciones para el Cemento asfáltico en Mezclas Asfálticas en Caliente según Normas Peruanas

El cemento asfáltico empleado para mezclas asfálticas en caliente deberán cumplir las especificaciones técnicas establecidas en la norma peruana, manual de carreteras EG-2013, pavimentos flexibles, Pavimento de concreto asfáltico en caliente. A continuación, se mostrarán los requerimientos técnicos que debe cumplir todo cemento asfáltico empleado para mezclas asfálticas en caliente.

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

Tabla 10: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico clasificado por penetración, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

4. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

Es un compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son mezclados a una temperatura elevada en una planta de mezclado en caliente. Una vez que el agregado este revestido completamente, la mezcla es trasladada al lugar de ejecución de la vía, donde posteriormente será esparcido y compactado para lograr una densidad especificada, cabe resaltar que esta operación de debe realizar en el menor periodo de tiempo ya que si la mezcla pierde su temperatura (la que es aceptable para su calidad) se deberá desechar. A medida que

el asfalto enfría este endurecerá, este endurecimiento es el que le dará a la mezcla asfáltica la capacidad de soportar tránsito, en la siguiente imagen se puede visualizarla la tolva de un volquete siendo cargado de mezcla asfáltica en caliente para trasladarla al proyecto en ejecución.



Figura 48: Cargado de mezcla asfáltica en volquete, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

La mezcla asfáltica tiene cuatro características fundamentales las cuales tienen mucha influencia en el comportamiento de esta.

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Contenido de asfalto

En la siguiente figura se visualizará cada uno de estas características de la mezcla asfáltica.

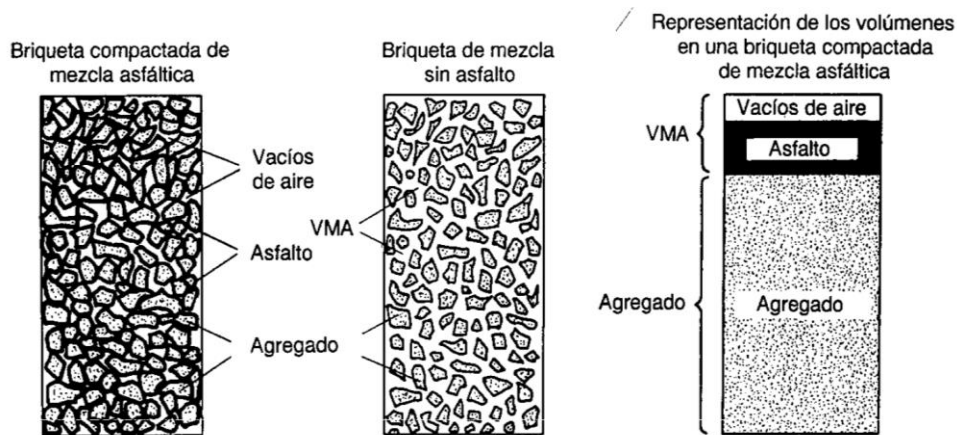


Figura 49: Componentes de la mezcla asfáltica, Fuente: Instituto del asfalto (2001)

Para un diseño de mezcla asfáltica en laboratorio cada uno de estos parámetros es controlado, adicionalmente de otros que es requerido según el tipo de proyecto, como la carga que soportará, temperatura a la que estará sometida la vía, etc.

A continuación, se detallarán el proceso adecuado para un diseño de mezclas asfálticas cuyos resultados son utilizados por la planta de asfalto que elaborara la mezcla.

4.1. Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) según normas peruanas – Método Marshall

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

El concepto de método Marshall de diseño de mezclas asfálticas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-ingeniero de bitúmenes del departamento de carreteras del estado de Mississippi.

El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas en caliente fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

El cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas asfálticas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito y de estudios de correlación, en el laboratorio, el cuerpo de ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrollo criterios de diseño de mezclas asfálticas en caliente.

El propósito del método Marshall es determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5”) de espesor por 102 mm (4”) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos–densidad, y una prueba de estabilidad - flujo de las muestras compactadas (Asphalt Institute MS-22, 1999).

A continuación, se muestra el equipo baño maría y el equipo Marshall, los cuales son empleados en este ensayo que nos permitirá obtener los valores de estabilidad y flujo.



a)



b)

Figura 50 (a): Equipo Marshall, Fuente: Laboratorio de asfalto “UCSM” (2019)

Figura 51 (b): Equipo Baño maría, Fuente: Laboratorio de asfalto “UCSM” (2019)

Los componentes de la mezcla asfáltica, el Agregado grueso chancado y el Agregado fino fueron extraídos de la cantera con tamaño máximo especificado, de acuerdo al tipo de mezcla asfáltica que se pide para el proyecto, MAC-1, MAC-2 Y MAC-3, cada uno de estos debe estar dentro de los requerimientos para la gradación empleada y tipo de Cemento asfáltico.

A continuación se muestra las tablas de los requerimientos de la norma peruana “manual de carreteras EG-2013” para gradación y tipo de cemento asfáltico empleado.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Tabla 11: Especificaciones para la gradación del agregado combinado, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Tabla 12: Especificaciones para el empleo del tipo de cemento asfáltico según características climáticas de la región, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4 %. El rango de vacíos de aire es de 3 % al 5 %. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 13 – Requerimientos para mezclas asfálticas en caliente, EG-2013). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

El siguiente cuadro clasifica a la mezcla asfáltica en 3 distintos tipos, MAC-1. MAC-2 y MAC-3, los cuales hacen referencia al tránsito pesados, medianos y livianos (Instituto del Asfalto, 1982).

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Tabla 13: Especificaciones para mezclas asfálticas, Fuente: Manual de carreteras, EG-2013

5. Especificaciones para mezclas asfálticas en caliente (MAC) según normas peruanas

La mezcla asfáltica en caliente y la planta asfáltica en caliente deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Si los acopios de agregados se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a 1.5 m, y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación. La temperatura mínima de salida del mezclador y compactación en obra según carta de viscosidad establecida por el proveedor de cemento asfáltico.
- La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50 % y el 100 % de su capacidad, sin rebosar.
- Las aberturas de salida de las tolvas en frío, se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío.
- El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea.

- La dosificación del filler de recuperación y/o el de aporte, se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.
- En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente, a una temperatura superior en más de 5 °C a la temperatura del asfalto.
- El cemento asfáltico será calentado a una temperatura tal, que se obtenga una viscosidad comprendida entre 170 ± 20 cst (según Carta Temperatura-Viscosidad proporcionado por el fabricante).
- A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla.
- Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para que al descargarla desde la máquina de transferencia del material a la pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase del tramo de prueba.
- La mezcla se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en el Proyecto.
- El esparcido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.
- Durante el extendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar la segregación.
- La compactación deberá comenzar, una vez esparcida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete.
- La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro.
- Antes de iniciar los trabajos de asfaltado, el Contratista efectuará un tramo de prueba para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y

longitudes aprobadas por el Supervisor, el método definitivo de preparación, transporte, colocación y compactación de la mezcla o tratamiento, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación.

- Se evitará todo tipo de derrames durante la descarga de la mezcla a la tolva de la esparcidora, a la vez de procurar una pavimentación continua y manteniendo una velocidad constante de la pavimentadora.
- Deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores de la carpeta asfáltica.
- Controlar que el equipo no deje huellas en la superficie de la capa.
- Se extraerá diariamente como mínimo una muestra de los agregados pétreos y dos de la mezcla, para verificar la uniformidad requerida del producto.
- Las variaciones de los componentes de la mezcla asfáltica no deben exceder los siguientes valores según el diseño de mezcla realizado en laboratorio:

Parámetros de Control	Variación permisible en % en peso total de áridos
N.º 4 o mayor	±5%
N.º 8	±4%
N.º 30	±3%
N.º 200	±2%
Asfalto	±0,2%

Tabla 14: Componentes de la mezcla asfáltica, Fuente: Manual de carreteras EG-2013 (2018)

- Las mezclas asfálticas calientes se colocarán cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura ambiental sea superior a 6 °C, y no haya precipitaciones pluviales.
- Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos fluidificados ni de agua en la superficie.

- El proceso de asfaltado tendrá la siguiente rutina que puede ser modificada según resultados del tramo de prueba.
- Compactación inicial: Rodillo tándem vibratorio, entrando a una temperatura entre 145 °C y 150 °C. Inicialmente se dan dos pasadas con amplitud alta a 50- 53.33 Hz (3000 – 3200 VPM) y luego dos pasadas con amplitud baja a 50-56.67 Hz o (3000 – 3400 VPM).
 - Zona Tierna: En esta etapa se deberá esperar que la temperatura baje hasta 115 °C sin operar ningún equipo sobre la mezcla.
 - Compactación intermedia: Rodillo neumático de 20 000 a 22 000 kg de peso, ejerciendo una presión de contacto por llanta entre 520 kPa y 550 kPa, en 2 a 4 pasadas, en un rango de temperatura entre 95 °C y 115 °C.
 - Compactación final: Rodillo tándem vibratorio usado en modo estático, haciendo 3 pasadas en un rango de temperatura entre 85 °C y 95 °C (MTC, 2019).

6. Colocación y Compactación de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) en Obra

La colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente para formar un producto terminado como una carpeta asfáltica, consiste de dos actividades muy importantes y que además están fuertemente relacionadas, cada una tiene su procedimiento y controles respectivos, a los cuales debe apegarse todo constructor para lograr una calidad en la carpeta de acuerdo a los requisitos contractuales de cada proyecto, y de ésta forma sea aceptada por la supervisión. Por lo contrario, un control deficiente durante el proceso de colocación y compactación puede ocasionar que no se logre alcanzar la densidad estipulada, vacíos, entre otros factores; esto influirá negativamente en la calidad de una carpeta asfáltica, no cumplirá con las especificaciones de proyecto, presentará un desempeño deficiente y probablemente fallará a corto plazo, lo que en muchas ocasiones hace tachar a los pavimentos asfálticos de

mala calidad, cuando en la mayoría de las ocasiones lo que realmente se hacen son malas prácticas de construcción; las cuales podemos mejorarlas tan sólo ejecutando los proyectos con los procedimientos correctos y la maquinaria adecuada (Instituto del Asfalto, 1982)

6.1. Colocación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Una vez que el volquete cargado llega a la obra este será colocado en la vía, teniendo en cuenta estos factores a controlar:

6.1.1. Ancho de la distribución y control del espesor de la mezcla.

Antes de iniciarse el proceso de colocación del MAC, se debe revisar estos 2 requisitos fundamentales.

- El ancho de la distribución de la esparcidora debe ser regulado de acuerdo a la cantidad de carriles de la vía y al ancho de esta, ya que el equipo tiene un rango de esparcimiento máximo.
- El espesor de la vía debe ser regulado de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto previamente revisado y haciendo los reajustes por compactación.

Posteriormente a que estos 2 factores ya fueron regulados, se procede a descargar la mezcla asfáltica de la tolva del volquete a la tolva de la esparcidora, controlando las temperaturas mínimas para iniciar el proceso. La esparcidora distribuye el MAC a lo largo del todo el ancho de la vía, en esta etapa se debe controlar el espesor de la capa constantemente para evitar variaciones.

Como último proceso, se deben sellar con mezcla los orificios o cavidades que el equipo pudo haber dejado en el proceso de esparcido, este proceso se realiza manualmente, dejando el esparcido lo más uniforme posible. Seguidamente viene el proceso de compactación (Instituto del Asfalto, 1982)

6.2. Compactación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación de mezclas asfálticas en caliente. Es la etapa en la cual se desarrolla la resistencia total de la mezcla y en donde se establecen la lisura y textura de la carpeta.

El Instituto del Asfalto, sugiere que la mejor temperatura para empezar a compactar una mezcla asfáltica, dentro del margen de temperaturas de 163 a 85 °C (325 a 185 °F), es la máxima temperatura a la cual la mezcla puede resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente.

Normalmente se requieren compactadoras automotrices para la compactación de mezclas de concreto asfáltico. No se deben usar compactadoras tipo remolque, pero se pueden usar compactadoras de mano en las áreas que sean inaccesibles a las compactadoras grandes. Las compactadoras automotrices típicas abarcan los tres tipos siguientes:

- Tándem de ruedas de acero.
- Vibratoria.
- Ruedas Neumáticas.

Una vez esparcido el MAC, entra el equipo el equipo tándem vibratorio, posteriormente el rodillo neumático y al final el rodillo vibratorio.

Todo tipo de compactadora debe ser inspeccionada antes de ser usada en la obra para verificar que se encuentre en buena condición mecánica. Cuando sea de importancia, se deben revisar los siguientes detalles:

- Peso total de la compactadora.
- Peso por unidad de ancho (para compactadora de ruedas de acero).
- Esfuerzo promedio de contacto (compactadoras neumáticas) (Instituto del Asfalto, 1982)

7. Calidad

La calidad puede definirse como la conformidad relativa con las especificaciones, a lo que al grado en que un producto cumple las especificaciones del diseño, entre otras cosas, mayor su calidad o también como comúnmente es encontrar la satisfacción en un producto cumpliendo todas las expectativas que busca algún cliente, siendo así controlado por reglas las cuales deben salir al mercado para ser inspeccionado y tenga los requerimientos estipulados por las organizaciones que hacen certificar algún producto. La calidad es una propiedad inherente del sistema de producción o de operaciones empleado, a mayor madurez más cerca se estará de cumplir con los requisitos del cliente. Dentro de los sistemas de producción Monozukuri, Lean Manufacturing y Sistema de producción Toyota la medición de la calidad se considera un indicador táctico, en conjunto con el plazo y el costo. Joseph, M., P84,1999.

La calidad es aportar valor al cliente, en conclusión, dar unas condiciones de uso del servicio o producto mejores a lo que comúnmente uno recibe u a un precio económico.

También, la calidad se enfoca en reducir al máximo las pérdidas que un producto pueda causar a los clientes mostrando interés por parte de la empresa a conservar la satisfacción de ellos.

Actualmente la definición más precisa para el concepto de calidad lo tiene la norma ISO 9000: “Calidad: grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos.”

El aseguramiento de la Calidad se define como aquellas acciones que hacen que un producto o servicio cumpla con unos determinados requerimientos de calidad. Si estos requisitos de calidad reflejan completamente las necesidades de los clientes se podrá decir que se cumple el aseguramiento de la calidad.

7.1. Calidad de los materiales

Es necesario asegurar la calidad de los materiales para garantizar que los productos o servicios adquiridos cumplan los requisitos necesarios. La mejor forma de garantizar la calidad en productos y servicios es enfocarse en la responsabilidad del proveedor, para fabricar un buen producto y superar las pruebas de calidad correspondientes.

7.1.1. Evaluación de proveedores

La calidad de los productos o servicios de una empresa depende en una importante medida de sus proveedores. Para desarrollar nuevos productos y servicios con un alto nivel de confianza, es necesario que el proveedor colabore desde la fase inicial de desarrollo.

Es necesario tener en cuenta que un proveedor motivado y apoyado por la empresa, puede dar una contribución insustituible de creatividad e innovación tecnológica en nuevos productos y servicios, además puede trabajar activamente para reducir seguidamente los costos.

7.1.2. Verificación de los productos adquiridos

El control de recepción consiste en verificar que los productos o servicios recibidos tienen la calidad deseada, y cumplen las especificaciones. La verificación es una forma muy sencilla de encontrar los productos defectuosos, pero sin embargo se tiende a la desaparición de ésta debido a los inconvenientes que lleva asociados:

- Mayores costes que no mejoran la calidad del producto (no aporta un valor añadido al producto producido por una mala observación cuando no se posee un modelo o patrón de comparación como normas).
- Algunas veces la empresa no cuenta con los sistemas necesarios para inspeccionar ciertas características de los productos.
- La verificación del 100 % de los productos recibidos no asegura que el total de todos los productos aprobados estén libres de defectos, es por tal razón que para grandes

cantidades se debe de realizar muestreos representativos, a veces sugeridos, a veces impuestos.

- Se presentan casos en los que el mismo control cuando se hace parte del proceso de producción puede ocasionar defectos, es necesario mantener la distancia e independencia para la verificación.

7.1.3. Calidad concertada

Es un acuerdo establecido entre la organización y el proveedor, según el cual, se atribuye al proveedor una determinada carga de responsabilidad sobre la calidad de los materiales provistos, que deben satisfacer ciertos grados de calidad previamente convenidos. Este acuerdo conviene firmarlo en forma de contrato (Juran, J. 2012).

7.2. Calidad en la Producción

Es realizar las actividades necesarias para garantizar que se obtiene y mantiene la calidad demandada, a partir que el diseño del producto es llevado a fábrica, hasta que el producto es entregado al cliente para su utilización de la manera que el vea conveniente. Los objetivos principales del aseguramiento de la calidad en la producción son:

- Reducir costos.
- Aumentar la satisfacción del cliente.

7.2.1. Planificación del control de la calidad en la producción

La planificación del control de la calidad en la producción es una de las actividades más importantes ya que es donde se define:

- Los procesos y actividades que se deben controlar para conseguir productos sin problemas.
- Los requisitos y forma de aceptación del producto que garanticen la calidad de los mismos.

- Los equipos de medición necesarios que garanticen la correcta comprobación de los productos.
- La forma de hacer la recogida de datos para mantener el control y emprender acciones correctoras cuando sea necesario.
- Las necesidades de capacitación y entrenamiento del personal de la empresa con tareas de inspección y verificación.
- Los ensayos y supervisiones que garanticen que estas actividades se realizan de forma adecuada y que el producto está libre de fallas.

7.2.2. Verificación de los productos

La verificación y/o comprobación del producto, servicio o proceso hay que considerarla como una parte integrante del control de producción, pudiendo encontrar tres tipos:

- Inspección y prueba de entrada de materiales.
- Inspección durante el proceso.
- En los productos acabados.

7.2.3. Control de los equipos de inspección, medida y ensayo

Algunas de las actividades obligatorias para asegurar un buen control de los equipos de medición y ensayo son:

- Tener un inventario.
- Elaborar un plan anual de calibración.
- Controlar las calibraciones y establecer las trazabilidades.
- Realizar un mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos.
- Gestionar los equipos.
- Identificar las medidas que se realizarán y la exactitud que se requerirá para ello (Juran, J. 2012).

8. Programa de puntos de Inspección (PPI)

Los Programas de Puntos de Inspección, o Planes de Puntos de Inspección (comúnmente llamados PPIs), es un formato de registro muy usado para proyectos, obras o actividades que estén formadas por varias tareas y donde normalmente están implicadas varias personas, o varias empresas. Su objetivo es dejar un registro escrito de que las actividades se han realizado correctamente. Básicamente, un PPI es una tabla donde se enumeran las tareas clave del proyecto o actividad que queremos controlar. En cada fila se pone una tarea, y a la derecha se ponen columnas con las personas que deberán controlar que esta se ha realizado correctamente. Una vez que se realiza la tarea, estas personas firmarán para dejar constancia de que se ha realizado correctamente (normalmente suelen firmar los encargados de realizar las tareas, y los encargados de controlar que estas están bien hechas) (Jimeno, J. 2019).

Los PPI se suelen realizar cuando intervienen dos o más organizaciones, habiendo normalmente una empresa contratante (que es la que fija los requisitos por medio de especificaciones, planos, etc.) y otra empresa contratista (que certificará que cumple con los requisitos por medio de planes, PPI, registros... y una vez terminada la actividad, entregará el dossier final de calidad correspondiente) (Jimeno, J. 2019).

A continuación, se mostrará una figura de un formato estándar de un programa de puntos de inspección.

Programa de Puntos de Inspección							
<i>Proyecto de ejemplo realizado por la empresa A para la empresa B</i>							
	Tarea	Documentación aplicable	Fecha	Responsable realización (Empresa A)	Control de Calidad (Empresa A)	Control de Calidad (Empresa B)	Otros
1	<i>Comprobación de documentación inicial</i>	-	<i>1/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>
2	<i>Tarea 2</i>	<i>Proced. 1</i>	<i>1/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>
3	<i>Tarea 3</i>	<i>Proced. 1</i>	<i>2/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>
4	<i>Tarea 4</i>	<i>Proced. 1</i>	<i>5/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>
5	<i>Tarea 5</i>	<i>Proced. 2</i>	<i>5/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>
6	<i>Comprobación del resultado final</i>	-	<i>9/2/2015</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>	<i>firmar</i>

Figura 52: Modelo estándar de Programa de Puntos de Inspección, Fuente: Jorge Jimeno Bernal (2003)

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

1. Diagnostico

1.1. GyA contratistas

- **Antigüedad:** 7 años
- **Año de Fabricación:** 2012
- **Color:** blanco
- **Modelo:** MAGNUM 140
- **Marca:** TEREX
- **Capacidad de Producción** 140 t/h
- **Ubicación:** Variante de Uchumayo con los Libertadores
- **Producción:** Mezcla asfáltica en caliente



Figura 53: Planta de mezcla asfáltica, Fuente: GyA Contratistas (2019)

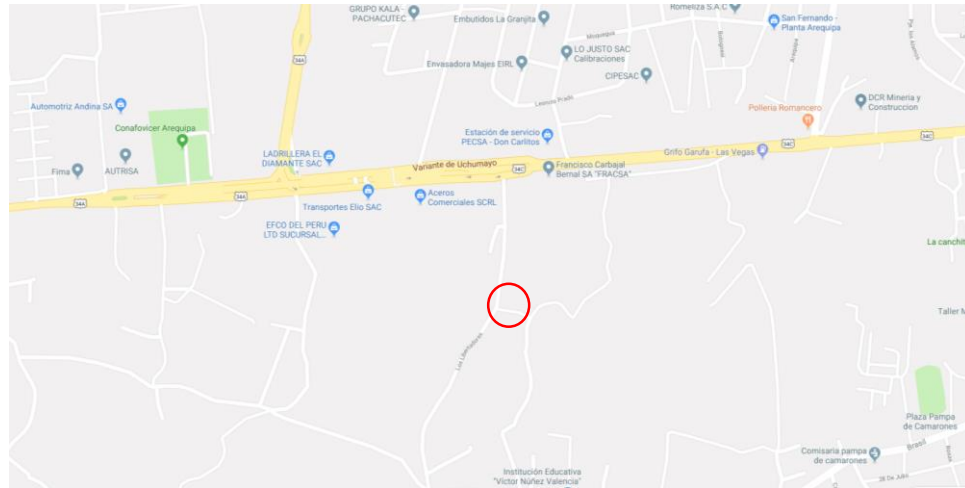


Figura 54: Ubicación de Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Google maps (2019)

1.2. SuperAsfaltos

- **Antigüedad:** 10 años
- **Año de Fabricación:** 2009
- **Color:** blanco
- **Modelo:** MAGNUM 140
- **Marca:** TEREX
- **Capacidad de Producción** 140 t/h
- **Ubicación:** Variante de Uchumayo (aceros comerciales)
- **Producción:** Mezcla asfáltica en caliente



Figura 55: Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019)

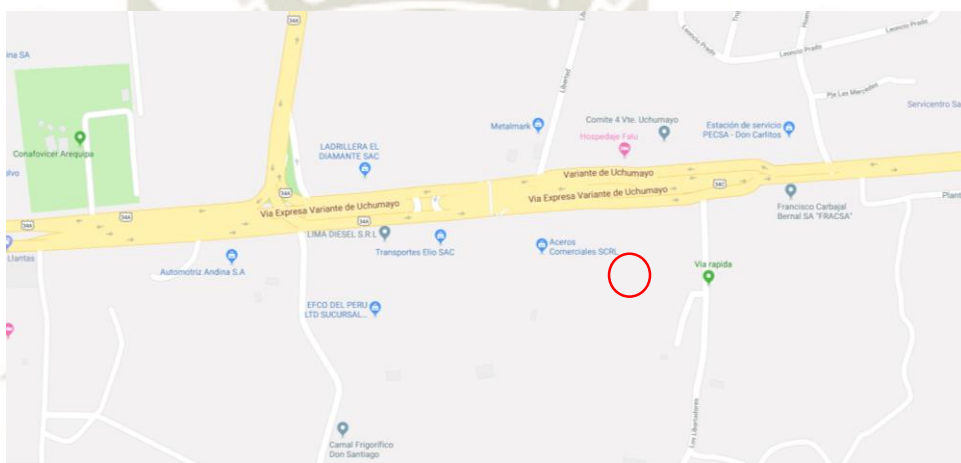


Figura 56: Ubicación de Planta de mezcla asfáltica, Fuente: Google maps (2019)

2. Descripción de las Plantas Asfálticas

2.1. GyA contratistas

2.1.1. Planta

- Producción promedio de trabajo: 110-115 toneladas/hora
- Estado: Bueno
- Color: Blanco
- N° de tolvas para agregados: 04 tolvas
- Mantenimiento rutinario: Al final de cada producción diaria
- Mantenimiento Periódico: Una semana antes de cada proyecto de asfaltado

- Calibración: 1 semana antes de cada producción
- Elementos complementarios: Tanque de combustible de 15 000 litros
Tanque de Cemento asfaltico de 35 000 litros
Caldero
Grupo electrógeno

2.1.2. Personal

- 01 Operador de planta – Capacitado
- 01 Calderista – Capacitado
- 01 Operador de cargador frontal – Capacitado
- 01 técnico en laboratorio – Técnico, Capacitado

El personal que recibe capacitación constante es el operador de planta – actualizaciones de software.

2.1.3. Materiales

- Agregado Grueso: Piedra chancada 3/4”
Supermix, Cantera: Quebrada tinajones,
Uchumayo
- Agregado fino: Arena chancada
Supermix, Cantera: Quebrada tinajones,
Uchumayo
- Filler: Filler Silico
Carpetek - Rocatech
- Cemento asfaltico: PEN 85-100
Petroperú – Refinería de Conchán

EL proveedor constante de la planta es Supermix, en ocasiones raras trabajaron con los agregados de la cantera de Elena de Troya (Km 48-reparticion)



Figura 57: Acopio de agregado grueso de 3/4", Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)



Figura 58: Acopio de agregado fino, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)

2.1.4. Equipo

- Maquinaria pesada: Cargador Frontal 950F
Caterpillar



Figura 59: Cargador frontal, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)

2.1.5. Laboratorio

- Equipo para lavado asfáltico
- Equipo Marshall: Moldes, martillo Compactador y prensa Marshall
- Tamizadores para granulometría
- Cocina para secado de agregado
- Balanzas
- Equipo Baño María



Figura 60: Equipo de lavado asfáltico, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)

2.2. SuperAsfaltos

2.2.1. Planta

- Producción promedia de trabajo: 70 toneladas/hora
- Estado: Malo
- Color: Blanco
- Nro. de tolvas para agregados: 04 tolvas
- Mantenimiento rutinario: Solo si se presentan fallas
- Mantenimiento Periódico: Una semana antes de cada proyecto de asfaltado
- Calibración: Según exigencias del proyecto
- Elementos complementarios:
 - Tanque de combustible de 15 000 litros
 - Tanque de Cemento asfaltico de 35 000 litros
 - Caldero
 - Grupo electrógeno

2.2.2. Personal

- 01 Operador de planta – Capacitado
- 01 Calderista – No capacitado
- 01 Personal de limpieza de fajas – No capacitado
- 01 Operador de cargador frontal – Capacitado
- 01 técnico en laboratorio - presencia no constante

El personal no recibe capacitación constante respecto al material con el que trabajan

2.2.3. Materiales

- Agregado Grueso: Piedra chancada 3/4”
Blakstone, Cantera: Vanessa Alejandra I
- Agregado fino: Arena chancada
Blakstone, Cantera: Vanessa Alejandra I

- Filler: Cemento
Yura
- Cemento asfáltico: PEN 85-100
Repsol – Refinería la Pampilla

Los agregados varían frecuentemente de proveedor, lo que no hace constante y homogéneo el MAC producido en planta, entre estos proveedores se tiene a: Cantera Elena de Troya (I, II, III) Supermix y canteras ubicadas en la repartición en la vía Arequipa-La Joya (Km 48), adicionalmente se presentaron casos en los que se produjo MAC con Cemento asfáltico desconocido (sin ficha técnica).



Figura 61: Acopio de agregado grueso de 3/4", Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019)



Figura 62: Acopio de agregado fino, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019)

2.2.4. Equipo

- Maquinaria pesada: Cargador Frontal
LiuGong



Figura 63: Cargador frontal, Fuente: Planta de asfalto SuperAsfaltos (2019)

2.2.5. Laboratorio

- Equipo para lavado asfáltico
- Equipo Marshall: Moldes, martillo Compactador y prensa Marshall
- Tamizadores para granulometría
- Cocina para secado de agregado
- Balanzas
- Equipo Baño María

3. Evaluación de las Plantas Asfálticas

La evaluación de planta se hará mediante encuestas a los procedimientos de elaboración y ensayos de calidad a los materiales que intervienen en esta, adicionalmente se evaluará si el manejo y la colocación del MAC en obra, así como las vías colocadas anteriormente según el registro con el que cuenta la planta.

Toda esta evaluación se hará según los requerimientos y parámetros que nos exige la norma EG-2013 (Capítulo IV, Pavimentos flexibles – Sección 415 y 423, Disposiciones generales y Pavimento de concreto asfáltico en caliente)

3.1. GyA Contratistas

3.1.1. Producción

La evaluación se medirá en términos de “conformidad” y “no conformidad”

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
1	Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas	X	
2	El agregado estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto.	X	
3	El agregado deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto	X	
4	Para su traslado al sitio de las obras, el filler podrá empacarse en bolsas o a granel.	X	
5	El depósito para el filler suministrado en bolsas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto	X	
6	El abastecimiento de agregado se hará en la misma planta de asfalto utilizando tolvas especiales para el material y sistemas que impidan la pérdida.	X	
7	Cada fracción del agregado se acumulará separadamente de las demás, para evitar contaminaciones al entremezclarse.	X	
8	Si los acopios de agregados se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos.		X
9	Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a 1,5 m, y no por montones cónicos.	X	
10	Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
11	La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50% y el 100% de su capacidad, sin rebosar.		X
12	En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.	X	
13	Realización de ensayos y frecuencias según normas a los agregados	X	
14	Los agregados deben ser acopiados y manipulados con los cuidados correspondientes a fin de evitar su contaminación con tierra vegetal, materia orgánica u otros,	X	
15	Su empleo del cemento asfáltico será según las características climáticas de la región	X	
16	En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del cemento asfáltico con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento.	X	
17	Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del cemento asfáltico	X	
18	El sistema de circulación del cemento asfáltico deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.		X
19	En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.		X
20	Realización de ensayos y frecuencias según normas al cemento asfáltico		X
21	El cemento asfáltico será calentado a una temperatura tal, que se obtenga una viscosidad comprendida entre 170 ± 20 Cst	X	
22	Todo cemento asfáltico que llega a planta debe tener su respectiva ficha técnica dada por el proveedor	X	
23	Se evitara la exposición del cemento asfáltico al ambiente a fin de evitar la introducción de agentes contaminantes		X

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
24	La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.	X	
25	Por cada jornada de trabajo se tomará un mínimo de 2 muestras y se considerará como lote, el tramo constituido por un total de cuando menos seis muestras, las cuales corresponderán a un número entero de jornadas.	X	
26	Realización de ensayos y frecuencias a la mezcla asfáltica según normas	X	
27	La planta asfáltica deberá cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.		X
28	Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición.	X	
29	El sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella.	X	
30	El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.	X	
31	La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados	X	
32	Los dispositivos de dosificación del filler y cemento asfáltico tendrán, como mínimo, una sensibilidad de 0,5 kg.	X	
33	Los dispositivos de la planta deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla	X	
34	El sistema dosificador del cemento asfáltico deberá disponer de instrumentos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo.	X	
35	Se deberá garantizar la distribución homogénea del asfalto en el mezclado y que ésta se efectúe de manera que no exista ningún riesgo de contacto con el fuego, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.	X	
36	El mezclador de la planta será de ejes gemelos.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
37	Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte.	X	
38	En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso y uso del personal debidamente entrenado en la obra.	X	
39	Antes de la instalación de la planta mezcladora, el Contratista deberá solicitar a las autoridades correspondientes, los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.		X
40	Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.		X
41	Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.	X	
42	El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea.	X	
43	Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla.		X
44	La dosificación del filler de recuperación y/o el de aporte, se hará de manera independiente de los agregados.	X	
45	La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al volquete.	X	
46	En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente, a una temperatura superior en más de 5°C a la temperatura del asfalto.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
47	Laboratorio completamente implementado para ensayos de control.	X	
48	A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas.	X	
49	El personal de la planta deberá estar capacitado en seguridad y operación de la planta		X
50	Las tolvas de los volquetes deberán estar limpios y rociados con combustible a fin de evitar que la mezcla asfáltica de adhiera.	X	
51	Control de las temperaturas manualmente en el cargado del MAC al volquete		X

Tabla 15: Evaluación de producción, planta GyA Contratistas, Fuente: propia (2019)

3.1.2. Materiales

Se realizaron todos los ensayos requeridos para MAC para agregados según Norma EG-2013.

El filler utilizado es Filler Silico, Carpetek, Rocatech

A continuación, se muestran los ensayos realizados:

3.1.2.1. Agregado Grueso

El agregado utilizado en la Planta GyA Contratistas es del proveedor SUPERMIX, proveedor por excelencia de la planta y mismos que fueron utilizados al momento de realizarse el estudio.

Agregado: Piedra Chancada 3/4" huso 67.

3.1.2.1.1. Durabilidad (al sulfato de magnesio)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamaño de los tamices	Rango Tabla	Gradación(%)	Peso de las fracciones antes del Ensayo (g)	Peso de las fracciones después del Ensayo (g)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo (%)	Porcentaje de pérdida pesado (%)
25.0 mm (1") 19.0 mm (3/4")	1 1/2" a 3/4"	7.95	1501.2	1457.2	2.9	0.2
19.0 mm (3/4") a 12.5 mm (1/2")	3/4" a 3/8"	74.61	1000.3	972.8	2.7	2.1
12.5 mm (1/2") a 9.5 mm (3/8")	3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N° 4)	3/8" a N° 4	16.92	300.2	293.3	2.3	0.4
					∑ Suma =	2.67

Durabilidad = 2.67 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado grueso (MTC E-209) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 64 y 65: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.2. Abrasión Los Ángeles

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Gradación: B

Tamaño de Mallas		Peso Inicial (g)	Peso Final (gr)	Desgaste (%)
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	0	-	-
1"	3/4"	0		
3/4"	1/2"	2503		
1/2"	3/8"	2500.5		
3/8"	1/4"	0		
1/4"	N° 4	0		
N° 4	N° 8	0		
TOTAL		5003.5		

Abrasión = 16.27 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de abrasión de los ángeles de agregado grueso (MTC E-207) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 66 y 67: Ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.3. Adherencia

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamices		Peso muestra	Masa (Cemento Asfáltico)	Adherencia (estimación visual)
Pasa	retiene			
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	100	5.7	97

Adherencia = 97 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje de partículas revestidas (MTC E-517) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 68 y 69: Ensayo de adherencia, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.4. Índice de Durabilidad

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Gradación		Peso Inicial (g)
Pasante	Retiene	
3/4"	1/2"	1068
1/2"	3/8"	564
3/8"	N° 4	892
TOTAL =		2524

DESCRIPCION	
Tiempo de lavado en Solución	10 min
Tiempo de Decantado	20 min
Altura máxima de decantación (pulg)	0.8
Dc	97

Índice de durabilidad = 97 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de Índice de durabilidad (MTC E-214) para agregados Gruesos de mezclas asfálticas en caliente



Figura 70 y 71: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.5. Partículas chatas y alargadas

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamiz	Peso Retenido (g)	Partículas chatas y Alargadas (g)	% de Partículas chatas y Alargadas	% Retenido de la Granulometría	Promedio Ponderado
3/4"	239.4	0	0.00	4.29	0.00
1/2"	2330.1	17.3	0.74	41.71	30.97
3/8"	1474.1	23.5	1.59	26.39	42.07
N° 4	1542.5		Suma	72.39	73.04
TOTAL =	5586.1				

$$\text{Partículas chatas y Alargadas} = 73.04/72.39 = 1.01 \%$$

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje de partículas chatas y alargadas (MTC E-223) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 72 y 73: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM

(2019)

3.1.2.1.6. Caras fracturadas

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

1 cara fracturada o más/ninguna cara			
Tamiz	Peso Inicial (g)	1 cara fracturada o más (g)	Ninguna Cara Fracturada (g)
Retenido			
Nº 4	1500	1315	185

1 cara fracturada o más = 87.67 %

2 o más caras fracturadas/ninguna o 1 cara fracturada			
Tamiz	Peso Inicial (g)	2 o más caras fracturadas (g)	ninguna o 1 cara fracturada (g)
Retenido			
Nº 4	1500	1203.4	296.6

2 o más caras fracturadas = 80.23 %

Caras fracturadas = 88/80

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje de caras fracturadas (MTC E-210) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 74 y 75: Ensayo de caras fracturadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.7. Sales Solubles Totales

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

ppm	%
2638	0.26

Sales Solubles totales = 0.26 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de sales solubles totales (MTC E-219) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.

Este ensayo no se realizó en las instalaciones de la UCSM ya que no se cuenta con el equipo, se pone en anexos el Certificado de este resultado – Laboratorio “Roberto Cáceres” – Anexo 4.2

3.1.2.1.8. Absorción

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra saturada superficialmente seca	2986.8
2	Muestra Sumergida	1916
3	Muestra secada y enfriada al aire	2971

Absorción = 0.53 %

Anotación:

La muestra es está dentro del requerimiento de absorción (MTC E-206) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 76 y 77: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.1.9. Partículas Deleznables

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamiz		Muestra Inicial (g)	Muestra ensayada (g)	Partículas Desmenuzables (%)
Pasa	Retenido			
3/8"	Nº 4	1103.1	1099.5	0.33
3/4"	3/8"	2152.9	2149.4	0.16
1 1/2"	3/4"	3054.1	3048	0.20

Partículas desmenuzables = 0.21 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje arcilla en terrones y partículas desmenuzables de agregado grueso (MTC E-212) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 78 y 79: Ensayo de partículas deleznables, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2. Agregado Fino

El agregado utilizado en la Planta GyA Contratistas es del proveedor SUPERMIX, proveedor por excelencia de la planta y mismos que fueron utilizados al momento de realizarse el estudio.

Agregado: Arena chancada

3.1.2.2.1. Equivalente de Arena

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Ítem	Lectura	1	2	3
1	Nivel Superior de Fino o Arcilla (pulg)	5.8	6.1	6
2	Nivel Superior de Arena (pulg)	4.1	4.2	4.3
3	Equivalente de Arena (%)	71	69	72
4	Promedio (%)	71.0		

Equivalente de Arena = 71 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de equivalente de arena (MTC E-114) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.

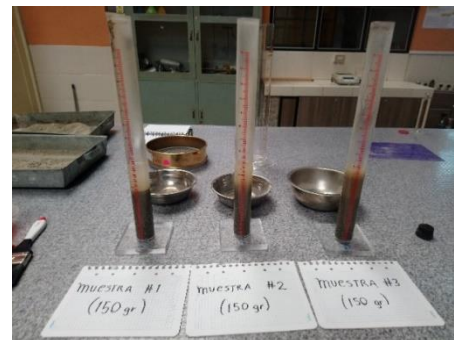


Figura 80 y 81: Ensayo de equivalente de arena, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2.2. Angularidad del agregado fino

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Lectura	1	2
1	Altura de Cilindro (cm)	8.41	
2	Diámetro de Cilindro (cm)	3.996	
3	Volumen de Cilindro (cm ³)	105.47	
4	Peso de muestra (g)	148.9	150.4
5	Angularidad del Agregado (%)	44.45	43.89
6	Promedio (%)	44.2	

Angularidad = 44.2 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de Angularidad del agregado fino (MTC E-222) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 82 y 83: Ensayo de Angularidad, Fuente: Laboratorio de Roberto Cáceres (2019)

3.1.2.2.3. Azul de metileno

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	1
1	Peso de Muestra Seca (g)	10
2	Tiempo total de ensayo (min)	30
3	Volumen de la Solución añadida (ml)	10
4	VA (mg/g)	5

Azul de metileno = 5 mg/g

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de valor de azul de metileno (AASTHO TP-57) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.

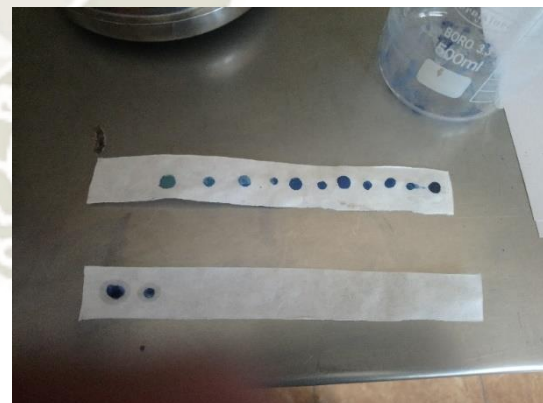


Figura 84 y 85: Ensayo de Azul de metileno, Fuente: Laboratorio de Roberto Cáceres (2019)

3.1.2.2.4. Índice de Plasticidad (malla N° 40)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

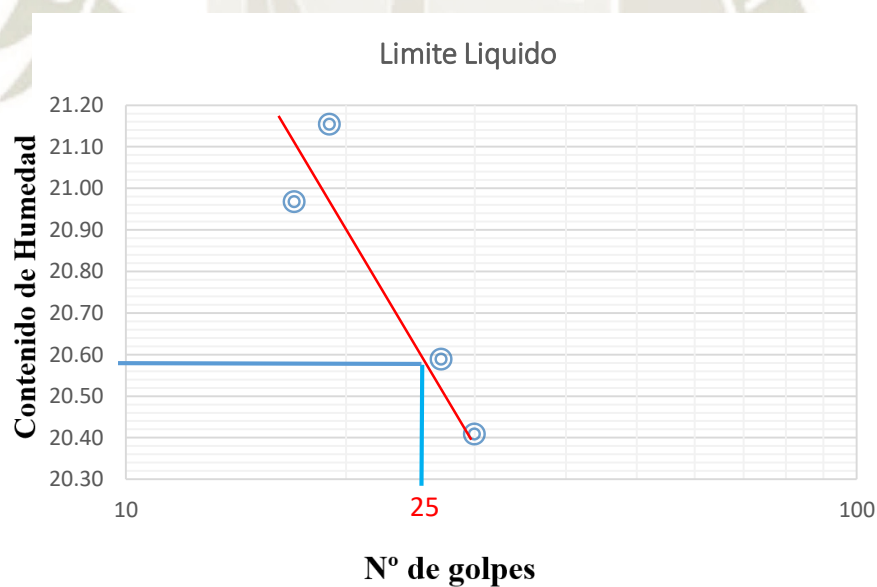
Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	descripción	1	2	3	4
1	Capsula	XXII	XVI	4D	XXXIII
2	Numero de golpes	27	17	19	30
3	Peso de capsula + suelo húmedo (g)	19.30	18.60	17.40	17.00
4	Peso de capsula + suelo seco (g)	17.90	17.30	16.30	16.00
5	Peso del agua (g)	1.40	1.30	1.10	1.00
6	Peso de la capsula (g)	11.10	11.10	11.10	11.10
7	Peso del suelo seco (g)	6.80	6.20	5.20	4.90
8	Contenido de humedad (%)	20.6	21.0	21.2	20.4



Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de limite liquido (E-111) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente



Figura 86.87 y 88: Ensayo de Limite líquido, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2.5. Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamaño de los tamices	Gradación(%)	Peso de las fracciones antes del Ensayo (g)	Peso de las fracciones después del Ensayo (g)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo (%)	Porcentaje de pérdida pesado (%)
600 μm (N° 30) a 300 μm (N° 50)	13.4	100.0	83.9	16.1	2.2
1.18 mm (N° 16) a 600 μm (N° 30)	14.98	100.0	89.7	10.3	1.5
2.36 mm (N° 8) a 1.18 mm (N° 16)	19.38	100.0	89.8	10.2	2.0
4.75 mm (N° 4) a 2.36 mm (N° 8)	19.26	100.0	91.4	8.6	1.7
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N° 4)	1.8	100.0	64.4	35.6	0.6
				Σ Suma =	8.0

Durabilidad = 8 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado fino (MTC E-209) para agregados finos de mezclas asfálticas en caliente.



Figura 89 y 90: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos

UCSM (2019)

3.1.2.2.6. Índice de Durabilidad

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	1	2
1	Muestra de ensayo (g)	500	
2	Nivel Superior de Fino o Arcilla (mm)	101	109
3	Nivel Superior de Arena (mm)	94	99
4	Equivalente de Arena (%)	94.0	91.0
5	Promedio (%)	93.0	

Índice de durabilidad = 93.0 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de índice de durabilidad (MTC E-214) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente



Figura 91 y 92: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2.7. Índice de Plasticidad (malla N° 200)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	descripción	1	2
1	Capsula	XXXIV	XXI
2	Peso de capsula + suelo húmedo (g)	16.60	16.80
3	Peso de capsula + suelo seco (g)	15.78	15.93
4	Peso del agua (g)	0.82	0.87
5	Peso de la capsula (g)	11.20	11.10
6	Peso del suelo seco (g)	4.58	4.83
7	Contenido de humedad (%)	17.9	18.0
8	Promedio (%)	18.0	

Limite plástico = 18 %

Índice de plasticidad = 20.6 - 18 = 2.6 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de índice de plasticidad (MTC E-111) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente



Figura 93 y 94: Ensayo de índice de plasticidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2.8. Sales Solubles Totales

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

ppm	%
3662	0.37

Sales Solubles totales = 0.37 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de sales solubles totales (MTC E-219) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.

Este ensayo no se realizó en las instalaciones de la UCSM ya que no se cuenta con el equipo, se pone en anexos el Certificado de este resultado – Laboratorio “Roberto Cáceres” – Anexo

4.3

3.1.2.2.9. Absorción

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra de Ensayo	500
2	Peso Picnómetro	155.5
3	Volumen Picnómetro	500
4	Peso de frasco+agua+muestra	960.5
5	Agua añadida al picnómetro	305
6	Muestra secada y enfriada al aire	495.6

Absorción = 0.89 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de absorción (MTC E-205) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 95 y 96: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.2.10. Partículas Deleznables

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Supermix

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra de Ensayo	56.37
2	Muestra después del ensayo	56.1

Partículas desmenuzables = 0.48 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje arcilla en terrones y partículas desmenuzables de agregado fino (MTC E-212) para agregados finos en mezclas asfálticas en caliente.

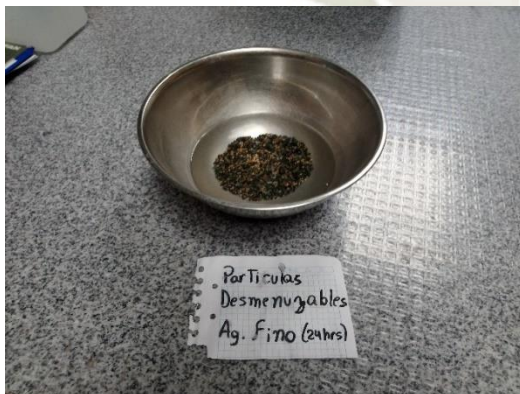


Figura 97 y 98: Ensayo de partículas deleznables, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.1.2.3. Filler

El filler utilizado es Filler Silico, Carpetek, Rocatech

Los 02 requerimientos que tiene la Norma EG-2013 para filler son:

- Densidad aparente : entre 0.5 y 0.8 g/cm³
- Coeficiente de emulsibilidad : inferior a 0.6

A continuación, se muestra la ficha técnica del Filler Carpetek:


		HOJA TÉCNICA	
		CARPETEK Puzolana Micronizada	
Datos Básicos			
Aspecto	Polvo		
Color	Salmón		
Presentación	Bolsa de papel de 50,0 Kg. Bolsa BIG BAG de una tonelada.		
Almacenamiento	Almacenar en un sitio fresco y bajo techo. Protegerlo de la humedad y de la lluvia.		
Datos Técnicos			
Análisis Físico			
Densid. aparente (g/cm ³)	0,5 – 1,1	NT.NLT-176	
Coeficiente emulsividad	0,1 – 0,6	NT.NLT-180	
Retenido tamiz M-200 %	1,8 – 2,7	ASTM D-422	
Retenido tamiz M-325 %	12,0 – 15,0	ASTM D-422	
Peso específico (g/cm ³)	2,0 – 2,5	ASTM D-854	
Humedad (%)	0,2 – 1,0		

Figura 99: Ficha Técnica Carpetek, Fuente: Rocatech (2019)

3.1.2.4. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico utilizado por excelencia es del proveedor Petroperú

PEN: 85-100, Refinería: Conchán

A continuación, se muestra la ficha técnica del Cemento asfáltico PEN 85-100:

PETROLEOS DEL PERÚ PETROPERÚ S.A. LABORATORIO DE REFINERIA TALARA		<p>Este Documento es propiedad de Laboratorio Refinería Talara</p>		<p>PETROPERU Peruanos trabajando por el Desarrollo del País.</p>	
INFORME DE ENSAYO PRODUCTO: PETROPERU ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN					
SOLICITADO POR: UNIDAD SERVICIOS INDUSTRIALES Y ESPECIALIDADES				FECHA DE INGRESO DE MUESTRA: 30/03/2015	
TANQUE DE DESPACHO: 84				01/04/2015	
CLIENTE: UNIDAD SERVICIOS INDUSTRIALES Y ESPECIALIDADES				DIRECCION DEL CLIENTE: AREA INDUSTRIAL REFINERIA TALARA	
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Código de la Muestra : 08575-2015 Cantidad de muestra: 750 mL Tipo de Envase : Botella vidrio				OTRA INFORMACION DE LA MUESTRA: Las muestras fueron tomadas por personal de Movimientos de Productos	
RFTL-LAB-2344-2015					
ENSAYO		Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES MINIMO MAXIMO
PENETRACIÓN					
A 25°C, 100 g, 5s		0.1mm	D-5-06e1	85.0	85 100
VOLATILIDAD					
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta		°C	D-92-05a	300	232 --
Gravedad especifica a 15.6/15.6°C			D-70-03	1.0091	REPORTAR
DUCTILIDAD					
A 25°C, 5 cm/min		cm	D-113-99	> 150	100 --
SOLUBILIDAD					
En tricloroetileno		%masa	D-2042-01	99.8	99.0 --
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754-02		
Perdida por calentamiento		%masa	D-1754-02	0.17	-- 0.8
Penetración retenida , del original		%	D-5-06e1	64.7	47+ --
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min		cm	D-113-99	100	75 --
Indice de susceptibilidad térmica		-	Norma francesa	-0.09	-1.0 +1.0
FLUIDEZ					
Viscosidad cinematica a 100°C			D-2170-01a(2006)	2040	REPORTAR
Viscosidad cinematica a 135°C		cSt	D-2170-01a(2006)	290	170 --
ADHERENCIA					
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado - bitumen,		%	D-3625-96(2005)	+95	REPORTAR
Prueba desprendimiento del agua		-	D-3625-96(2005)	Pasa	REPORTAR
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		°C	D-36-06	49.0	REPORTAR
PRUEBA DE LA MANCHA (OLIENSIS) 30% XILENO			AASHTO T-102-83(04)	NEGATIVO	REPORTAR
OBSERVACIONES :					
1. Los resultados corresponden solo a la muestra analizada.					
2. Gravedad API @ 15, °c=8,7					
3.-Transferencia del tq 363					
PREPARADO POR: NOMBRE: RAFAEL FUJAS S. FUNCION: FICHA 17-00076 RESPONSABLE DE TURNO LABORATORIO REFINERIA RFT FIRMA:			APROBADO POR: NOMBRE: FUNCION: FIRMA:		
RFTLAB-FT-36, Versión: 01			Pág 1/1		

Figura 100: Ficha Técnica PEN 85/100, Fuente: Petroperú (2019)

3.1.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

El control del MAC en planta se hace mediante estas 02 pruebas:

- Temperatura de la mezcla: medida en la tolva del volquete en planta
- Lavado asfáltico: Control del Contenido de asfalto y agregados

A continuación, se muestran los ensayos y controles realizados en Planta

3.1.2.5.1. Temperatura de Mezcla

Para el control de la temperatura del MAC se debe tener como referencia la temperatura de mezcla especificada en la carta Viscosidad-Temperatura proporcionada por el proveedor del cemento asfáltico

A continuación, se muestra el grafico Viscosidad-temperatura del PEN 85/100 proporcionada por Petroperú:

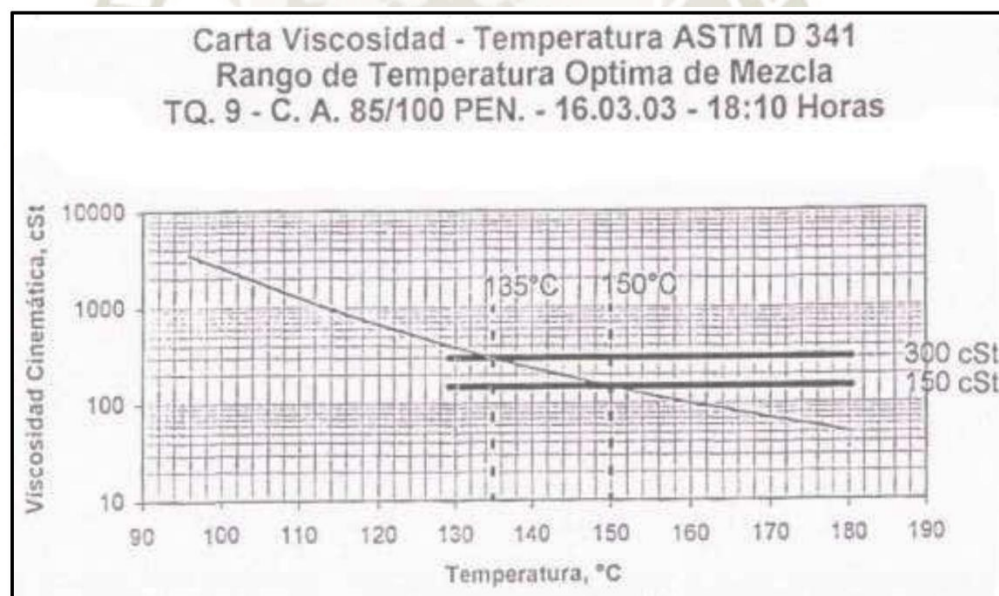


Figura 101: Carta viscosidad-temperatura PEN 85/100, Fuente: Petroperú (2019)

Temperatura de mezclado: **150 °C**

A continuación, se muestra el control de las temperaturas de los volquetes:

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: GyA Contratistas

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Día	Volquete	Volumen	Temperatura (°C)	Promedio
Día 1	Volquete 1	15 m ³	143.7	146.9
	Volquete 2	15 m ³	142.5	
	Volquete 3	15 m ³	145.1	
	Volquete 4	15 m ³	152.5	
	Volquete 5	15 m ³	149.6	
Día 2	Volquete 1	15 m ³	143.9	
	Volquete 2	15 m ³	145.2	
	Volquete 3	15 m ³	151.4	
	Volquete 4	15 m ³	146.9	
	Volquete 5	15 m ³	148.1	

Temperatura promedio = 146.9 °C

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de temperatura solicitado por el proveedor de cemento asfáltico para mezclas asfálticas en caliente.



Figura 102 y 103: Control de temperatura del PEN, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

3.1.2.5.2. Lavado asfáltico

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: GyA Contratistas

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Día =	Día 1		Día 2	
Ensayo =	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso muestra (g) =	1693	1782	1711	1452
Peso de asfalto (g) =	93	99	95	80
Peso de Agregado grueso (g) =	787	830	794	670
Peso de Agregado fino (g) =	813	853	822	702
Contenido de asfalto(%) =	5.5	5.6	5.6	5.5
Contenido de agregado grueso(%) =	46.5	46.6	46.4	46.1
Contenido de agregado fino(%) =	48.0	47.9	48.0	48.3
Promedio asfalto (%) =	5.5			
Promedio agregado grueso (%) =	46.4			
Promedio agregado fino (%) =	48.1			

Contenido de asfalto =	5.5	%
Contenido de agregado grueso =	46.4	%
Contenido de agregado fino =	48.1	%

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento proporciones, según el diseño de mezclas realizado con el mismos agregado y PEN utilizado



Figura 104 y 105: Lavado asfáltico, Fuente: Planta GyA contratistas (2019)

3.1.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica

Para el diseño de la mezcla asfáltica se presenta a continuación los siguientes ensayos:

➤ Granulometría de agregados: Agregado Grueso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje pasante acumulado (%)
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	251.23	7.95	92.05
1/2"	12.7	1683.31	53.26	38.79
3/8"	9.51	674.68	21.35	17.44
#4	4.76	534.77	16.92	0.52
#8	2.36	13.31	0.42	0.10
fondo	0	3.05	0.10	0.00
TOTAL		3160.35		

➤ Granulometría de agregados: Agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje pasante acumulado (%)
#4	4.76	17.98	1.80	98.20
#8	2.38	192.51	19.26	78.95
#10	2	50.38	5.04	73.91
#16	1.19	143.39	14.34	59.56
#20	0.85	78.03	7.80	51.76
#30	0.595	71.77	7.18	44.58
#50	0.297	134.07	13.41	31.17
#60	0.25	37.81	3.78	27.39
#100	0.149	89.10	8.91	18.48
#200	0.074	88.50	8.85	9.62
fondo	0	96.21	9.62	0.00
TOTAL		999.75		

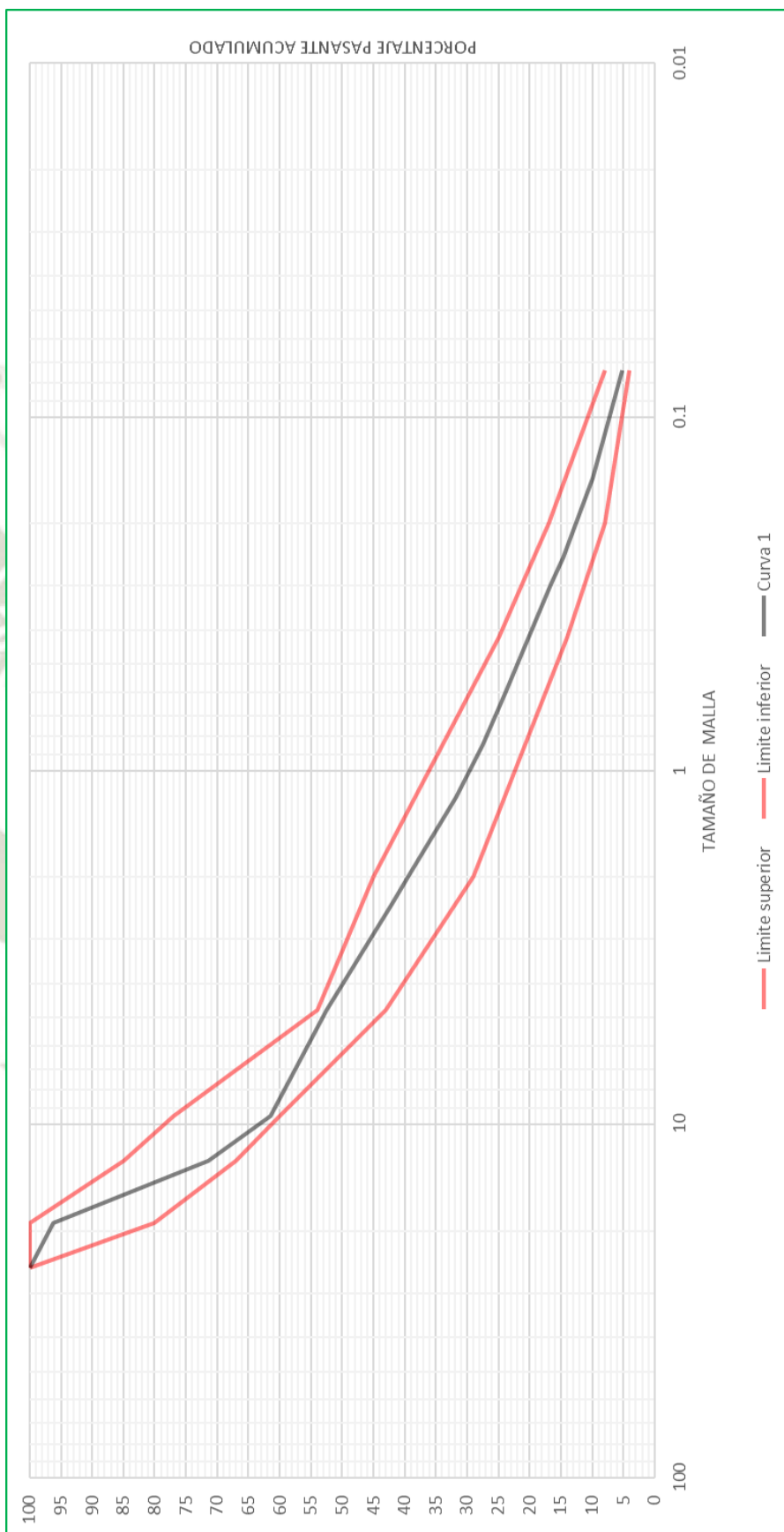
➤ Combinación de agregados

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje pasante acumulado piedra (%)	Porcentaje pasante acumulado arena (%)	Combinación (%)	Norma, límite inferior (%)	Norma, límite superior (%)
1"	25.4	100.00	100	100.00	100	100
3/4"	19.00	92.05	100	96.29	80.00	100.00
1/2"	12.7	38.79	100	71.41	67.00	85.00
3/8"	9.51	17.44	100	61.44	60.00	77.00
#4	4.76	0.52	98.20	52.57	43.00	54.00
#8	2.38	0.10	78.95	42.12	-	-
#10	2.00	0.00	73.91	39.38	29.00	45.00
#16	1.19	0.00	59.56	31.74		
#20	0.85	0.00	51.76	27.58		
#30	0.595	0.00	44.58	23.76		
#50	0.297	0.00	31.17	16.61		
#60	0.25	0.00	27.39	14.59		
#100	0.149	0.00	18.48	9.85		
#200	0.074	0.00	9.62	5.13	4.00	8.00
fondo	0	0.00	0.00	0.00		

En la siguiente grafica se muestra la curva de combinación de agregados delimitado por el huso granulométrico del MAC-1 en el Manual de carreteras (EG-2013).

Podemos corroborar que cumple los requisitos establecidos.

Combinación de Agregados	Cantidad	%
Agregado Grueso	46.71	%
Agregado Fino (Arena)	53.29	%



➤ Gravedad específica

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: GyA Contratistas

Proveedor de agregados: Supermix

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Agregado Grueso		
Ítem	Descripción	Datos
1	Peso de muestra seca (g)	2971
2	Peso sumergido (g)	1916
3	Peso Saturado Superficialmente seco (g)	2986.8
4	Peso Unitario de Agua (g/cm^3)	1.00
5	Peso de tara	0
6	Gravedad específica seca Aparente	2.82
7	Gravedad específica seca Bulk	2.77
8	Gravedad específica saturada Bulk	2.79

Agregado Fino		
Ítem	Descripción	Datos
1	Muestra de ensayo húmeda (g)	500.0
2	Peso fiola+agua+muestra (g)	960.5
3	Peso seco W_o (g)	495.6
4	Volumen fiola V (cm^3)	500.0
5	Peso de agua añadida a fiola V_a	305.0
6	Gravedad Específica Seca Aparente	2.54
7	Gravedad Específica Seca Bulk	2.60

- Diseño de Mezclas Marshall

Planta: GyA Contratistas

Proveedor de agregados: Supermix

Cemento asfáltico: PEN 85/100

Mezcla asfáltica: MAC-1

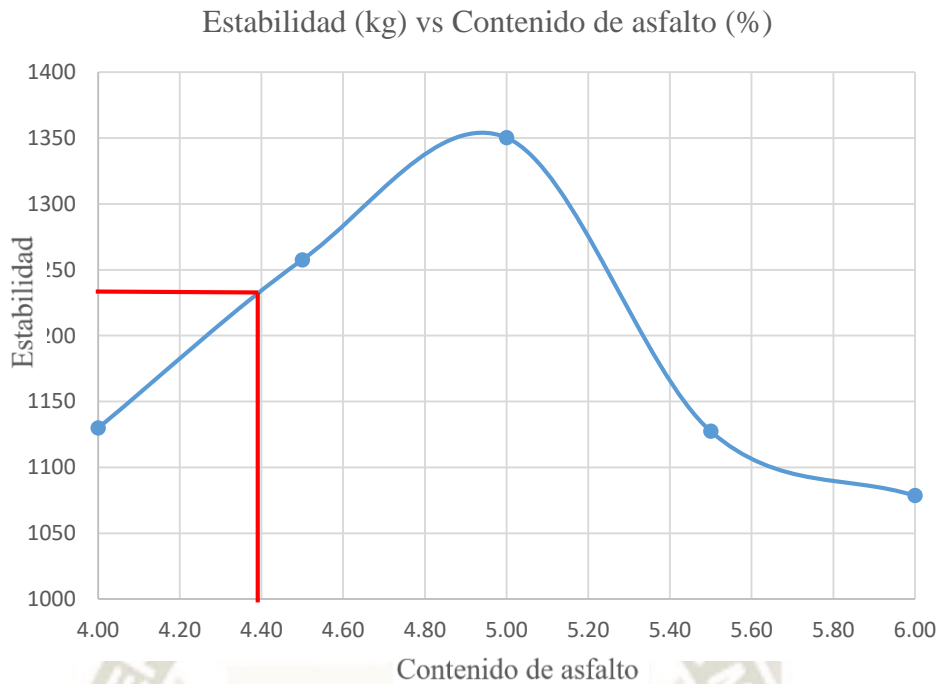
Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

En el Anexo 4.6 se muestra la hoja de cálculo para el diseño de mezcla asfáltica – Marshall
– GyA Contratistas

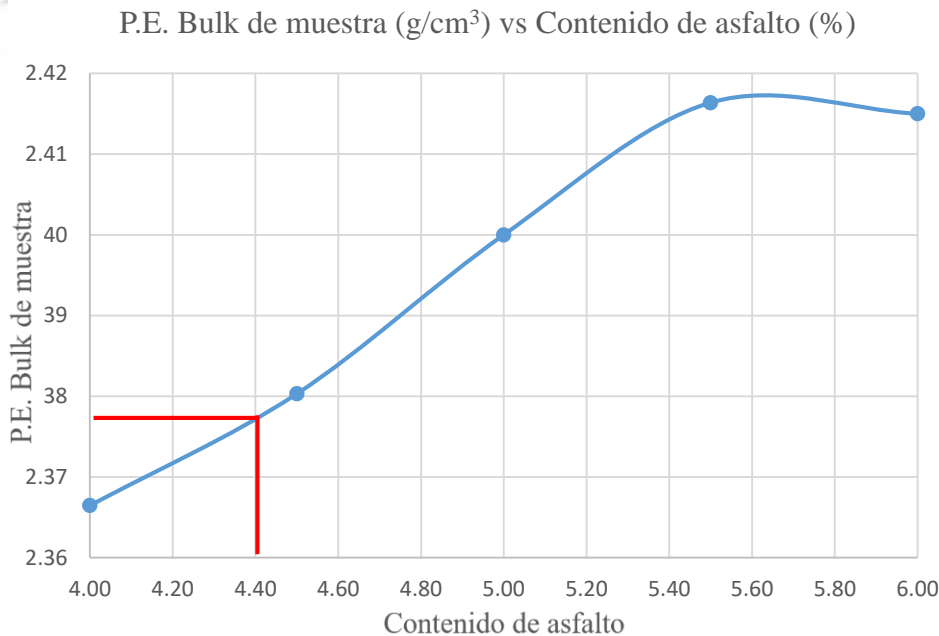
- Resultados:

Características de la Mezcla Asfáltica	Unidad	Cantidad
Contenido Optimo de Asfalto PEN 85-100	%	4.40
Agregado Grueso	%	44.65
Agregado Fino (Arena)	%	50.95
Peso Específico de la Mezcla Asfáltica Compactada	g/cm ³	2.378
% de Vacíos del total de la mezcla VTM	%	4.7
% de Vacíos llenos con Asfalto VFA	%	72
Vacíos del Agregado Mineral VMA	%	16.55
Flujo	x 0.01"	13.75
Estabilidad	KN	12.12
Temperatura de Mezcla	°C	150
Relación Polvo - Asfalto	-	1.11
Relación Estabilidad/flujo	kg/cm ²	3593
Resistencia a la compresión MP _a min	MPa	2.18
Resistencia retenida	kg	1143
Resistencia retenida	%	93

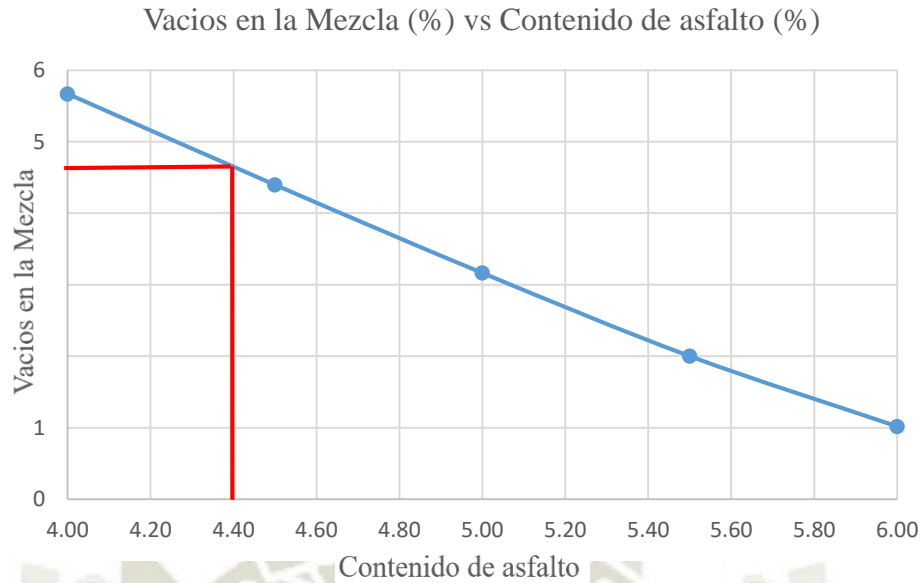
➤ Gráficos para la determinación del contenido óptimo de asfalto



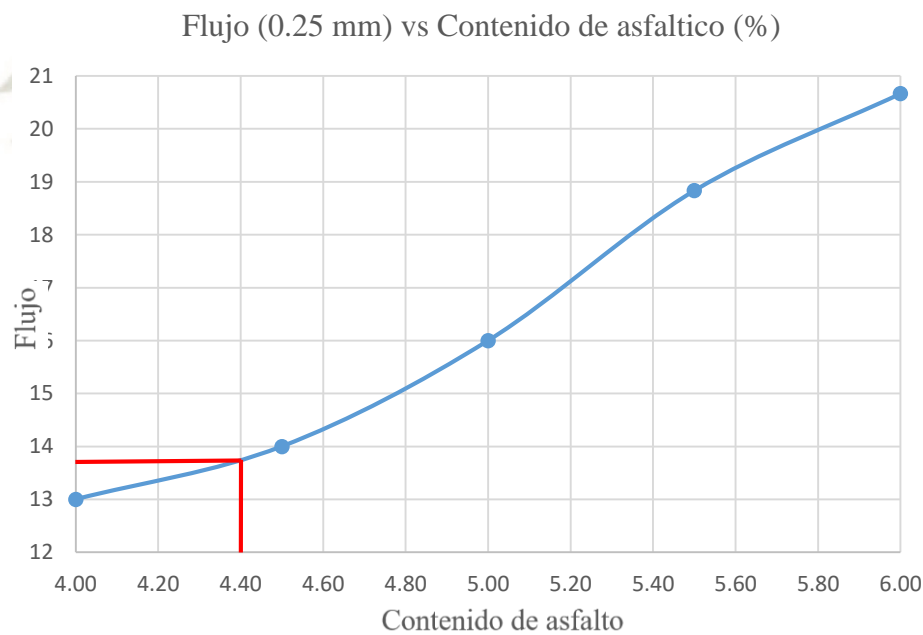
El manual de carreteras (EG-2013) establece que la estabilidad mínima para un MAC-1 debe ser 8.15 KN (831 kg), por lo que todos los puntos son aceptables.



El manual de carreteras (EG-2013) no establece un parámetro para el Peso específico bulk, por lo que todos los puntos son aceptables.

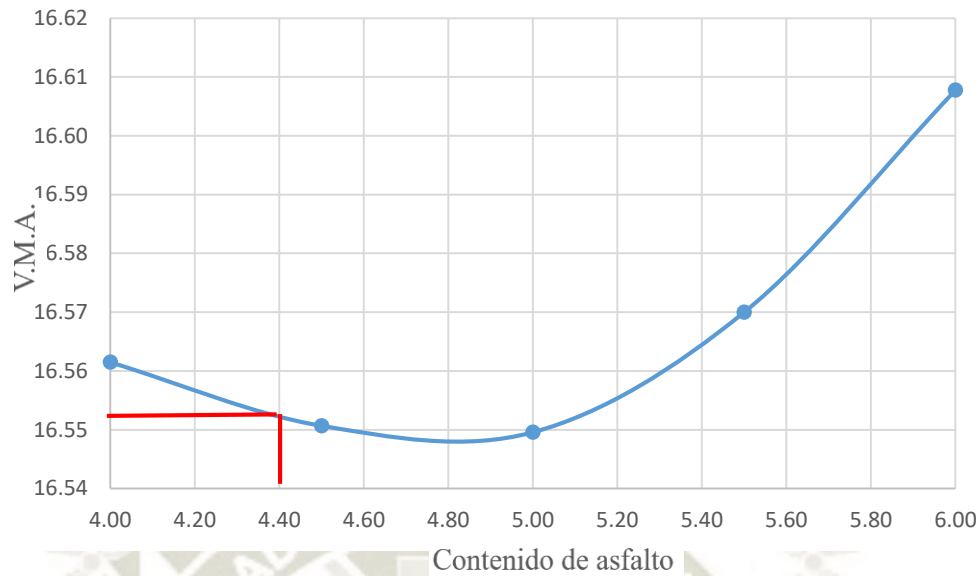


El manual de carreteras (EG-2013) establece que el porcentaje de vacíos para un MAC-1 debe estar entre 3 y 5, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4.25 y 5.05



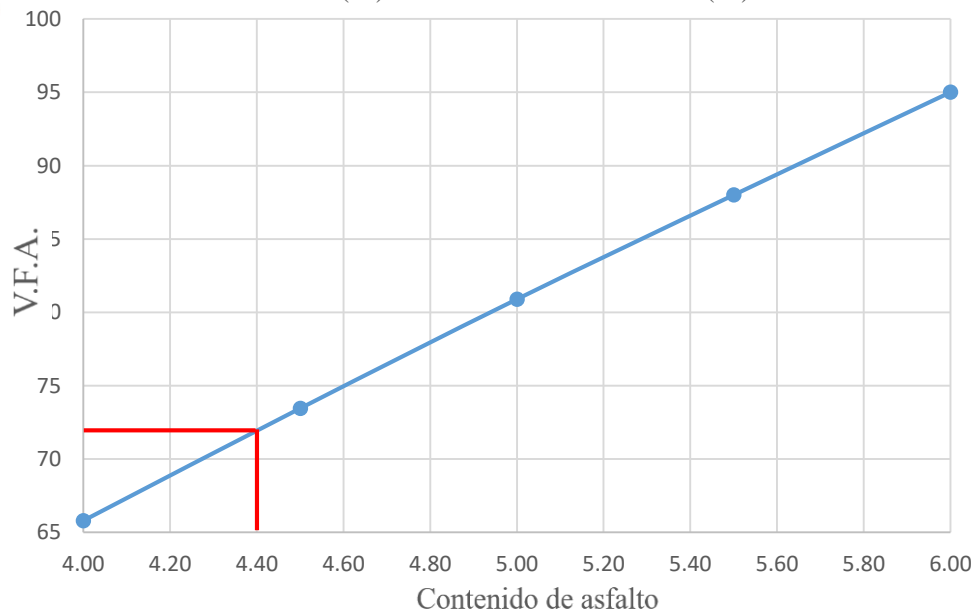
El manual de carreteras (EG-2013) establece que el flujo para un MAC-1 debe estar entre 8 y 14, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4 y 4.5

V.M.A. (%) vs Contenido de asfalto (%)



El manual de carreteras (EG-2013) establece que el VMA mínimo para un MAC-1 debe ser 14 %, por lo que todos los puntos son aceptables.

V.F.A. (%) vs Contenido de asfalto (%)



El manual de carreteras (EG-2013) establece que el VFA para un MAC-1 debe estar entre 65 y 75, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4.0 y 4.6



Figura 106 y 107: Diseño de mezclas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos, UCSM (2019)

3.1.3. Colocación

Para corroboración de un correcto proceso constructivo en el asfaltado, se evaluará la vía ejecutada por el contratista quien solita el MAC.

Contratista: GyA Contratistas (titular de la planta)

Proyecto: “Mejoramiento de la transitabilidad peatonal y vehicular de la vía principal Tahuaycani, distrito de Sachaca - Arequipa”

La evaluación se medirá en términos de “conformidad” y “no conformidad”

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
1	La pavimentadora poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar.	X	
2	La pavimentadora estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
3	El mecanismo de accionamiento de los transportadores de cadena de la pavimentadora no deberá producir segregación física central.	X	
4	La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formas.	X	
5	La plancha y las extensiones de la pavimentadora deberán contar con sistema de calentamiento uniforme.	X	
6	La pavimentadora deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.		X
7	Se evitará todo tipo de derrames durante la descarga de la mezcla a la tolva	X	
8	Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático.	X	
9	Los compactadores deberán poseer controladores de vibración y de frecuencia independientes.	X	
10	Los rodillos neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslape de las huellas delanteras y traseras	X	
11	Se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.	X	
12	Las mezclas asfálticas calientes se colocarán cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura ambiental sea superior a 6°C, y no haya precipitaciones pluviales; además la base preparada debe estar en condiciones satisfactorias	X	
13	Al asfaltar se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material,	X	
14	Durante el extendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar la segregación.	X	
15	La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario.	X	
16	Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.	X	
17	Proceso constructivo según normas: Compactación inicial, zona tierna, compactación intermedia y compactación final.		X
18	Control y frecuencia de las temperaturas de llegada.		X

Tabla 16: Evaluación de colocación del MAC, planta GyA Contratistas, Fuente: propia (2019)

A continuación, se muestran las fotos del control del proceso de asfaltado:



Figura 108 y 109: Asfaltado de vía, Vía Tahuaycani, Fuente: Sachaca (2019)

3.1.4. Vías ejecutadas

Para el control de vías asfaltadas anteriormente, se extrajeron muestras de diamantina a 04 vías asfaltadas, según la información proporcionada por las plantas asfálticas.

- Mejoramiento de la vía principal Tahuaycani
- Mejoramiento del acceso - Puente vallecito
- Pavimentación de los accesos del puente Chilina
- Pavimentación de la vía principal las Américas

A continuación, se muestra el ensayo de las muestras de diamantina:

- Extracción de diamantinas de asfalto y ensayo Marshall

	Estabilidad Promedio (kg)	Flujo promedio (0.25 mm)
Tahuaycani	1267.87	27.25
Vallecito	238.89	20.0
Puente Chilina	360.86	20.05
Las Américas	388.55	18.65

Nro. de briquetas	Tahuaycani		Vallecito	
	1	2	1	2
% de asfalto en peso de la mezcla	5.5	5.5	5.6	5.6
% de agregado grueso en peso de la mezcla	46.4	46.4	45.1	45.2
% de agregado fino en peso de la mezcla	48.1	48.1	49.3	49.2
% de filler en peso de la mezcla	0	0	0	0
Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	1.0202	1.0202
Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80	2.80
Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57	2.57
Peso específico del filler	1	1	1	1
Altura promedio de la briqueta (cm)	6.26	7.11	6.42	6.63
Peso de la briqueta al aire (g)	1239.05	1397.27	1084.5 4	1110.2 2
Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1260.05	1414.23	1102.5 3	1130.1 4
Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	715	801	562	570
Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	545.05	613.23	540.53	560.14
Peso de la parafina (11-10)	21	16.96	17.99	19.92
Volumen parafina (14/PE de la parafina)	24.71	19.95	21.16	23.44
Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	520.34	593.28	519.37	536.70
Volumen geométrico (9×81.07)	507.30	576.00	520.27	537.29
Volumen adoptado	507.30	576.00	519.37	536.70
Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.44	2.43	2.09	2.07
PE máx. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.46	2.46	2.45	2.45
% de vacíos = $100 \times (20-19)/20$	0.59	1.27	14.80	15.61
Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	1296.4	1430.7
Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)			245.6	249
Estabilidad corregida (22*23)			1	0.93
Flujo			1348.26	1187.48
Peso específico bulk de los áridos (ecuación)			245.60	231.57
V.M.A. = $100/((2+3) \times 19)/26$			29.2	25.3
Vacíos llenados con C.A. = $100 \times (27-21)/27$			19.8	20.2
			2.66	2.66
			16.29	16.40
			19.07	19.25
			96.36	92.25
			22.38	18.92
PE Parafina =			0.85	

Nro. de briquetas	Puente Chilina		Las Américas			
	1	2	1	2		
% de asfalto en peso de la mezcla	5.8	5.8	5.6	5.6		
% de agregado grueso en peso de la mezcla	44.3	44.3	45.6	45.4		
% de agregado fino en peso de la mezcla	49.9	49.9	48.8	49.0		
% de filler en peso de la mezcla	0	0	0	0		
Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	1.0202	1.0202		
Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80	2.80		
Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57	2.57		
Peso específico del filler	1	1	1	1		
Altura promedio de la briketa (cm)	7.11	5.99	6.52	6.39		
Peso de la briketa al aire (g)	1289.44	1119.59	1142.11	1238.8		
Peso de la briketa más parafina al aire (g)	1306.72	1141.93	1160.11	1258.9		
Peso de la briketa más parafina al agua (g)	711	622	640.5	712.7		
Volumen de la briketa más la parafina (11-12)	595.72	519.93	519.61	546.2		
Peso de la parafina (11-10)	17.28	22.34	18	20.1		
Volumen parafina (14/PE de la parafina)	20.33	26.28	21.18	23.65		
Volumen briketa por desplazamiento (13-15)	575.39	493.65	498.43	522.55		
Volumen geométrico (9×81.07)	576.00	485.41	528.78	518.04		
Volumen adoptado	575.39	485.41	498.43	518.04		
Peso específico bulk de la briketa (10/18)	2.24	2.31	2.29	2.39		
PE máx. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.44	2.44	2.45	2.45		
% de vacíos = $100 \times (20-19)/20$	8.25	5.56	6.55	2.46		
Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	446.4	322.2	410.2	350.5
Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.83	1.09	1.04	1		
Estabilidad corregida (22*23)	370.51	351.20	426.61	350.50		
Flujo	19	21.1	19.1	18.2		
Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66	2.66		
V.M.A. = $100/((2+3) \times 19)/26$	17.81	17.30	17.38	16.65		
Vacíos llenados con C.A. = $100 \times (27-21)/27$	53.69	67.84	62.32	85.25		



figura 110



figura 111



figura 112

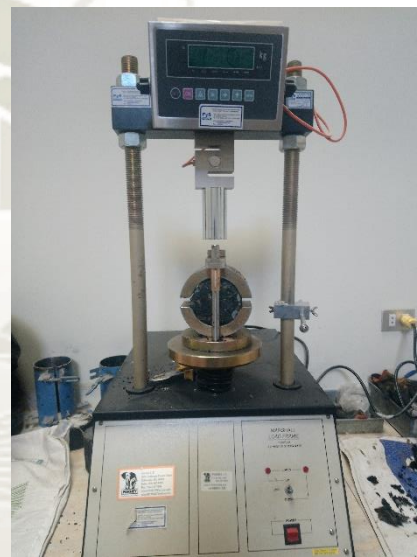


figura 113

Figura 110,111,112 y 113: Extracción de diamantinas de asfalto y rotura de probetas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos, UCSM (2019)

Anotación:

Ninguna de las muestras de diamantina cumple las solicitudes especificadas para Mezclas asfálticas en caliente, esta deficiencia se debe a no conformidades puntuales, como flujo, % de vacíos, que se veras más detalle en los resultados.

➤ Lavado asfáltico

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: GyA Contratistas

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Proyecto =	Tahuaycani		Vallecito	
Probeta =	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Peso briqueta (g) =	1239.05	1397.27	1084.54	1110.22
Peso de asfalto (g) =	68	77	61	62
Peso de Agregado grueso (g) =	575	649	489	502
Peso de Agregado fino (g) =	596.05	671.27	534.54	546.22
Contenido de asfalto(%) =	5.5	5.5	5.6	5.6
Contenido de agregado grueso(%) =	46.4	46.4	45.1	45.2
Contenido de agregado fino(%) =	48.1	48.0	49.3	49.2
Promedio asfalto (%) =	5.5		5.6	
Promedio agregado grueso (%) =	46.4		45.2	
Promedio agregado fino (%) =	48.1		49.2	

Proyecto =	Puente Chilina		Las Américas	
Probeta =	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Peso briqueta (g) =	1289.44	1119.59	1142.11	1238.8
Peso de asfalto (g) =	75	65	64	69
Peso de Agregado grueso (g) =	571	496	521	563
Peso de Agregado fino (g) =	643.44	558.59	557.11	606.8
Contenido de asfalto(%) =	5.8	5.8	5.6	5.6
Contenido de agregado grueso(%) =	44.3	44.3	45.6	45.4
Contenido de agregado fino(%) =	49.9	49.9	48.8	49.0
Promedio asfalto (%) =	5.8		5.6	
Promedio agregado grueso (%) =	44.3		45.5	
Promedio agregado fino (%) =	49.9		48.9	

	Contenido de asfalto (%)	Contenido de Agregado grueso (%)	Contenido de Agregado fino (%)
Tahuaycani	5.5	46.4	48.1
Vallecito	5.6	45.2	49.2
Puente Chilina	5.8	44.3	49.9
Las Américas	5.6	45.5	48.9



Figura 114 y 115: Lavado asfáltico, Fuente: Planta de asfalto GyA contratistas (2019)

Anotación:

Las proporciones de los componentes de las mezclas no concuerdan con los resultados del diseño de mezclas proporcionado anteriormente.

3.2. SuperAsfaltos

3.2.1. Producción

La evaluación se medirá en términos de “conformidad” y “no conformidad”

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
1	Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas	X	
2	El agregado estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto.		X
3	El agregado deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto	X	
4	Para su traslado al sitio de las obras, el filler podrá empacarse en bolsas o a granel.		X
5	El depósito para el filler suministrado en bolsas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto		X
6	El abastecimiento agregado se hará en la misma planta de asfalto utilizando tolvas especiales para el material y sistemas que impidan la pérdida.	X	
7	Cada fracción del agregado se acumulará separadamente de las demás, para evitar contaminaciones al entremezclarse.	X	
8	Si los acopios de agregados se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos.		X
9	Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a 1,5 m, y no por montones cónicos.	X	
10	Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
11	La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50% y el 100% de su capacidad, sin rebosar.		X
12	En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.	X	
13	Realización de ensayos y frecuencias según normas a los agregados		X
14	Los agregados deben ser acopiados y manipulados con los cuidados correspondientes a fin de evitar su contaminación con tierra vegetal, materia orgánica u otros,	X	
15	Su empleo del cemento asfáltico será según las características climáticas de la región	X	
16	En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del cemento asfáltico con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento.	X	
17	Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del cemento asfáltico	X	
18	El sistema de circulación del cemento asfáltico deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.		X
19	En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.		X
20	Realización de ensayos y frecuencias según normas al cemento asfáltico		X
21	El cemento asfáltico será calentado a una temperatura tal, que se obtenga una viscosidad comprendida entre 170 ± 20 Cst	X	
22	Todo cemento asfáltico que llega a planta debe tener su respectiva ficha técnica dada por el proveedor		X
23	Se evitara la exposición del cemento asfáltico al ambiente a fin de evitar la introducción de agentes contaminantes		X

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
24	La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.		X
25	Por cada jornada de trabajo se tomará un mínimo de 2 muestras y se considerará como lote, el tramo constituido por un total de cuando menos seis muestras, las cuales corresponderán a un número entero de jornadas.	X	
26	Realización de ensayos y frecuencias a la mezcla asfáltica según normas	X	
27	Las planta asfáltica deberá cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.		X
28	Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición.	X	
29	El sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella.	X	
30	El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.	X	
31	La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados	X	
32	Los dispositivos de dosificación del filler y cemento asfáltico tendrán, como mínimo, una sensibilidad de 0,5 kg.	X	
33	Los dispositivos de la planta deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla	X	
34	El sistema dosificador del cemento asfáltico deberá disponer de instrumentos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo.	X	
35	Se deberá garantizar la distribución homogénea del asfalto en el mezclado y que ésta se efectúe de manera que no exista ningún riesgo de contacto con el fuego, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.	X	
36	El mezclador de la planta será de ejes gemelos.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
37	Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte.	X	
38	En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso y uso del personal debidamente entrenado en la obra.	X	
39	Antes de la instalación de la planta mezcladora, el Contratista deberá solicitar a las autoridades correspondientes, los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.		X
40	Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.		X
41	Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.		X
42	El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea.	X	
43	Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla.		X
44	La dosificación del filler de recuperación y/o el de aporte, se hará de manera independiente de los agregados.	X	
45	La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al volquete.	X	
46	En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente, a una temperatura superior en más de 5°C a la temperatura del asfalto.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
47	Laboratorio completamente implementado para ensayos de control.	X	
48	A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas.	X	
49	El personal de la planta deberá estar capacitado en seguridad y operación de la planta		X
50	Las tolvas de los volquetes deberán estar limpios y rociados con combustible a fin de evitar que la mezcla asfáltica de adhiera.		X
51	Control de las temperaturas manualmente en el cargado del MAC al volquete		X

Tabla 17: Evaluación de producción, planta SuperAsfaltos, Fuente: propia (2019)

3.2.2. Materiales

Se realizaron todos los ensayos requeridos para MAC para agregados según Norma EG-2013.

No se utilizó filler para la producción en planta cuando se realizó la visita a planta, pero por motivos de diseño de mezclas se utilizó Carpetek

A continuación, se muestran los ensayos realizados:

3.2.2.1. Agregado Grueso

El agregado utilizado en la Planta SuperAsfaltos es del proveedor BLAKSTONE, proveedor por excelencia de la planta y mismos que fueron utilizados al momento de realizarse el estudio.

Agregado: Piedra Chancada 3/4”

3.2.2.1.1. Durabilidad (al sulfato de magnesio)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamaño de los tamices	Rango Tabla	Gradación (%)	Peso de las fracciones antes del Ensayo (g)	Peso de las fracciones después del Ensayo (g)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo (%)	Porcentaje de pérdida pesado (%)
25.0 mm (1") 19.0 mm (3/4")	1 1/2" a 3/4"	2.92	1506.9	1499.7	0.5	0.0
19.0 mm (3/4") a 12.5 mm (1/2")	3/4" a 3/8"	61.05	1001.1	991.2	1.0	0.6
12.5 mm (1/2") a 9.5 mm (3/8")	3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (Nº 4)	3/8" a Nº 4	34.57	301.4	297.8	1.2	0.4
Σ Suma =						1.03

Durabilidad = 1.03 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado grueso (MTC E-209) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 116 y 117: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.2. Abrasión Los Ángeles

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Gradación: B

Tamaño de Mallas		Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (%)
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	0	-	-
1"	3/4"	0		
3/4"	1/2"	2502.0		
1/2"	3/8"	2500.8		
3/8"	1/4"	0		
1/4"	Nº 4	0		
Nº 4	Nº 8	0		
TOTAL =		5002.8		

Abrasión = 16.18 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de abrasión de los ángeles de agregado grueso (MTC E-207) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 118 y 119: Ensayo de abrasión de los ángeles, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM

(2019)

3.2.2.1.3. Adherencia

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamices		Peso muestra	Masa (Cemento Asfáltico)	Adherencia (estimación visual)
Pasa	retiene			
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	100	5.6	85

Adherencia = 85 %

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de porcentaje de partículas revestidas (MTC E-517) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 120 y 121: Ensayo de adherencia, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.4. Índice de Durabilidad

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Gradación		Peso Inicial (g)
Pasante	Retiene	
3/4"	1/2"	1047.5
1/2"	3/8"	558.2
3/8"	N° 4	896.1
TOTAL =		2501.8

DESCRIPCION	
Tiempo de lavado en Solución	10 min
Tiempo de Decantado	20 min
Altura máxima de decantación (pulg)	0.05
Índice de durabilidad (Dc)	98

Índice de durabilidad = 98 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de Índice de durabilidad (MTC E-214) para agregados Gruesos de mezclas asfálticas en caliente

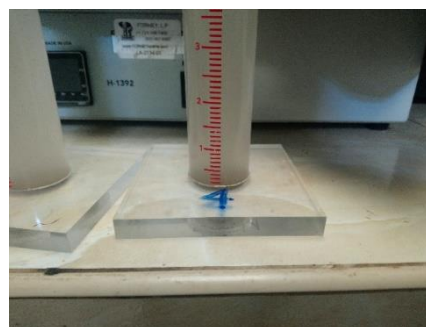


Figura 122 y 123: Ensayo de Índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.5. Partículas chatas y alargadas

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamiz	Peso Retenido (g)	Partículas chatas y Alargadas (g)	% de Partículas chatas y Alargadas	% Retenido de la Granulometría	Promedio Ponderado
3/4"	322.67	23.58	7.31	5.82	42.55
1/2"	2419.25	59.39	2.45	43.65	107.16
3/8"	1256.3	81.9	6.52	22.67	147.78
Nº 4	1543.8		Suma =	72.14	297.49
TOTAL =	5542.02				

Partículas chatas y Alargadas = $297.49/72.14 = 4.1 \%$

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje de partículas chatas y alargadas (MTC E-223) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.

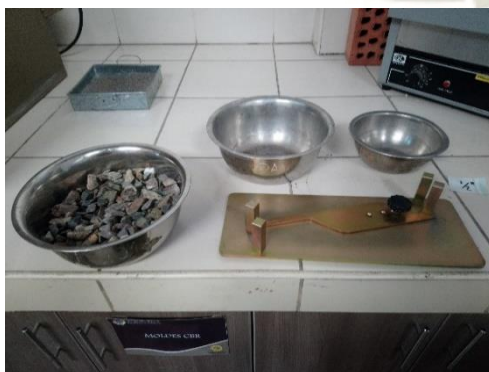


Figura 124 y 125: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM

(2019)

3.2.2.1.6. Caras fracturadas

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

1 cara fracturada o más/ninguna cara			
Tamiz	Peso Inicial (gr)	1 cara fracturada o más (g)	Ninguna Cara Fracturada (g)
Retenido			
Nº 4	1710.41	1612.85	97.31

1 cara fracturada o más = **94.31** %

2 o más caras fracturadas/ninguna o 1 cara fracturada			
Tamiz	Peso Inicial (gr)	2 o más caras fracturadas (g)	ninguna o 1 cara fracturada (g)
Retenido			
Nº 4	1710.41	1526.77	183.32

2 o más caras fracturadas = **89.28** %

Caras fracturadas = 94/89

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje de caras fracturadas (MTC E-210) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 126 y 127: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos

UCSM (2019)

3.2.2.1.7. Sales Solubles Totales

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

ppm	%
5550	0.56

Sales Solubles totales = 0.56 %

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de sales solubles totales (MTC E-219) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.

Este ensayo no se realizó en las instalaciones de la UCSM ya que no se cuenta con el equipo, se pone en anexos el Certificado de este resultado – Laboratorio “Roberto Cáceres” – Anexo 4.4

3.2.2.1.8. Absorción

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra saturada superficialmente seca	2981.5
2	Muestra Sumergida	1841
3	Muestra secada y enfriada al aire	2931

Absorción = 1.72 %

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de absorción (MTC E-206) para agregados Gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 128 y 129: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.9. Partículas Deleznables

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Grueso

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamiz		Muestra Inicial (g)	Muestra ensayada (g)	Partículas Desmenuzables (%)
Pasa	Retenido			
3/8"	Nº 4	979.8	976.5	0.34
3/4"	3/8"	1977.3	1973	0.22
1 1/2"	3/4"	3044.8	3035.7	0.30

Partículas desmenuzables = 0.28 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje arcilla en terrones y partículas desmenuzables de agregado grueso (MTC E-212) para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 130 y 131: Ensayo de partículas deleznables, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM

(2019)

3.2.2.2. Agregado Fino

3.2.2.1.10. Equivalente de Arena

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Lectura	1	2	3
1	Nivel Superior de Fino o Arcilla (pulg)	5	5.81	5.15
2	Nivel Superior de Arena (pulg)	4	4.3	4.02
3	Equivalente de Arena (%)	80	75	79
4	Promedio (%)	78		

Equivalente de Arena = 78 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de equivalente de arena (MTC E-114) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 132 y 133: Ensayo de equivalente de arena, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.11. Angularidad del agregado fino

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Gs = 2.55 g/cm³

Ítem	Lectura	1	2
1	Altura de Cilindro (cm)	8.41	
2	Diámetro de Cilindro (cm)	3.996	
3	Volumen de Cilindro (cm ³)	105.47	
4	Peso de muestra (g)	139.9	139.1
5	Angularidad del Agregado (%)	47.89	48.19
6	Promedio (%)	48.0	

Angularidad = 48 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de Angularidad del agregado fino (MTC E-222) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 134 y 135: Ensayo de Angularidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.12. Azul de metileno

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	datos
1	Peso de Muestra Seca (g)	10
2	Tiempo total de ensayo (min)	30
3	Volumen de la Solución añadida (ml)	7
4	VA (mg/g)	3.5

Azul de metileno = 3.5 mg/g

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de valor de azul de metileno (AASTHO TP-57) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente

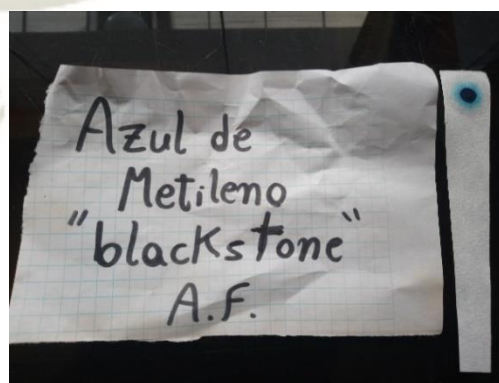
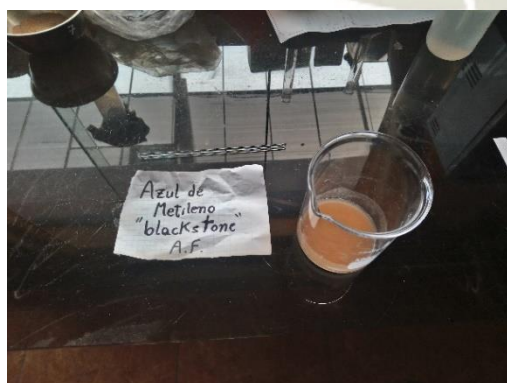


Figura 136 y 137: Ensayo de Azul de metileno, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.13. Índice de Plasticidad (malla N° 40)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

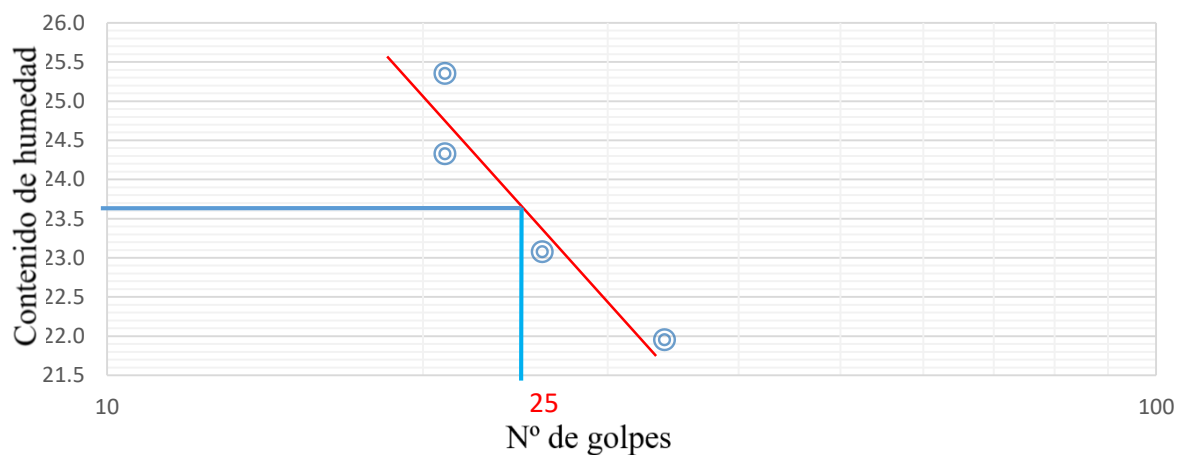
Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	descripción	1	2	3	4
1	Capsula	A	B	C	D
2	Nro. de golpes	21	34	21	26
3	Peso de capsula + suelo húmedo (g)	24.5	25.5	24.6	24.9
4	Peso de capsula + suelo seco (g)	22.7	23.7	22.8	23.1
5	Peso del agua (g)	1.8	1.8	1.8	1.8
6	Peso de la capsula (g)	15.6	15.5	15.4	15.3
7	Peso del suelo seco (g)	7.1	8.2	7.4	7.8
8	Contenido de humedad (%)	25.4	22	24.3	23.1

Limite Liquido



Limite Liquido = 23.6 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de limite liquido (E-111) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente

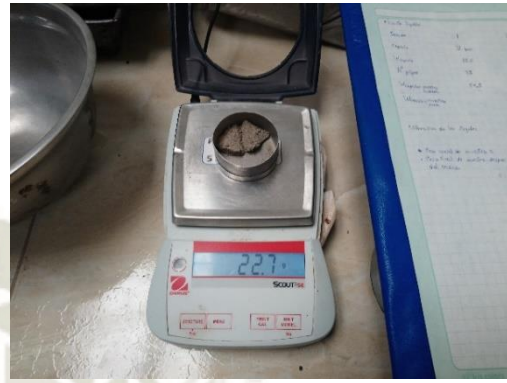


Figura 138,139 y 140: Ensayo de limite líquido, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.14. Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Tamaño de los tamices	Gradación (%)	Peso de las fracciones antes del Ensayo (g)	Peso de las fracciones después del Ensayo (g)	Porcentaje que pasa por los tamices después del ensayo (%)	Porcentaje de pérdida pesado (%)
600 μm (N° 30) a 300 μm (N° 50)	14.5	100	97.5	2.5	0.4
1.18 mm (N° 16) a 600 μm (N° 30)	7.35	100	98.8	1.2	0.1
2.36 mm (N° 8) a 1.18 mm (N° 16)	8.84	100	97.7	2.3	0.2
4.75 mm (N° 4) a 2.36 mm (N° 8)	13.53	100	99.8	0.2	0.0
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N° 4)	14	100	99.1	0.9	0.1
Σ Suma =					0.8

Durabilidad = 0.8 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado fino (MTC E-209) para agregados finos de mezclas asfálticas en caliente.



Figura 141 y 142: Ensayo de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.15. Índice de Durabilidad

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	1	2	3
1	Muestra de ensayo (g)	450.04		
2	Nivel Superior de Fino o Arcilla (pulg)	5.25	5.2	5.18
3	Nivel Superior de Arena (pulg)	4.8	4.7	4.45
4	Equivalente de Arena (%)	92	91	86
5	Promedio (%)	90		

Índice de durabilidad = 90 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de índice de durabilidad (MTC E-214) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente



Figura 143: Ensayo de índice de durabilidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.16. Índice de Plasticidad (malla N° 200)

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	descripción	1	2
1	Capsula	A	B
2	Peso de capsula + suelo húmedo (g)	22.9	23.2
3	Peso de capsula + suelo seco (g)	21.7	21.8
4	Peso del agua (g)	1.2	1.4
5	Peso de la capsula (g)	15.40	15.50
6	Peso del suelo seco (g)	6.30	6.30
7	Contenido de humedad (%)	19	22.2
8	Promedio (%)	20.6	

Limite plástico = 20.6 %

Índice de plasticidad = 23.6 – 20.6 = 3 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de índice de plasticidad (MTC E-111) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente

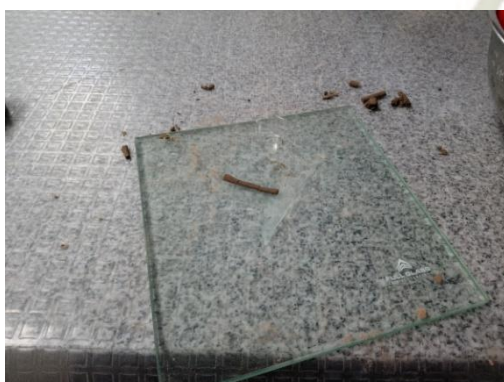


Figura 144 y 145: Ensayo de índice de plasticidad, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.1.17. Sales Solubles Totales

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

ppm	%
10388	1.04

Sales Solubles totales = 1.04 %

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de sales solubles totales (MTC E-219) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.

Este ensayo no se realizó en las instalaciones de la UCSM ya que no se cuenta con el equipo, se pone en anexos el Certificado de este resultado – Laboratorio “Roberto Cáceres” – Anexo 4.5

3.2.2.2.1. Absorción

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra de Ensayo	500
2	Peso Picnómetro	186
3	Volumen Picnómetro	500.8
4	Peso de frasco+agua+muestra	991.3
5	Agua añadida al picnómetro	305.3
6	Muestra secada y enfriada al aire	497.6

Absorción = 0.48 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de absorción (MTC E-205) para agregados Finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 146 y 147: Ensayo de absorción, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.2.2.2. Partículas Deleznables

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Muestra: Agregado Fino

Cantera: Blackstone

Uso: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Ítem	Descripción	Peso (g)
1	Muestra de Ensayo	45.3
2	Muestra después del ensayo	45.1

Partículas desmenuzables = 0.44 %

Anotación:

La muestra está dentro del requerimiento de porcentaje arcilla en terrones y partículas desmenuzables de agregado fino (MTC E-212) para agregados finos en mezclas asfálticas en caliente.



Figura 148 y 149: Ensayo de partículas desmenuzables, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM

(2019)

3.2.2.3. Filler

Según la información proporcionada por la planta, comúnmente no se utiliza filler para la elaboración de su mezcla asfáltica. Hubo una ocasión en la que se utilizó puzolana como filler proporcionado por el cliente, este material no tenía ficha técnica, marca de cantera y fue puesto en planta por sacos.

Por este motivo no se presenta ningún ensayo ya que no se encontraron muestras de este material (puzolana) utilizado en planta.

3.2.2.4. Cemento Asfáltico

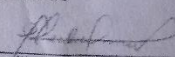
El cemento asfáltico utilizado por excelencia es del proveedor Petroperú

PEN: 85-100, Refinería: Conchán

A continuación, se muestra la ficha técnica del Cemento asfáltico PEN 85-100:

REPSOL

REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFALTICO LOTE No. 85/100-002-12-2017

REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A. Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla, Lima – Perú	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA 17/12/2017 09:13:20	FECHA DE CERTIFICACIÓN 18/12/2017 20:24:24
PRODUCTO Cemento Asfáltico 85/100	TANQUE 331A	DESTINO DEL PRODUCTO Operaciones de Despacho
PROCEDENCIA Almacenamiento	VOLÚMEN CERTIFICADO , m³ 800	BUQUE TANQUE
PROPIEDADES	MÉTODOS	RESULTADOS
	ASTM/OTROS	
PENETRACIÓN		
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	61
DUCTILIDAD		
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 135
VOLATILIDAD		
Gravedad Especifica a 15.6 °C/15.6°C	D 70 / AASHTO T 228	1.0223
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 48	279.0
Gravedad API	D 70 / AASHTO T 228	6.9
FLUIDEZ		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	46.4
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445	3000
Viscosidad cinemática a 135 °C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	388
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA		
Pérdida por Calentamiento, %m	D 1754 / AASHTO T 179	0.18
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	70.3
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	122.1
SOLUBILIDAD		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	99.87
OTROS		
Índice de Penetración	UNE 104-281 / 1-5	-0.6
Ensayo de la Mancha (Nafta-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
OBSERVACIONES:		
Producto cumple con las especificaciones ASTM D946, AASHTO M 20-70 y Norma Técnica Peruana NTP 321.051		
DISTRIBUCIÓN :	FECHA DE EMISIÓN	LABORATORIO
Original : Operaciones de despacho Copia 1: Movimiento de Productos Copia 2: Laboratorio	18/12/2017	 Cecilia Posadas Jhng Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL

Figura 150: Ficha Técnica PEN 85/100, Fuente: Repsol (2019)

3.2.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

El control del MAC en planta se hace mediante estas 02 pruebas:

- Temperatura de la mezcla: medida en la tolva del volquete en planta
- Lavado asfáltico: Control del Contenido de asfalto y agregados

A continuación, se muestran los ensayos y controles realizados en Planta

3.2.2.5.1. Temperatura de Mezcla

Para el control de la temperatura del MAC se debe tener como referencia la temperatura de mezcla especificada en la carta Viscosidad-Temperatura proporcionada por el proveedor del cemento asfáltico

A continuación, se muestra el grafico Viscosidad-temperatura del PEN 85/100 proporcionada por Repsol:

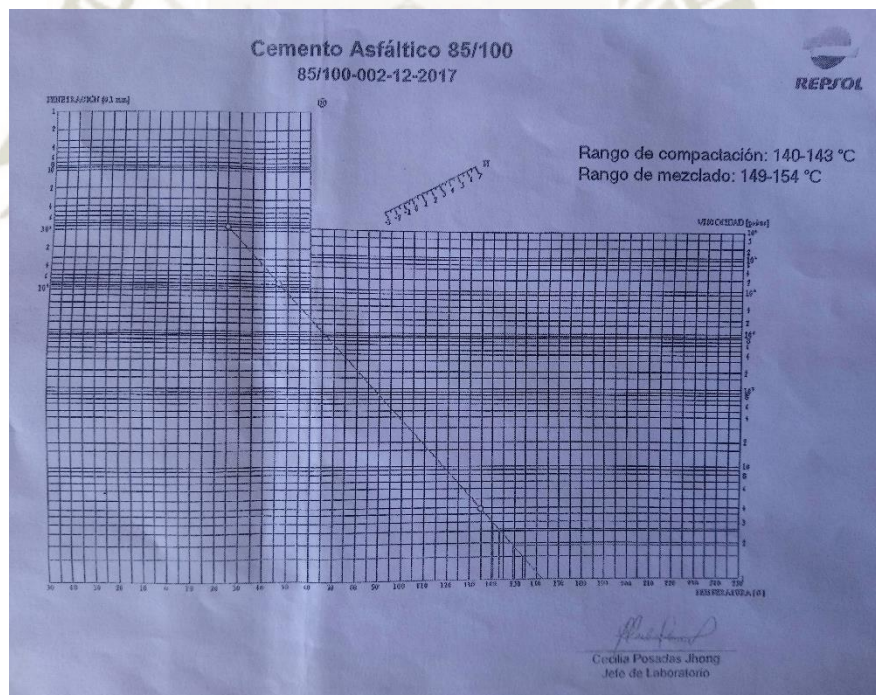


Figura 151: Carta viscosidad-temperatura PEN 85/100, Fuente: Repsol (2019)

Temperatura de mezclado: **149-154 °C**

A continuación, se muestra el control de las temperaturas de los volquetes

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: SuperAsfaltos

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Día	Volquete	Volumen	Temperatura (°C)	Promedio
Día 1	Volquete 1	15 m ³	169	157.6
	Volquete 2	15 m ³	169.7	
	Volquete 3	15 m ³	167.5	
	Volquete 4	15 m ³	160.6	
	Volquete 5	15 m ³	156.3	
Día 2	Volquete 1	15 m ³	149.1	
	Volquete 2	15 m ³	149.4	
	Volquete 3	15 m ³	151	
	Volquete 4	15 m ³	151.4	
	Volquete 5	15 m ³	151.6	

Temperatura promedio = 157.6 °C

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento de temperatura solicitado por el proveedor de cemento asfáltico para mezclas asfálticas en caliente.



Fuente:



Figura 152 y 153: Control de temperaturas del PEN, Fuente: Planta SuperAsfaltos (2019)

3.2.2.5.2. Lavado asfáltico

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: SuperAsfaltos

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Día =	Día 1		Día 2	
Ensayo =	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso muestra (g) =	817.9	910.3	1141.1	846
Peso de asfalto (g) =	47.8	52.3	65.8	49.2
Peso de Agregado grueso (g) =	274.2	308	391	282
Peso de Agregado fino (g) =	495.9	550	684.3	514.8
Contenido de asfalto(%) =	5.8	5.7	5.8	5.8
Contenido de agregado grueso(%) =	33.5	33.8	34.3	33.3
Contenido de agregado fino(%) =	60.6	60.4	60.0	60.9
Promedio asfalto (%) =	5.8			
Promedio agregado grueso (%) =	33.7			
Promedio agregado fino (%) =	60.5			

Contenido de asfalto =	5.8	%
Contenido de agregado grueso =	33.7	%
Contenido de agregado fino =	60.5	%

Anotación:

La muestra no está dentro del requerimiento proporciones, según el diseño de mezclas realizado con el mismo agregado y PEN utilizado



Figura 154 y 155: Lavado asfáltico, Fuente: Planta SuperAsfaltos (2019)

3.3.2.6. Diseño de Mezcla asfáltica en caliente

Para el diseño de la mezcla asfáltica se presenta a continuación los siguientes ensayos:

➤ Granulometría de agregados: Agregado Grueso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje pasante acumulado (%)
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	165.79	2.92	97.08
1/2"	12.7	2039.70	35.90	61.18
3/8"	9.51	1428.81	25.15	36.03
N° 4	4.76	1963.98	34.57	1.46
N° 8	2.36	76.72	1.35	0.11
fondo	0	6.10	0.11	0.00
TOTAL		5681.1		

➤ Granulometría de agregados: Agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje pasante acumulado (%)
N° 4	4.76	145.28	14.00	86.00
N° 8	2.38	140.47	13.53	72.47
N° 10	2	24.61	2.37	70.10
N° 16	1.19	67.19	6.47	63.63
N° 20	0.85	34.72	3.34	60.28
N° 30	0.595	41.67	4.01	56.27
N° 50	0.297	150.88	14.54	41.73
N° 60	0.25	58.73	5.66	36.07
N° 100	0.149	171.74	16.55	19.53
N° 200	0.074	126.12	12.15	7.38
fondo	0	76.59	7.38	0.00
Total		1038.00		

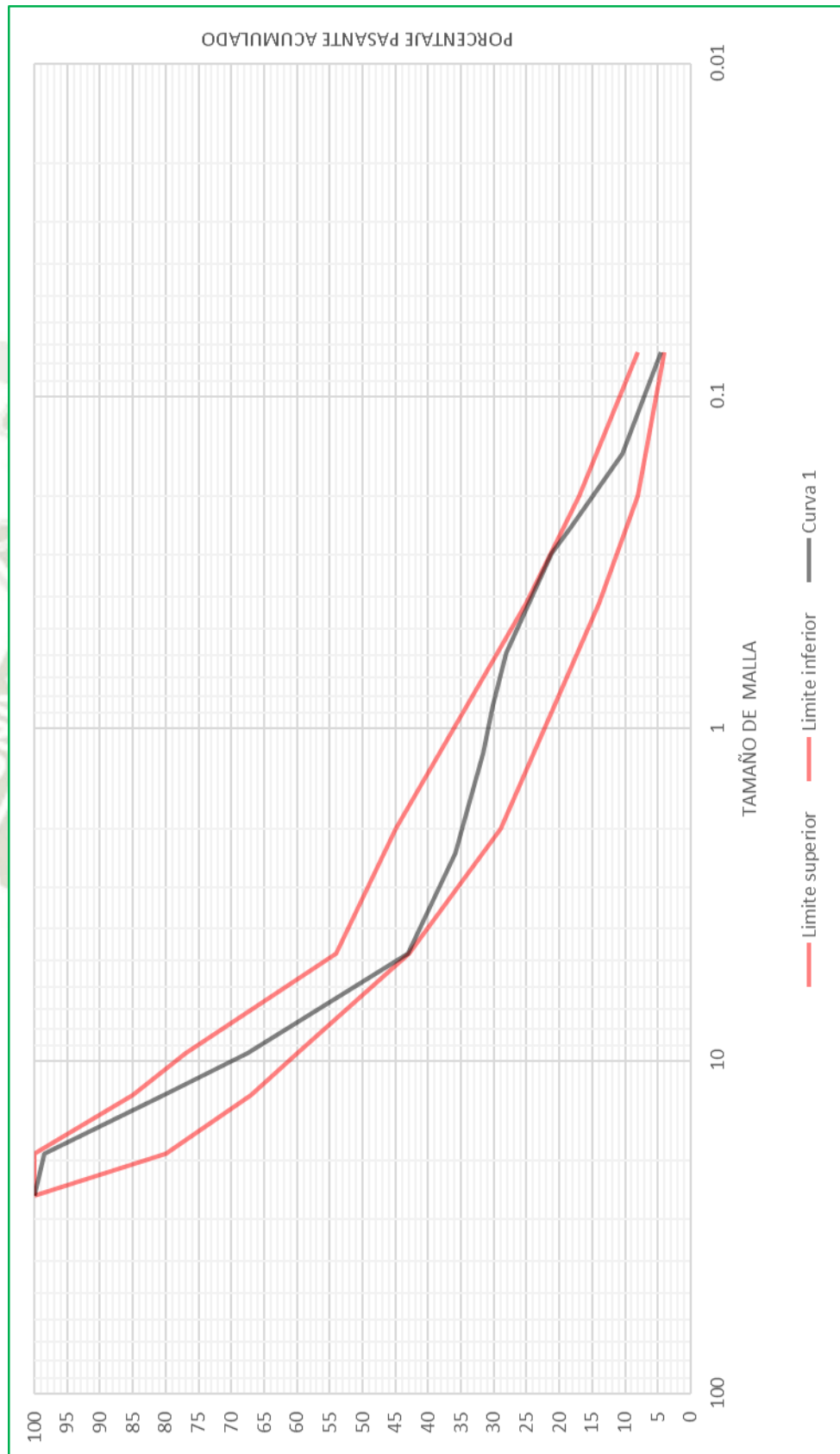
➤ Combinación de agregados

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje pasante acumulado piedra (%)	Porcentaje pasante acumulado arena (%)	Porcentaje pasante acumulado filler (%)	Combinación (%)	Norma, límite inferior (%)	Norma, límite superior (%)
1"	25.4	100	100	100	100.00	100	100
3/4"	19.00	97.08	100	100	98.51	80.00	100.00
1/2"	12.7	61.18	100	100	80.24	67.00	85.00
3/8"	9.51	36.03	100	100	67.44	60.00	77.00
Nº 4	4.76	1.46	86.00	100	43.11	43.00	54.00
Nº 8	2.38	0.11	72.47	100	35.91	-	-
Nº 10	2.00	0.11	70.10	100	34.77	29.00	45.00
Nº 16	1.19	0.11	63.63	100	31.66		
Nº 20	0.85	0.11	60.28	100	30.05		
Nº 30	0.595	0.11	56.27	100	28.12		
Nº 50	0.297	0.11	41.73	100	21.13		
Nº 60	0.25	0.11	36.07	100	18.41		
Nº 100	0.149	0.11	19.53	100	10.45		
Nº 200	0.074	0.11	7.38	100	4.60	4.00	8.00
fondo	0	0.00	0.00	0	0.00		

En la siguiente grafica se muestra la curva de combinación de agregados delimitado por el huso granulométrico del MAC-1 en el Manual de carreteras (EG-2013).

Podemos corroborar que cumple los requisitos establecidos

Combinación de Agregados	Cantidad	
Agregado Grueso	46.71	%
Agregado Fino (Arena)	53.29	%
Filler	1	%



➤ Gravedad específica

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: SuperAsfaltos

Proveedor de agregados: Blakstone

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Agregado Grueso		
Ítem	Descripción	Datos
1	Peso de muestra seca (g)	2931
2	Peso sumergido (g)	1841
3	Peso Saturado Superficialmente seco (g)	2981.5
4	Peso Unitario de Agua (g/cm ³)	1.00
5	Peso de tara	0
6	Gravedad específica seca Aparente	2.69
7	Gravedad específica seca Bulk	2.57
8	Gravedad específica saturada Bulk	2.61

Agregado Fino		
Ítem	Descripción	Datos
1	Muestra de ensayo húmeda (g)	500.0
2	Peso fiola+agua+muestra (g)	991.3
3	Peso seco W _o (g)	497.6
4	Volumen fiola V (cm ³)	500.1
5	Peso de agua añadida a fiola V _a	305.3
6	Gravedad Específica Seca Aparente	2.58
7	Gravedad Específica Seca Bulk	2.55

- Diseño de Mezclas Marshall

Planta: SuperAsfaltos

Proveedor de agregados: Blakstone

Cemento asfáltico: PEN 85/100

Mezcla asfáltica: MAC-1

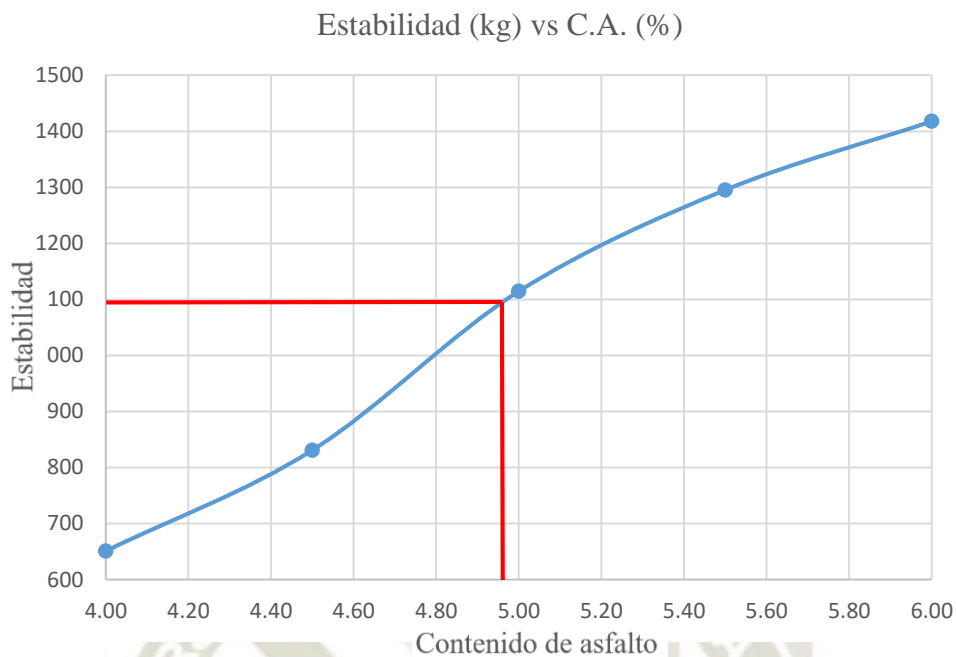
Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

En el Anexo 4.7 se muestra la hoja de cálculo para el diseño de mezcla asfáltica - Marshall - SuperAsfaltos.

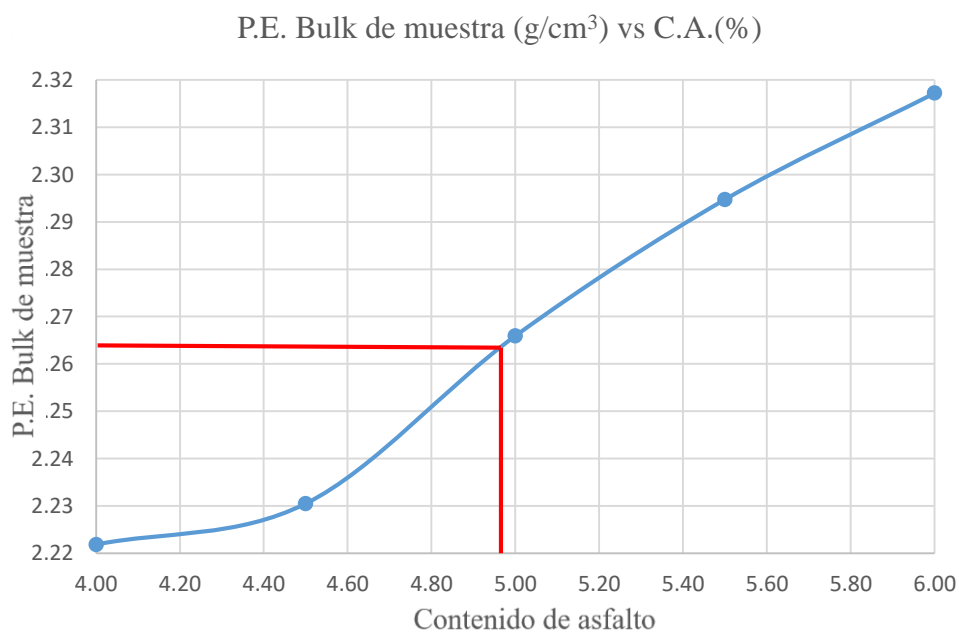
- Resultados:

Características de la Mezcla Asfáltica	Unidad	Cantidad
Contenido Optimo de Asfalto PEN 85-100	%	4.96
Agregado Grueso	%	48.38
Agregado Fino (Arena)	%	45.71
Filler	%	0.95
Peso Específico de la Mezcla Asfáltica Compactada	g/cm ³	2.262
% de Vacíos del total de la mezcla VTM	%	4.8
% de Vacíos llenos con Asfalto VFA	%	74
Vacíos del Agregado Mineral VMA	%	18.36
Flujo	x 0.01"	13.3
Estabilidad	KN	10.79
Temperatura de Mezcla	°C	149-154
Relación Polvo - Asfalto	-	0.88
Relación Estabilidad/flujo	kg/cm ²	3308
Resistencia a la compresión MPa _{min}	MPa	2.21
Resistencia retenida	kg	1084
Resistencia retenida	%	99

➤ Gráficos para la determinación del contenido óptimo de asfalto

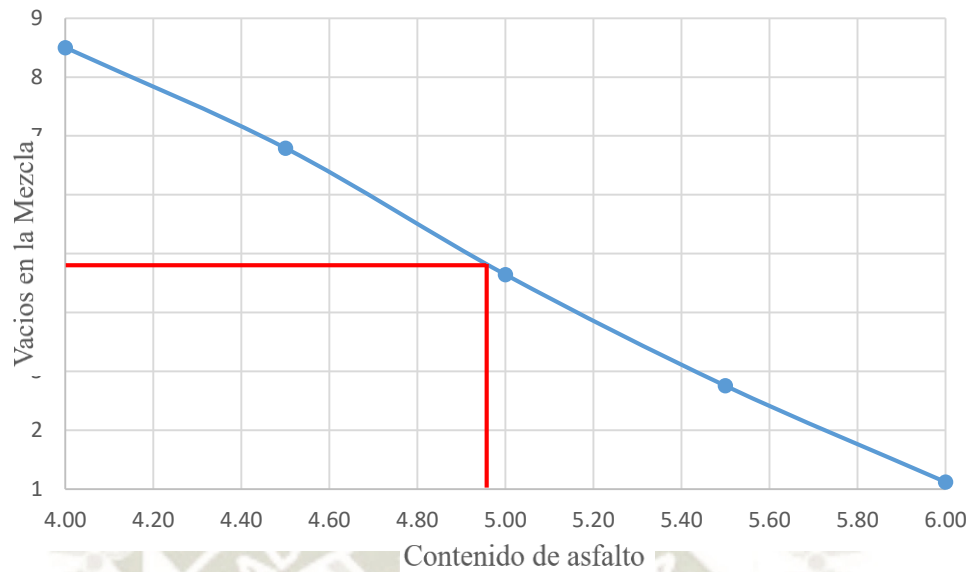


El manual de carreteras (EG-2013) establece que la estabilidad mínima para un MAC-1 debe ser 8.15 KN (831 kg), por lo que todos los puntos son aceptables.



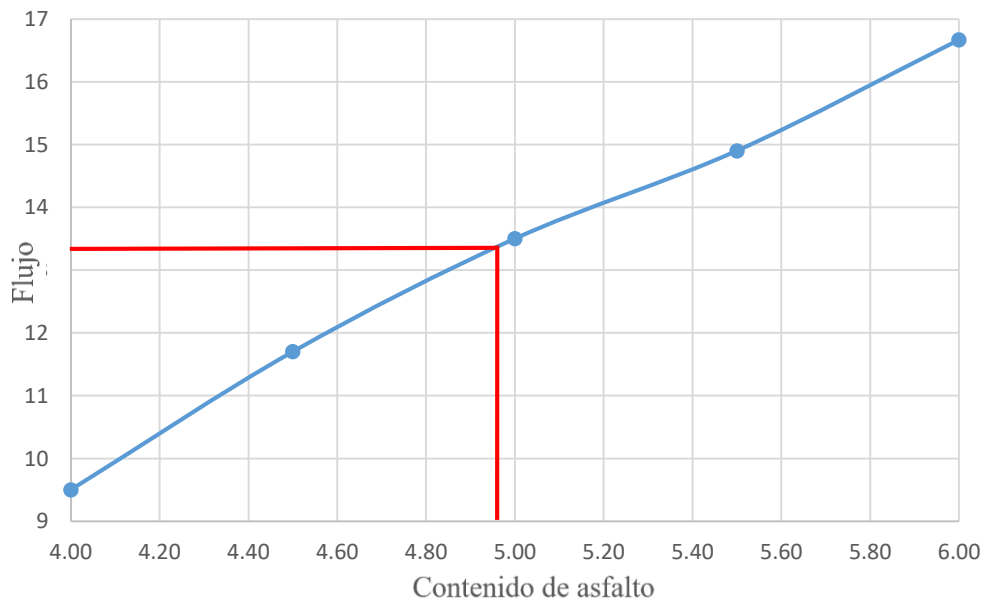
El manual de carreteras (EG-2013) no establece un parámetro para el Peso específico bulk, por lo que todos los puntos son aceptables.

Vacios en la Mezcla (%) vs C.A. (%)



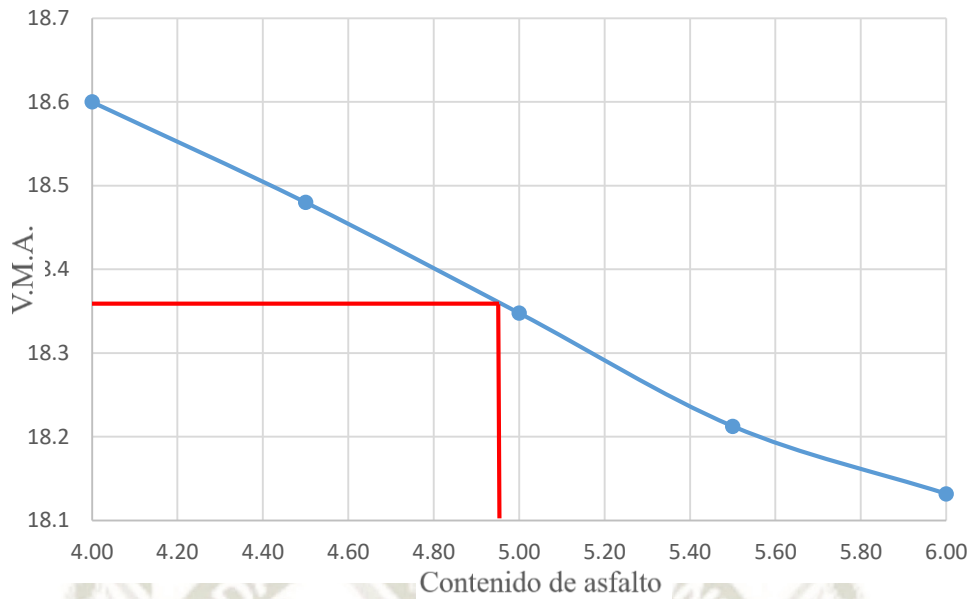
El manual de carreteras (EG-2013) establece que el porcentaje de vacíos para un MAC-1 debe estar entre 3 y 5, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4.90 y 5.40

Flujo (0.25 mm) vs C.A. (%)



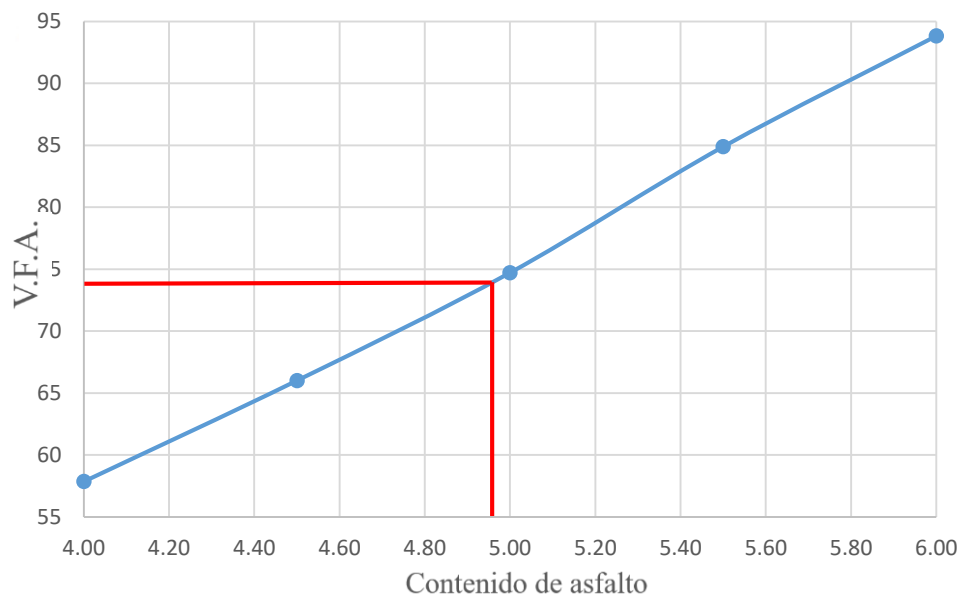
El manual de carreteras (EG-2013) establece que el flujo para un MAC-1 debe estar entre 8 y 14, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4 y 5.15

V.M.A. (%) vs C.A. (%)



El manual de carreteras (EG-2013) establece que el VMA mínimo para un MAC-1 debe ser 14 %, por lo que todos los puntos son aceptables.

V.F.A. vs C.A.



El manual de carreteras (EG-2013) establece que el VFA para un MAC-1 debe estar entre 65 y 75, por lo que el contenido óptimo de asfalto en esta grafica esta entre 4.45 y 5.0



Figura 156 y 157: Diseño de mezclas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

3.2.3. Colocación

Para corroboración de un correcto proceso constructivo en el asfaltado, se evaluará la vía ejecutada por el contratista quien solita el MAC.

Contratista: Ing. Antonio Gamero

Proyecto: “Mejoramiento de la vía Av. Dolores – II etapa - Arequipa”

La evaluación se medirá en términos de “conformidad” y “no conformidad”

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
1	La pavimentadora poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar.	X	
2	La pavimentadora estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores.	X	
3	El mecanismo de accionamiento de los transportadores de cadena de la pavimentadora no deberá producir segregación física central.	X	
4	La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formas.	X	
5	Tanto la plancha como las extensiones de la pavimentadora deberán contar con sistema de calentamiento uniforme.	X	

Ítem	Requerimiento	Conformidad	
		SI	NO
6	La pavimentadora deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.		X
7	Se evitará todo tipo de derrames durante la descarga de la mezcla a la tolva	X	
8	Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático.	X	
9	Los compactadores deberán poseer controladores de vibración y de frecuencia independientes.	X	
10	Los rodillos neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslape de las huellas delanteras y traseras	X	
11	Se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.	X	
12	Las mezclas asfálticas calientes se colocarán cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura ambiental sea superior a 6°C, y no haya precipitaciones pluviales; además la base preparada debe estar en condiciones satisfactorias	X	
13	Al asfaltar se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material,	X	
14	Durante el extendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar la segregación.	X	
15	La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario.	X	
16	Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.	X	
17	Proceso constructivo según normas: Compactación inicial, zona tierna, compactación intermedia y compactación final.		X
18	Control y frecuencia de las temperaturas de llegada.		X

Tabla 18: Evaluación de colocación del MAC, planta SuperAsfaltos, Fuente: propia (2019)

A continuación, se muestran las fotos del control del proceso de asfaltado:



Figura 158 y 159: Asfaltado de vía, Av. Dolores, Fuente: José Luis Bustamante y Rivero (2019)

3.2.4. Vías ejecutadas

Para el control de vías asfaltadas anteriormente, se extrajo muestras de diamantina a 01 vía asfaltada, según la información proporcionada por la planta asfáltica, cabe recalcar que la planta no cuenta con un registro de las vías para las cuales se envía el MAC

- Mejoramiento de la vía Av. Dolores – II etapa - Arequipa

A continuación, se muestra el ensayo de las muestras de diamantina:

- Extracción de diamantinas de asfalto y ensayo Marshall

	Estabilidad Promedio (kg)	Flujo promedio (0.25 mm)
Av. Dolores	1143.12	15.18

Nro. de briquetas	Av. Dolores		
	1	2	
% de asfalto en peso de la mezcla	5.8	5.8	
% de agregado grueso en peso de la mezcla	33.7	33.6	
% de agregado fino en peso de la mezcla	60.5	60.6	
% de filler en peso de la mezcla	0	0	
Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	
Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	
Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	
Peso específico del filler	1	1	
Altura promedio de la briqueta (cm)	7.30	7.41	
Peso de la briqueta al aire (g)	1371.4	1373.1	
Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1391.5	1392.9	
Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	702.5	720	
Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	689	672.9	
Peso de la parafina (11-10)	20.1	19.8	
Volumen parafina (14/PE de la parafina)	23.65	23.29	
Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	665.35	649.61	
Volumen geométrico (9×81.07)	591.81	600.73	
Volumen adoptado	591.81	600.73	
Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.32	2.29	
PE máx. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.42	2.42	
% de vacíos = $100 \times (20-19)/20$	4.36	5.65	
Estabilidad sin corregir	Unidad = kg	1371.1	1284.3
Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)		0.89	0.83
Estabilidad corregida (22*23)		1220.28	1065.97
Flujo		14.1	17.5
Peso específico bulk de los áridos (ecuación)		2.66	2.66
V.M.A. = $100/((2+3) \times 19)/26$		17.22	17.46
Vacíos llenados con C.A. = $100 \times (27-21)/27$		74.70	67.63

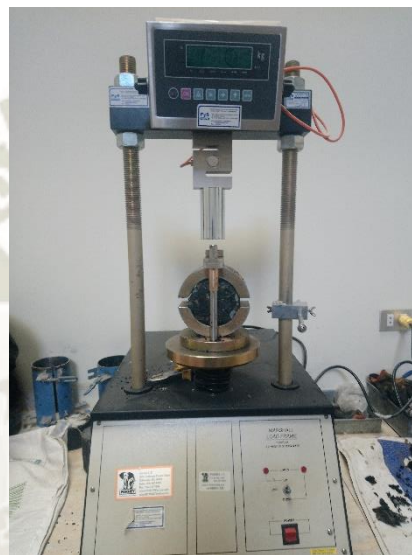


Figura 160, 161 y 162: Extracción de diamantinas de asfalto y rotura de probetas, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos UCSM (2019)

Anotación:

Ninguna de las muestras de diamantina cumple las solicitudes especificadas para Mezclas asfálticas en caliente, esta deficiencia se debe a no conformidades puntuales, como flujo, % de vacíos, que se veras más detalle en los resultados

➤ Lavado asfáltico

Ubicación: Provincia de Arequipa – Región Arequipa

Planta: SuperAsfaltos

Material: Mezcla Asfáltica en Caliente

Norma: Pavimentos Flexibles, EG-2013

Proyecto =	Av. Dolores	
Probeta =	Probeta 1	Probeta 2
Peso briqueta (g) =	1371.4	1373.1
Peso de asfalto (g) =	80	80
Peso de Agregado grueso (g) =	462.2	461
Peso de Agregado fino (g) =	829.2	832.1
Contenido de asfalto(%) =	5.8	5.8
Contenido de agregado grueso(%) =	33.7	33.6
Contenido de agregado fino(%) =	60.5	60.6
Promedio asfalto (%) =	5.8	
Promedio agregado grueso (%) =	33.6	
Promedio agregado fino (%) =	60.5	



Figura 163 y 164: Lavado asfáltico, Fuente: Laboratorio de asfalto SuperAsfaltos (2019)

Anotación:

Las proporciones de los componentes de las mezclas no concuerdan con los resultados del diseño de mezclas proporcionado anteriormente.

CAPITULO V

RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentará un resumen de los resultados obtenidos en el Capítulo IV a los ensayos y controles realizados a las plantas de las empresas GyA Contratistas y SuperAsfaltos

1. Resultados – GyA Contratistas

1.1. Producción

Se presentará un diagrama circular para representar las conformidades y no conformidades de los requerimientos en producción en la planta asfáltica.



Requerimientos totales: 51 requerimientos
Conformidades: 39 requerimientos
No conformidades: 12 requerimientos

A continuación, se enlistan los requerimientos no cumplidos:

- Si los acopios de agregados se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos.

Los acopios solo tienen 8 cm promedio de cama para proteger la pureza del agregado

- La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50 % y el 100% de su capacidad, sin rebosar.

Las tolvas regularmente sobrepasan su capacidad de carga lo que genera que el agregado fino y grueso se mezclen eventualmente cuando el cargador frontal lo carga.

- El sistema de circulación del cemento asfáltico deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

El tanque de almacenamiento del Cemento asfáltico no cuenta con la toma de muestra para realizar ensayos.

- En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.

La planta no cuenta con un sistema de dosificación de aditivos para añadir a la mezcla en producción.

- Realización de ensayos y frecuencias según normas al cemento asfáltico.

No se realizan los ensayos requeridos según norma al cemento asfáltico, generalmente se presentan los certificados proporcionados por Petroperú o Repsol.

- Se evitará la exposición del cemento asfáltico al ambiente a fin de evitar la introducción de agentes contaminantes.

Para el llenado del tanque de almacenamiento del cemento asfáltico utilizan una poza que está expuesta al ambiente lo que provoca que cualquier contaminante se mezcle con esta.

- La planta asfáltica deberá cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.

La planta no cuenta con un certificado de control y protección del aire.

- La planta deberá contar con los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.

La planta no cuenta con los permisos solicitados para el funcionamiento

- Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.

Los trabajadores están proporcionados con los EPPs pero frecuentemente no los utilizan.

- Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla.

No se realizan los ensayos requeridos al filler extraídos en los colectores.

- El personal de la planta deberá estar capacitado en seguridad y operación de la planta.

El único personal capacitado es el operario de la planta y técnico del laboratorio.

- Control de las temperaturas manualmente en el cargado del MAC al volquete.

No se controla la temperatura del MAC cargado en los volquetes.

1.2. Materiales

1.2.1. Agregado Grueso

Cantera: Supermix

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	2.67	18% máx.	Conforme
Abrasión de los Ángeles	16.3	40% máx.	Conforme
Adherencia	97	+95	Conforme
Índice de Durabilidad	97	35% min.	Conforme
Partículas chatas y alargadas	1.0	10% máx.	Conforme
Caras Fracturadas	88/80	85/50	Conforme
Sales Solubles Totales	0.26	0.5% máx.	Conforme
Absorción	0.53	1% máx.	Conforme
Partículas Deleznables	0.21	1% máx.	Conforme

El agregado grueso cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC

1.2.2. Agregado Fino

Cantera: Supermix

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Equivalente de Arena	71.0	60% min.	Conforme
Angularidad del Agregado Fino	44	30% min.	Conforme
Azul de Metileno	5	8 máx.	Conforme
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	20.6	NP	Conforme
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	7.98	-	Conforme
Índice de Durabilidad	93	35% min.	Conforme
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	2.6	4% máx.	Conforme
Sales Solubles Totales	0.37	0.5% máx.	Conforme
Absorción	0.89	0.5% máx.	No Conforme
Partículas Deleznables	0.48	1% máx.	Conforme

El agregado fino cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC a excepción del ensayo de Absorción.

1.2.3. Filler

Proveedor: Carpetek - Rocatech

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Densidad Aparente	0.5 – 1.1	0.5 – 0.8 g/cm ³	Conforme
Coefficiente de Emulsividad	0.1 – 0.6	< 0.6	Conforme

El filler cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC.

1.2.4. Cemento Asfáltico

Proveedor: Petroperú

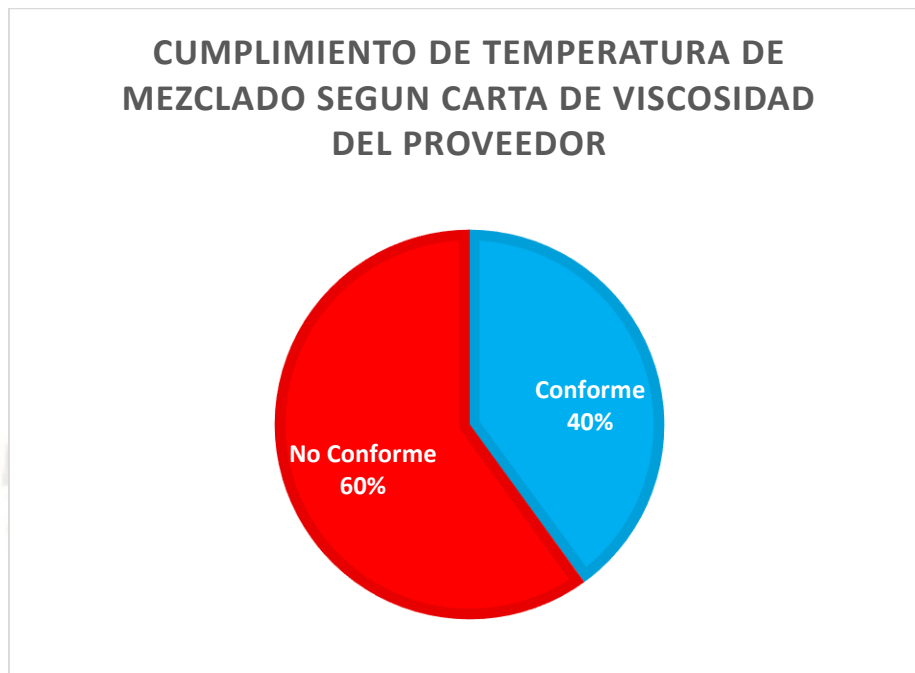
Grado de Penetración: PEN 85-100

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Penetración a 25 °C, 100g, 5s	85	85 - 100	Conforme
Punto de inflamación, °C	300	232 Min.	Conforme
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min	> 150	100 Min.	Conforme
Solubilidad en tricloro-etileno, %	99.8	99.0 Min.	Conforme
Índice de Penetración	-0.09	-1 < x < +1	Conforme
Ensayo de la Mancha(oliensies)	Negativo	Negativo	Conforme
Película delgada – Pérdida de masa, %	0.17	1 Max.	Conforme
Película delgada – Penetración retenida	64.7	+47 Min.	Conforme
Película delgada – Ductilidad del residuo a 25 °C	100	75 Min.	Conforme

El Cemento asfáltico cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC.

1.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

1.2.5.1. Temperatura de mezcla



Total puntos tomados: 10 volquetes
Conformidades: 4 volquetes
No conformidades: 6 volquetes

La mayoría de los volquetes cargados con MAC no contaban con la temperatura ideal de mezclado, esto se debe al desconocimiento por parte del personal de la temperatura ideal de mezclado. No es conforme la temperatura del MAC de los vehículos que salieron de planta.

1.2.5.2. Lavado asfáltico

- Proporciones obtenidas en el lavado asfáltico realizado en producción

Contenido de asfalto =	5.5	%
Contenido de agregado grueso =	46.4	%
Contenido de agregado fino =	48.1	%

- Proporciones según la fórmula de trabajo establecida para el proyecto

Contenido de asfalto =	5.6	%
Contenido de agregado grueso =	44.4	%
Contenido de agregado fino =	50.0	%

La proporción obtenida en el lavado asfáltico no coincide con los valores establecidos en la fórmula de trabajo. No es conforme las proporciones de la mezcla producida en planta.

1.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente (Método Marshall)

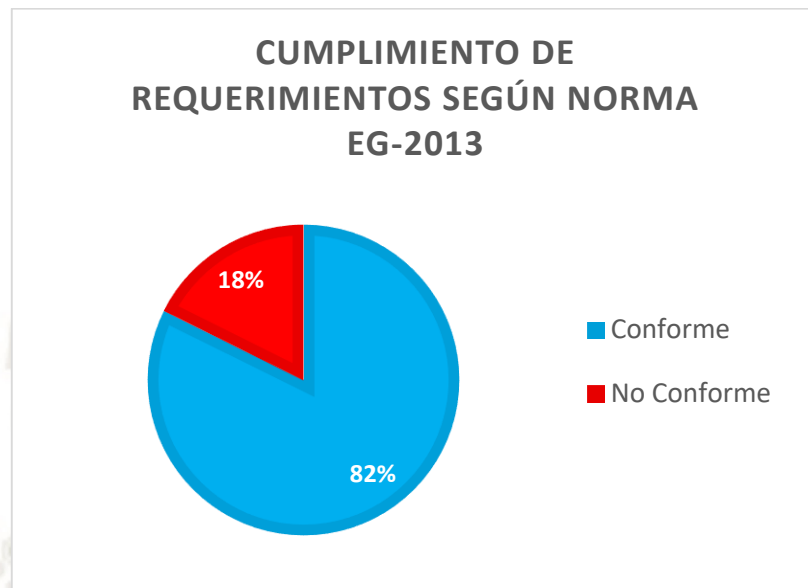
➤ Resultado de diseño de mezclas:

Características de la Mezcla Asfáltica	Unidad	Cantidad
Contenido Optimo de Asfalto PEN 85-100	%	4.40
Agregado Grueso	%	44.65
Agregado Fino (Arena)	%	50.95
Peso Específico de la Mezcla Asfáltica Compactada	g/cm ³	2.378
% de Vacíos del total de la mezcla VTM	%	4.7
% de Vacíos llenos con Asfalto VFA	%	72
Vacíos del Agregado Mineral VMA	%	16.55
Flujo	x 0.01"	13.75
Estabilidad	KN	12.12
Temperatura de Mezcla	°C	150
Relación Polvo - Asfalto	-	1.11
Relación Estabilidad/flujo	kg/cm ²	3593
Resistencia a la compresión MPa _{min}	MPa	2.18
Resistencia retenida	kg	1143
Resistencia retenida	%	93

El resultado de del diseño de mezcla no es concordante con el diseño utilizado en la producción en planta (lavado asfáltico), esto se debe a la alta variabilidad en que se puede comportar un agregado.

Este resultado se puede corroborar en el lavado asfáltico practicado a las diamantinas extraídas del proyecto Tahuaycani.

1.3. Colocación



Requerimientos totales: 18 requerimientos
Conformidades: 15 requerimientos
No conformidades: 3 requerimientos

A continuación, se enlistan los requerimientos no cumplidos:

- La pavimentadora deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.

La pavimentadora no cuenta con un sistema eléctrico para el manejo de los espesores, este proceso se realiza manualmente en obra.

- Proceso constructivo según normas: Compactación inicial, zona tierna, compactación intermedia y compactación inicial.

Este proceso se respeta hasta la compactación intermedia, dejando de lado la compactación final, en la mayoría de los proyectos no realizan la compactación final.

- Control y frecuencia de las temperaturas de llegada.

No se realiza el control de las temperaturas de los vehículos a la hora de realizar la pavimentación y en todas las etapas de la compactación.

1.4. Vías ejecutadas

- Extracción de diamantinas de asfalto y ensayo Marshall

	Estabilidad Promedio (kg)	Flujo promedio (0.25 mm)
Tahuaycani	1267.87	27.25
Vallecito	238.89	20.0
Puente Chilina	360.86	20.05
Las Américas	388.55	18.65

Ninguna muestra de diamantina cumple los requisitos de estabilidad y flujo a excepción del proyecto Tahuaycani (proyecto en estudio) quien solo cumplía la estabilidad.

Cabe resaltar que las diamantinas extraídas en los proyectos Vallecito, puente Chilina y las Américas, son vías que ya llevan 5 - 7 años de servicio y que en algunos casos presentaban grietas.

- Lavado asfáltico

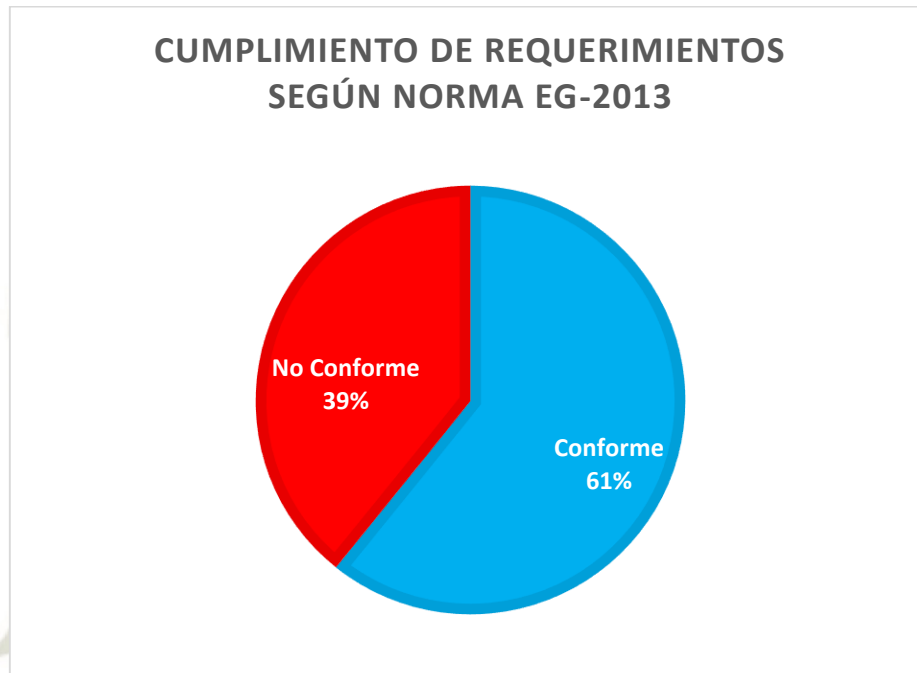
	Contenido de asfalto (%)	Contenido de Agregado grueso (%)	Contenido de Agregado fino (%)
Tahuaycani	5.5	46.4	48.1
Vallecito	5.6	45.2	49.2
Puente Chilina	5.8	44.3	49.9
Las Américas	5.6	45.5	48.9

Este resultado corrobora el diseño que la planta mantiene a lo largo de sus anteriores proyectos.

2. Resultados – SuperAsfaltos

2.1. Producción

Se presentará un diagrama circular para representar las conformidades y no conformidades de los requerimientos en producción en la planta asfáltica.



Requerimientos totales: 51 requerimientos
Conformidades: 31 requerimientos
No conformidades: 20 requerimientos

A continuación, se enlistan los requerimientos no cumplidos:

- El agregado estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto.

Los acopios de agregados, especialmente el agregado fino, se encuentran con restos de basura y piedras grandes (0.1 % aprox).

- Para su traslado al sitio de las obras, el filler podrá empacarse en bolsas o a granel.

El filler trasladado está expuesto al aire libre sin protección(puzolana).

- El depósito para el filler suministrado en bolsas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto

El filler está expuesto al aire libre sin protección(puzolana).

- Si los acopios de agregados se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos.

Los acopios solo tienen 9 cm promedio de cama para proteger la pureza del agregado

- La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50 % y el 100% de su capacidad, sin rebosar.

Las tolvas regularmente sobrepasan su capacidad de carga lo que genera que el agregado fino y grueso se mezclen eventualmente cuando el cargador frontal lo carga.

- Realización de ensayos y frecuencias según normas a los agregados.

No se realizan los ensayos requeridos, a veces se produce con agregados de procedencia desconocida.

- El sistema de circulación del cemento asfáltico deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

El tanque de almacenamiento del Cemento asfáltico no cuenta con la toma de muestra para realizar ensayos.

- En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.

La planta no cuenta con un sistema de dosificación de aditivos para añadir a la mezcla en producción.

- Realización de ensayos y frecuencias según normas al cemento asfáltico.

No se realizan los ensayos requeridos según norma al cemento asfáltico, generalmente se presentan los certificados proporcionados por Petroperú o Repsol y en ocasiones cementos asfáltico desconocido.

- Todo cemento asfáltico que llega a planta debe tener su respectiva ficha técnica dada por el proveedor.

En varias oportunidades se elaboró MAC con cemento asfáltico de procedencia desconocida.

- Se evitará la exposición del cemento asfáltico al ambiente a fin de evitar la introducción de agentes contaminantes.

Para el llenado del tanque de almacenamiento del cemento asfáltico utilizan un canal que está expuesta al ambiente lo que provoca que cualquier contaminante se mezcle con esta.

- La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En el control de temperaturas se pudo constatar que la temperatura era muy elevada y no hubo control de esta, esto se debió a la presión del cliente por cargar los volquetes con MAC.

- La planta asfáltica deberá cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.

La planta no cuenta con un certificado de control y protección del aire.

- La planta deberá contar con los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.

La planta no cuenta con los permisos solicitados para el funcionamiento

- Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.

Los trabajadores están proporcionados con los EPPs pero frecuentemente no los utilizan.

- Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.

Los volquetes no cuentan con cobertura de protección del MAC.

- Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla.

No se realizan los ensayos requeridos al filler extraídos en los colectores.

- El personal de la planta deberá estar capacitado en seguridad y operación de la planta.

El único personal capacitado es el operario de la planta y técnico del laboratorio.

- Las tolvas de los volquetes deberán estar limpias y rociadas con combustible a fin de evitar que la mezcla asfáltica de adhiera.

Los volquetes no están limpios y rociados con combustible para proteger el MAC.

- Control de las temperaturas manualmente en el cargado del MAC al volquete.

No se controla la temperatura del MAC cargado en los volquetes.

2.2. Materiales

2.2.1. Agregado Grueso

Cantera: Blakstone

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	1.03	18% máx.	Conforme
Abrasión de los Ángeles	16.2	40% máx.	Conforme
Adherencia	85	+95	No Conforme
Índice de Durabilidad	98	35% min.	Conforme
Partículas chatas y alargadas	4.1	10% máx.	Conforme
Caras Fracturadas	94/89	85/50	Conforme
Sales Solubles Totales	0.56	0.5% máx.	No Conforme
Absorción	1.72	1% máx.	No Conforme
Partículas Deleznables	0.28	1% máx.	Conforme

El agregado grueso cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC a excepción de Adherencia, sales solubles totales y absorción.

2.2.2. Agregado Fino

Cantera: Blakstone

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Equivalente de Arena	78	60% min.	Conforme
Angularidad del Agregado Fino	48	30% min.	Conforme
Azul de Metileno	3.5	8 máx.	Conforme
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	23.6	NP	Conforme
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	0.81	-	Conforme
Índice de Durabilidad	90	35% min.	Conforme
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	3.0	4% máx.	Conforme
Sales Solubles Totales	1.04	0.5% máx.	No Conforme
Absorción	0.48	0.5% máx.	Conforme
Partículas Deleznables	0.44	1% máx.	Conforme

El agregado fino cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC a excepción del ensayo de Sales solubles totales.

2.2.3. Filler

Proveedor: desconocido

No se cuenta con resultados ya que el material utilizado era puzolana de procedencia desconocida. Este material solo fue utilizado en una oportunidad, para la elaboración del MAC en estudio no se utilizó filler.

2.2.4. Cemento Asfáltico

Proveedor: Repsol

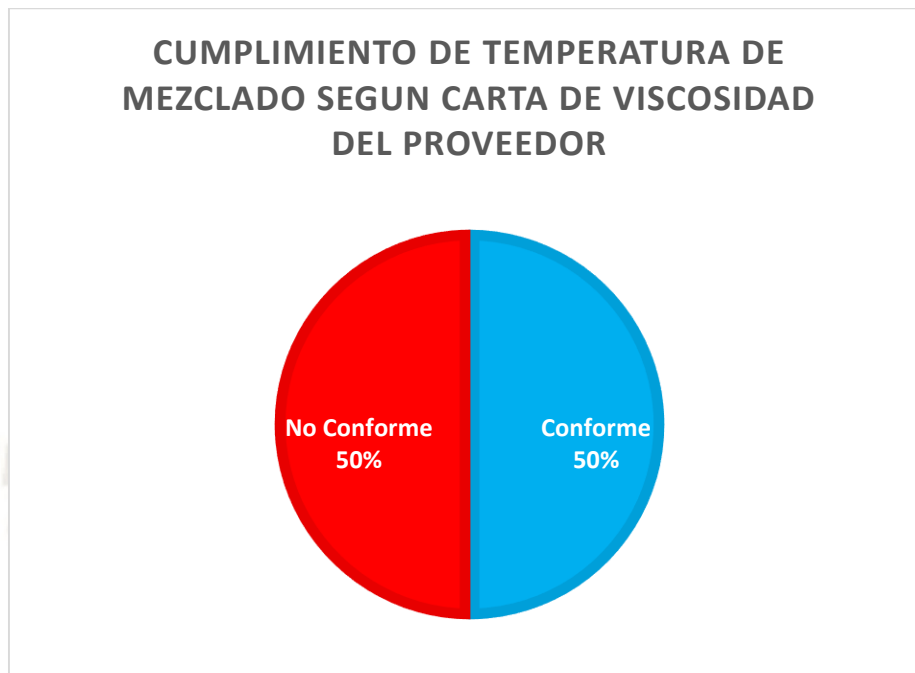
Grado de Penetración: PEN 85-100

Ensayos	Resultado	Requisito	Control
Penetración a 25 °C, 100g, 5s	91	85 - 100	Conforme
Punto de inflamación, °C	279	232 Min.	Conforme
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min	> 135	100 Min.	Conforme
Solubilidad en tricloro-etileno, %	99.87	99.0 Min.	Conforme
Índice de Penetración	-0.6	-1 < x < +1	Conforme
Ensayo de la Mancha(oliensies)	Negativo	Negativo	Conforme
Película delgada – Pérdida de masa, %	0.18	1 Max.	Conforme
Película delgada – Penetración retenida	70.3	+47 Min.	Conforme
Película delgada – Ductilidad del residuo a 25 °C	122.1	75 Min.	Conforme

El Cemento asfáltico cumple todos los requerimientos solicitados para ser usado en la elaboración del MAC.

2.2.5. Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

2.2.5.1. Temperatura de mezcla



Total puntos tomados: 10 volquetes
Conformidades: 5 volquetes
No conformidades: 5 volquetes

El primer día de producción se obtuvieron temperaturas altas debido a la presión del cliente por acelerar la producción de MAC, adicionalmente, al desconocimiento por parte del personal de la temperatura ideal de mezclado. No es conforme la temperatura del MAC de los vehículos que salieron de planta.

2.2.5.2. Lavado asfáltico

➤ Proporciones obtenidas en el lavado asfáltico realizado en producción

Contenido de asfalto =	5.8	%
Contenido de agregado grueso =	33.7	%
Contenido de agregado fino =	60.5	%

- Proporciones según la fórmula de trabajo establecida para el proyecto

Contenido de asfalto =	5.6	%
Contenido de agregado grueso =	46.4	%
Contenido de agregado fino =	48.0	%

La proporción obtenida en el lavado asfáltico no coincide con los valores establecidos en la fórmula de trabajo. No es conforme las proporciones de la mezcla producida en planta.

2.2.6. Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente (Método Marshall)

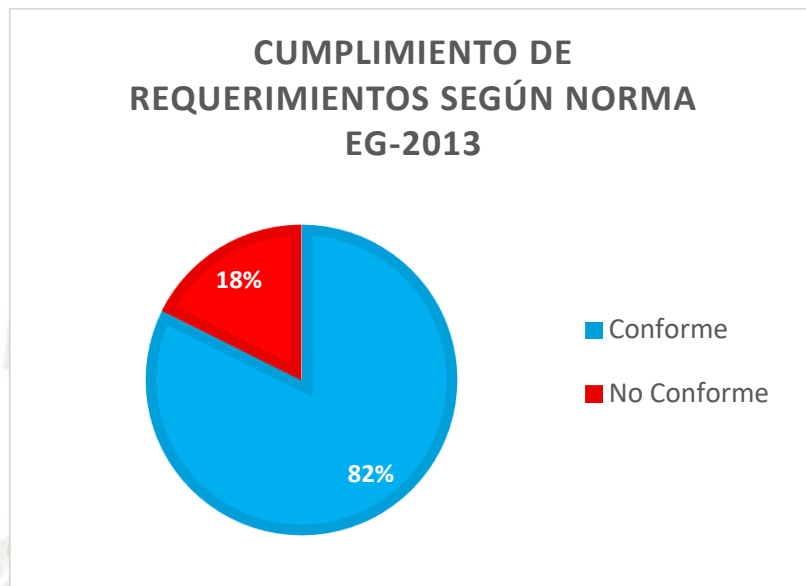
- Resultado de diseño de mezclas:

Características de la Mezcla Asfáltica	Unidad	Cantidad
Contenido Optimo de Asfalto PEN 85-100	%	4.96
Agregado Grueso	%	48.38
Agregado Fino (Arena)	%	45.71
Peso Específico de la Mezcla Asfáltica Compactada	g/cm ³	0.95
Filler	%	2.262
% de Vacíos del total de la mezcla VTM	%	4.8
% de Vacíos llenos con Asfalto VFA	%	74
Vacíos del Agregado Mineral VMA	%	18.36
Flujo	x 0.01"	13.3
Estabilidad	KN	10.79
Temperatura de Mezcla	°C	149-154
Relación Polvo - Asfalto	-	0.88
Relación Estabilidad/flujo	kg/cm ²	3308
Resistencia a la compresión MPa _{min}	MPa	2.21
Resistencia retenida	kg	1084
Resistencia retenida	%	99

El resultado de del diseño de mezcla no es concordante con el diseño utilizado en la producción en planta (lavado asfáltico), esto se debe a la alta variabilidad en que se puede comportar un agregado.

Este resultado se puede corroborar en el lavado asfáltico practicado a las diamantinas extraídas del proyecto Av. Dolores.

2.3. Colocación



Requerimientos totales: 18 requerimientos
Conformidades: 15 requerimientos
No conformidades: 3 requerimientos

A continuación, se enlistan los requerimientos no cumplidos:

- La pavimentadora deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.

La pavimentadora no cuenta con un sistema eléctrico para el manejo de los espesores, este proceso se realiza manualmente en obra.

- Proceso constructivo según normas: Compactación inicial, zona tierna, compactación intermedia y compactación inicial.

Este proceso se respeta hasta la compactación intermedia, dejando de lado la compactación final, en la mayoría de los proyectos no realizan la compactación final.

- Control y frecuencia de las temperaturas de llegada.

No se realiza el control de las temperaturas de los vehículos a la hora de realizar la pavimentación y en todas las etapas de la compactación.

2.4. Vías ejecutadas

- Extracción de diamantinas de asfalto y ensayo Marshall

	Estabilidad Promedio (kg)	Flujo promedio (0.25 mm)
Av. Dolores	1143.12	15.18

Las muestras de diamantina extraídas del proyecto cumplen con el requisito de estabilidad mas no de flujo.

- Lavado asfáltico

	Contenido de asfalto (%)	Contenido de Agregado grueso (%)	Contenido de Agregado fino (%)
Av. Dolores	5.8	33.6	60.5

Este resultado corrobora el diseño que la planta mantiene a lo largo de sus anteriores proyectos.

CAPITULO VI

PROPUESTA DE CALIDAD

1. Propuesta de parámetros de Calidad

A continuación, se presenta el PPI implantado en la planta asfáltica en caliente.

➤ Etapas de inspección

Ítem	Etapas de Ensayo / Inspección
1	Recepción e inspección de materiales y equipos
2	Verificación de Equipos e Inspecciones específicas previas a producción
3	Producción de Mezcla Asfáltica
4	Transporte de Mezcla y Asfaltado

Leyenda:

Leyenda de Responsabilidad
JP = Jefe de Planta
IP = Ingeniero de Producción
JL = Jefe de laboratorio
OP = Operador de Planta
PP = Personal de Planta
IO = Ingeniero de obra
IC = Ingeniero de calidad de obra

Leyenda de Inspección
I = Inspección
E = Ensayo
R = Revisión y Aprobación
P = Ejecución

Estas leyendas serán usadas para definir cargos y alcances en el proceso de producción de Mezcla asfáltica.

A continuación, se presenta el Protocolo de calidad propuesto.

➤ Protocolo PC-UCSM-01

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD				PROT. TIPO	PC-UCSM-01
PROTOKOLO: RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS				REVISIÓN	01
				PAGINAS	01 DE 02
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente					
Aplicación: Por jornada					
PROYECTO:				Firma: Ingeniero de Producción	
MAC:		FECHA:			
JEFE DE PLANTA:		VOLUMEN DE DEMANDA:			
RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS (02 SEMANAS ANTES DE PRODUCCION)					
I	REQUERIMIENTO DE MATERIALES	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Recepción de las especificaciones técnicas del MAC a producir (tipo de piedra, arena, filler y cemento asfáltico)				
2	Requerir el cemento asfáltico según la demanda de MAC y el tiempo de procura para traslado de refinería				
3	Visitar la cantera de producción de agregados para verificar que el agregado este exento de polvo, tierra, terrones de arcilla y otras sustancias				
4	Realizar ensayo de granulometría en cantera a los agregados que se van a solicitar a la cantera		RESULTADOS (ANEXO), CUMPLE?:	COMENTARIO:	
3	Requerir el volumen de agregados finos, gruesos y filler según la demanda de MAC y el espacio disponible para almacenamiento de estos				
4	Requerir el Combustible según la demanda de MAC y el tiempo de procura para traslado de grifo.				
5	Habilitar el espacio para almacenamiento de agregados fino, grueso y filler deacuerdo al volumen solicitado. La cama de los acopios de los agregados debe tener una losa construida o una cama de 15 cm sobre terreno natural				
II	RECEPCION Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Recepción de la arena, piedra y almacenamiento por separado en sus acopios				
2	Recepción del filler (en sacos o bolsas) y almacenamiento en su depósito				
3	Colocación de Cobertura de protección a los acopios de agregados (fino y grueso)				
4	Protección del filler con una cobertura y ventilado				
5	Recepción del cemento asfáltico verificando el volumen				
6	Recepción de la ficha técnica del cemento asfáltico (datos técnicos, curva viscosidad temperatura, temperatura de mezclado y compactación)				
7	Almacenamiento el cemento asfáltico en el tanque de la planta evitando su exposición constante al medio ambiente (polvo y agentes contaminantes)				
8	Recepción del combustible y almacenamiento en el tanque de la planta				
9	Ejecución de ensayos de calidad a los agregados y filler según parámetros y frecuencias del anexo PC-1	RESULTADOS			
	Agregado grueso - Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)				
	Agregado grueso - Abrasión Los Ángeles				
	Agregado grueso - Adherencia				
	Agregado grueso - Índice de Durabilidad				
	Agregado grueso - Partículas chatas y alargadas				
	Agregado grueso - Caras fracturadas				
	Agregado grueso - Sales Solubles Totales				
	Agregado grueso - Absorción				
	Agregado grueso - Partículas deleznales				
	Agregado fino - Equivalente de Arena				
	Agregado fino - Angularidad del agregado fino				
	Agregado fino - Azul de metileno				
	Agregado fino - Índice de Plasticidad (malla N.º 40)				
	Agregado fino - Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)				
	Agregado fino - Índice de Durabilidad				
	Agregado fino - Índice de Plasticidad (malla N.º 200)				
	Agregado fino - Sales Solubles Totales				
	Agregado fino - Absorción				
	Agregado fino - Partículas deleznales				
	Filler - Densidad aparente				
	Filler - Coeficiente de emulsividad				
10	Ejecución de ensayos de calidad al cemento asfáltico según requerimientos del anexo PC-2 por cada lote de cemento asfáltico adquirido				
	Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm				
	Punto de Inflamación, °C				
	Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm				
	Solubilidad en Tricloro-etileno, %				
	Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)				
	Solvente Nafta - Estándar				
	Solvente Nafta - Xileno, %Xileno				
	Solvente Heptano - Xileno, %Xileno				
	Pérdida de masa, %				
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %				
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %				

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD				PROT. TIPO	PC-UCSM-01
PROTOCOLO: RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS				REVISIÓN	01
				PÁGINAS	02 DE 02
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente					
Aplicación: Por jornada					
PROYECTO:					Firma: Ingeniero de Produccion
MAC:		FECHA:			
JEFE DE PLANTA:		VOLUMEN DE DEMANDA:			
III	INSPECCION Y CALIBRACION DE LA PLANTA ASFALTICA	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Vigencia de licencia municipal para funcionamiento de la planta				
2	Vigencia de certificado de estudio de emision de polvo de la planta				
3	Operatividad y revision de mangas de emision de polvo				
4	Operatividad de todos los termometros de la planta(calibracion)				
5	Operatividad de toma de muestreo del tanque de almacenamiento del cemento asfaltico				
6	Operatividad y revision de motores y equipos de planta				
7	Operatividad y revision de la caldera de la planta				
8	Operatividad y revision de grupo electrogeno de planta				
9	Verificacion de la ubicación de todos los extintores de la planta				
10	Verificacion de vigencia de certificados de todos los extintores de la planta				
11	Verificacion y revision de las paredes y dispositivos de las tolvas de los agregados (fajas, balanzas y paredes)				
12	Colocacion de cobertura de proteccion a las tolvas de los agregados y filler de la planta(proteccion contra la lluvia y agentes contaminantes)				
13	EPP's completos del personal de planta(casco, lentes, guantes, mamehuco, zapatos de seguridad y mascarillas para proteccion respiratoria)				
IV	INSPECCION DE EQUIPOS DE LABORATORIO, VEHICULOS Y PERSONAL	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Verificaion de la operatividad de todos los equipos del laboratorio				
2	Certificados de calibracion en vigencia de todos los equipos del laboratorio en regla (1 vez al año)				
3	Habilitacion de todas las hojas de trabajo para la ejecucion de ensayos y toma de datos				
4	Operatividad, revision de todos los volquetes y habilitacion de sus toldos de proteccion para el MAC)				
5	Operatividad y revision del cargador frontal				
5	Capacitacion del personal de planta(mezclas asfalticas, trabajos en caliente, accidentes, etc)				
PRODUCCION		JEFE DE PLANTA		SUPERVISOR	
Firma:		Firma:		Firma:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

➤ Protocolo PC-UCSM-02

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD							PROT. TIPO	PC-UCSM-02			
PROTOCOLO: PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN PLANTA							REVISIÓN	01			
							PÁGINAS	01 DE 02			
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente											
Aplicación: Por jornada											
PROYECTO:							Firma: Ingeniero de Producción				
MAC:				FECHA:							
JEFE DE PLANTA:				VOLUMEN DE DEMANDA:							
PREPARACION DE PLANTA 01 DIA PREVIO A PRODUCCION											
I	COORDINACION DE TIEMPOS DE PRODUCCION			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Definir las especificaciones técnicas del MAC a producir; Temperatura de quemado de agregados, del Cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica, diseño de mezcla asfáltica y combinación de agregados)										
2	Coordinar para calentamiento del cemento asfáltico 01 día antes de producción										
3	Coordinar con el equipo de planta los tiempos de producción y hora de ingreso										
4	Coordinar con el cliente, horas de salida de los vehículos de planta y volumen de demanda										
5	Coordinación con operarios de volquetes para cargado de mezcla asfáltica										
VERIFICACION DE EQUIPOS E INSPECCIONES ESPECIFICAS PREVIAS A PRODUCCION											
I	SEGURIDAD			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Charla de seguridad al personal de planta										
2	Definición de rutas de circulación de volquetes con el equipo de planta										
3	Personal con todo el EPP para la jornada de trabajo (casco, lentes, guantes, mameluco, zapatos de seguridad y mascarillas para protección respiratoria)										
II	HABILITACION DE MATERIALES PARA PRODUCCION			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Temperatura ideal del cemento asfáltico para mezclado con el agregado				TEMPERATURA:		COMENTARIO:				
2	Habilitación de Acopios de agregados para producción (quitar cobertura)										
3	Traslado de filler del almacén a su tolva en planta										
III	CALIBRACION DE FAJAS			ENSAYO	PROPORCION DE COMBINACION DE AGREGADOS						
1	Calibración de fajas			ENSAYO 1	PIEDRA(gr. y %):		ARENA(gr. y %):				
				ENSAYO 2	PIEDRA(gr. y %):		ARENA(gr. y %):				
				ENSAYO 3	PIEDRA(gr. y %):		ARENA(gr. y %):				
IV	EQUIPOS DE LABORATORIO			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Preparación de todos los equipos de laboratorio										
V	VOLQUETES PARA TRANSPORTE DEL MAC				VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7
				PLACA							
1	Tolvas de volquetes limpios			CONFORME ?							
2	Tolvas de volquetes roceados con combustible para evitar la adhesión del MAC			CONFORME ?							
3	Volquetes con sus toldos de protección habilitados			CONFORME ?							
PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA											
I	MANIPULACION DE MATERIALES			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Operación de tolvas en frío entre el 50% y el 100% de su capacidad, sin rebosar										
2	Control de temperatura del cemento asfáltico en el tanque				TEMPERATURA 1 (°C)		TEMPERATURA 2 (°C)		TEMPERATURA 3(°C)		
II	ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA			SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Verificar que el cemento asfáltico no entre en contacto con elementos metálicos de la caldera.										
2	Verificar la Operación del incorporador de aditivos a la mezcla asfáltica										
3	Verificación por lavado asfáltico (02 lavados por jornada o 06 lavados por tramo)			LAVADO 1	PIEDRA(gr. y %):		ARENA(gr. y %):		PEN(gr. y %):		
				LAVADO 2	PIEDRA(gr. y %):		ARENA(gr. y %):		PEN(gr. y %):		
4	Verificar la distribución homogénea del asfalto en el MAC en los volquetes			PLACA	VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7
				CONFORME ?							
5	El personal está con todo el EPP en producción										
6	Combustión completa del quemador (ausencia de humo negro)										
7	La temperatura de los agregados quemados no excede al PEN en 5 °C										
8	Control de volumen cargado en volquete (no exceder la capacidad del volquete)										

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD							PROT. TIPO	PC-UCSM-02	
PROTOCOLO: PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN PLANTA							REVISIÓN	01	
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente							PÁGINAS	02 DE 02	
Aplicación: Por jornada									
PROYECTO:							Firma: Ingeniero de Producción		
MAC:			FECHA:						
JEFE DE PLANTA:			VOLUMEN DE DEMANDA:						
III	ENSAYOS Y CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
			VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7
1	Temperatura del MAC medido en la tolva del volquete, coincidente con el especificado en la ficha técnica del Cemento asfáltico	PLACA							
		TEMPERATURA (°C)							
2	Ensayos a la mezcla asfáltica producida en planta según parámetros del anexo PC-3								
			PROBETA 1		PROBETA 2				
	Ensayo Marshall (02 probetas por jornada o 06 probetas por tramo)	ESTABILIDAD (KN)			ESTABILIDAD (KN)				
		FLUJO (UND)			FLUJO (UND)				
	Adherencia	RESULTADO			COMENTARIOS				
	Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	RESULTADO			COMENTARIOS				
	Prueba de Hamburgo Wheel Track	RESULTADO			COMENTARIOS				
IV	PROTECCION DEL MAC Y REGISTRO DE VOLQUETES	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
			VOLQUETE1	VOLQUETE2	VOLQUETE3	VOLQUETE4	VOLQUETE5	VOLQUETE6	VOLQUETE7
1	Colocación de toldos de cobertura para proteger el MAC cargado en los volquetes	PLACA							
		CONFORME?							
2	Control de salida del volquete cargado	HORA DE SALIDA							
3	Coordinación de salida del volquete con el cliente	CONFORME?							
V	LIMPIEZA Y REGISTRO DE PRODUCCION	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Limpieza de tambor y mezclador de planta								
2	Acopiado de Residuos de mezcla asfáltica de tambor y mezclador para otro uso alternativo (asfalto en frío)								
3	Registro de volumen producido en jornada	VOLUMEN:			COMENTARIO:				
4	Coordinación con el cliente para próximo volumen de demanda								
5	Control de volumen de agregados utilizados y faltantes para próxima producción	SE REQUIERE?			VOLUMEN REQUERIDO:				
6	Control de volumen de filler utilizado y faltante para próxima producción	SE REQUIERE?			VOLUMEN REQUERIDO:				
7	Control de cemento asfáltico utilizado y faltante para próxima producción	SE REQUIERE?			VOLUMEN REQUERIDO:				
8	Control de combustible utilizado y faltante para próxima producción	SE REQUIERE?			VOLUMEN REQUERIDO:				
9	Repetir los procesos de "recepción e inspección de materiales y equipos - Requerimiento de materiales y recepción y almacenamiento de materiales"								
10	Realizar todos los ensayos a los agregados si se excede el volumen de demanda a la cantera establecido en la norma (Tabla 423-16, "ensayos y frecuencias", Norma EG-2013)	VOLUMEN ACUMULADO DE PIEDRA:			VOLUMEN ACUMULADO DE ARENA:				
11	Realizar todos los ensayos al cemento asfáltico por cada cisterna que abastezca a la planta establecido en la norma (Tabla 415-02, "especificaciones del cemento asfáltico", Norma EG-2013)								
OBSERVACIONES:									
PRODUCCION			JEFE DE PLANTA			SUPERVISOR			
Firma:			Firma:			Firma:			
Nombre:			Nombre:			Nombre:			
Cargo:			Cargo:			Cargo:			
Fecha:			Fecha:			Fecha:			

➤ Protocolo PC-UCSM-03

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD						PROT. TIPO	PC-UCSM-03	
PROTOCOLO: TRANSPORTE Y ASFALTADO CON MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE						REVISIÓN	01	
Concepto: Verificación de los procedimientos de colocación de mezcla asfáltica en caliente						PÁGINAS	01 DE 01	
Aplicación: Por jornada								
PROYECTO:							Firma: Ingeniero de Produccion	
MAC :				FECHA :				
ING. RESIDENTE :				PLANO DE REFERENCIA				
PROGRESIVA INICIAL :				PROGRESIVA FINAL:				
TRANSPORTE DE MEZCLA Y ASFALTADO								
I	CONTROL DE TEMPERATURAS	TEMPERATURA	PLACA	LLEGADA	ESPARCIDO	COMPACTACION		
1	Control de temperaturas en transporte del MAC: Temperatura de esparcido: 145 - 150 °C, Temperatura de Compactacion(rodrillo neumático): 95 - 115 °C	VOLQUETE 1						
		VOLQUETE 2						
		VOLQUETE 3						
		VOLQUETE 4						
		VOLQUETE 5						
		VOLQUETE 6						
		VOLQUETE 7						
II	PROCESO CONSTRUCTIVO	SI/NO/NA	COMENTARIOS					
1	Control de espesores en el asfaltado							
2	Compactacion según requerimientos de la norma: Compactacion inicial, zona tierna, compactacion intermedia y compactacion final							
3	Rodillo neumático tendrá de 20.000 a 22.000 kg de peso, ejerciendo una presión de contacto por llanta entre 520 kPa y 550 kPa							
OBSERVACIONES:								
PRODUCCION		INGENIERO RESIDENTE			SUPERVISOR			
Firma:		Firma:			Firma:			
Nombre:		Nombre:			Nombre:			
Cargo:		Cargo:			Cargo:			
Fecha:		Fecha:			Fecha:			

➤ Protocolo PC-UCSM-04

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD											PROT. TIPO	PC-UCSM-04							
PROTOKOLO: CONTROL POST-CAMPO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE COMPACTADA											REVISIÓN	01							
Concepto: Verificación de Post-Campo de mezcla asfáltica en caliente											PÁGINAS	01 DE 01							
Aplicación: Por jornada																			
PROYECTO:											Firma: Ingeniero de calidad								
MAC:					FECHA:														
ING. RESIDENTE :					PLANO DE REFERENCIA														
PROGRESIVA INICIAL :					PROGRESIVA FINAL:														
POST-CAMPO PARA MEZCLA ASFALTICA																			
I	VERIFICACION DE COMPACTACION									D1	D2	D3	D4	D5	D6	Dm	De	CONFORME: (SI/NO)	
1	Determinación de densidad de la capa compactada																		
II	VERIFICACION DE ESPESOR DEL TRAMO COMPACTADO									E1	E2	E3	E4	E5	E6	Em	Ed	CONFORME: (SI/NO)	
1	Determinación del espesor de la capa compactada																		
III	VERIFICACION DE UNIFORMIDAD DE LA SUPERFICIE									COTA 1 PROYECTO		COTA 1 REAL		COTA 2 PROYECTO		COTA 2 REAL		CONFORME? SI/NO	
1	La cota de cualquier punto de la mezcla densa compactada en capas de base o rodadura, no deberá variar en más de 5 mm de la proyectada (02 puntos por jornada o 06 puntos por tramo)																		
IV	VERIFICACION DE LA TEXTURA									PRUEBA 1		PRUEBA 2		COMENTARIOS					
1	Determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento																		
V	VERIFICACION DE LA RUGOSIDAD									PRUEBA 1		PRUEBA 2		COMENTARIOS					
1	Determinar la rugosidad de la capa compactada																		
VI	VERIFICACIONES DE DEFLEXIONES SOBRE LA CARPETA ASFALTICA TERMINADA									PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3		PRUEBA 4		COMENTARIOS	
1	Determinar las deflexiones de la carpeta asfáltica terminada																		
OBSERVACIONES:																			
INGENIERO DE CALIDAD				INGENIERO RESIDENTE				SUPERVISOR											
Firma:				Firma:				Firma:											
Nombre:				Nombre:				Nombre:											
Cargo:				Cargo:				Cargo:											
Fecha:				Fecha:				Fecha:											

➤ Anexo PC-1

Requerimientos para los Agregados Gruesos					
Ensayos	Norma	Requerimiento		Frecuencia	Lugar de muestreo
		Altitud (msnm)			
		=<3000	>3000		
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E-209	18% máx.	15% máx.	1000 m3	Tolva en frio
Abrasión de los Ángeles	MTC E-207	40% máx.	35% máx.	1000 m3	Tolva en frio
Adherencia	MTC E-517	+95	+95	Por lote	Tolva en frio
Índice de Durabilidad	MTC E-214	35% mín.	35% mín.	Por lote	Tolva en frio
Partículas chatas y alargadas	ASTM-4791	10% máx.	10% máx.	500 m3	Tolva en frio
Caras Fracturadas	MTC E-210	85/50	90/70	500 m3	Tolva en frio
Sales Solubles Totales	MTC E-219	0,5% máx.	0,5% máx.	Por lote	Tolva en frio
Absorción	MTC E-206	1,0% máx.	1,0% máx.	Por lote	Tolva en frio
Partículas Deleznales	MTC E-212	1,0% máx.	1,0% máx.	Por lote	Tolva en frio

Requerimientos para los Agregados Gruesos					
Ensayos	Norma	Requerimiento		Frecuencia	Lugar de muestreo
		Altitud (msnm)			
		=<3000	>3000		
Equivalente de Arena	MTC E-114	60	70	1000 m3	Tolva en frio
Angularidad del agregado fino	MTC E-222	30	40.0	1000 m3	Tolva en frio
Azul de metileno	AASTHO TP-57	8 máx.	8 máx.	1000 m3	Tolva en frio
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E-111	NP	NP	200 m3	Tolva en frio
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E-209	-	18% máx.	1000 m3	Tolva en frio
Índice de Durabilidad	MTC E-214	35 mín.	35 mín.	Por lote	Tolva en frio
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E-211	4 máx.	NP	200 m3	Tolva en frio
Sales Solubles Totales	MTC E-219	0,5% máx.	0,5% máx.	Por lote	Tolva en frio
Absorción	MTC E-205	0,5% máx.	0,5% máx.	Por lote	Tolva en frio
Partículas Deleznales	MTC E-212	1,0% máx.	1,0% máx.	Por lote	Tolva en frio

Requerimientos para Filler				
Ensayos	Norma	Requerimiento	Frecuencia	Lugar de muestreo
Densidad Aparente	MTC E-205	0.5-0.8 g/cm3	Por lote	Tolva en frio
Coeficiente de Emulsividad	NLT-180	< 0.6	Por lote	Tolva en frio

➤ Anexo PC-2

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Grado	Tipo	Ensayo	Grado Penetración											
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300			
			min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx		
Pruebas sobre el Material Bituminoso														
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm		MTCE 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300		
Punto de Inflamación, °C		MTCE 312	232		232		232		218		177			
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm		MTCE 306	100		100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloro-etileno, %		MTCE 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0			
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾		MTCE 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1		
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾														
Solvente Nafta – Estándar			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h														
Pérdida de masa, %		ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5		
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %		MTCE 304	55+		52+		47+		42+		37+			
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾		MTCE 306			50		75		100		100			

➤ Anexo PC-3

Requerimientos para control de mezcla asfáltica en planta				
Ensayos/Nivelación	Norma	Requerimiento		Frecuencia
		Altitud (msnm)		
		≤3000	>3000	
Ensayo Marshall	MTC E-504	Según diseño de mezclas asfálticas		2 por día
Adherencia	MTC E-519	-	+95	1000 m ³
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T-283	-	80% Min.	1000 m ³
Prueba de Hamburgo Wheel Track	AASHTO T-324	-	-	1000 m ³

➤ Anexo PC-4

Requerimientos Post-Campo para mezcla asfáltica en pista			
Ensayos	Norma	Requerimiento	Frecuencia
Compactación - Densidad	MTC E-506, 508 y 510	$D_m \geq 0,98 D_e$ y $D_i \geq 0,97 D_m$	cada 250 m ²
Espesor	MTC E-507	$e_m \geq e_d$ y $e_i \geq 0,95 e_d$	cada 250 m ²
Uniformidad de la superficie	-	< 5 mm	2 por jornada
Resistencia al deslizamiento - Textura	MTC E-1004	Min. 0.45	1 por día
Rugosidad (IRI)	-	Max. 2 m/km	Cada 100 m
Deflexiones	-	Deflexión de ejes equivalentes de diseño	Cada 50 m

Dm: densidad media del tramo en campo

em: espesor medio del tramo en campo

De: densidad media obtenida en laboratorio

ed: espesor de diseño

Di: densidad de cada testigo individual

ei: espesor de cada prueba individual

2. Implementación del protocolo de Calidad en Planta

A continuación, se presenta el cuadro de implantación del protocolo de calidad implementado en la planta de asfalto GyA Contratistas ubicado en el Toquepala – Southern Perú

La planta está contratada para proveer de mezcla asfáltica en obra mas no está encargada de la colocación y control en el proyecto, por esta razón solo se utilizará el protocolo PC-UCSM-01.

Adicionalmente, se presentan imágenes de la planta con la implementación de protocolo.



Figura 165 y 166: Planta de asfalto GyA Contratistas, Fuente: Toquepala (2019)

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD						PROT. TIPO	PC-UCSM-01
PROTOCOLO: RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS						REVISIÓN	01
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente						PÁGINAS	01 DE 02
Aplicación: Por jornada							
PROYECTO:	ASFALTADO DE VIAS DE ACCESO PARA VEHICULOS PESADOS - SOUTHERN PERU					Firma: Ingeniero de Produccion	
MAC:	MAC - 1	FECHA:	24/10/2019				
JEFE DE PLANTA:	ING. MARIO GONZALES	VOLUMEN DE DEMANDA:	60 M3				
RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS (02 SEMANAS ANTES DE PRODUCCION)							
I	REQUERIMIENTO DE MATERIALES	SI/NO/NA	COMENTARIOS				
1	Recepcion de las especificaciones tecnicas del MAC a producir tipo de piedra, arena, filler y cemento asfaltico)	SI	-				
2	Requerir el cemento asfaltico según la demanda de MAC y el tiempo de procura para traslado de refineria	SI	-				
3	Visitar la cantera de producción de agregados para verificar que el agregado este exento de polvo, tierra, terrones de arcilla y otras sustancias	NO	-				
4	Realizar ensayo de granulometria en cantera a los agregados que se van a solicitar a la cantera	NA	RESULTADOS (ANEXO), CUMPLE?:	-	COMENTARIO:	LA CANTERA TIENE UN CONTRATO CON EL QUE TIENE QUE PROVEER DE UN TIPO ESPECIFICO DE AGREGADOS	
3	Requerir el volumen de agregados finos, gruesos y filler según la demanda de MAC y el espacio disponible para almacenamiento de estos	SI	-				
4	Requerir el Combustible según la demanda de MAC y el tiempo de procura para traslado de grifo.	SI	-				
5	Habilitar el espacio para almacenamiento de agregados fino, grueso y filler deacuerdo al volumen solicitado. La cama de los acopios de los agregados debe tener una losa construida o una cama de 15 cm sobre terreno natural	SI	-				
II	RECEPCION Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES	SI/NO/NA	COMENTARIOS				
1	Recepcion de la arena, piedra y almacenamiento por separado en sus acopios	SI	-				
2	Recepcion del filler(en sacos o bolsas) y almacenamiento en su deposito	NA	-				
3	Colocacion de Cobertura de proteccion a los acopios de agregados (fino y grueso)	SI	-				
4	Proteccion del filler con una cobertura y ventilado	NA	-				
5	Recepcion del cemento asfaltico verificando el volumen	SI	-				
6	Recepcion de la ficha tecnica del cemento asfaltico (datos tecnicos, curva viscosidad temperatura, temperatura de mezclado y compactacion)	SI	-				
7	Almacenamiento el cemento asfaltico en el tanque de la planta evitando su exposicion constante al medio ambiente(polvo y agentes contaminantes)	SI	-				
8	Recepcion del combustible y almacenamiento en el tanque de la planta	SI	-				
9	Ejecucion de ensayos de calidad a los agregados y filler segun parametros y frecuencias del anexo PC-1	RESULTADOS	PRIMERA PRODUCCION - YA SE TIENE UN DISEÑO DE MEZCLAS CON ESTE AGREGADO, NO APLICA ENSAYOS DE CONTROL				
	Agregado grueso - Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	NA	-				
	Agregado grueso - Abrasion Los Angeles	NA	-				
	Agregado grueso - Adherencia	NA	-				
	Agregado grueso - Índice de Durabilidad	NA	-				
	Agregado grueso - Partículas chatas y alargadas	NA	-				
	Agregado grueso - Caras fracturadas	NA	-				
	Agregado grueso - Sales Solubles Totales	NA	-				
	Agregado grueso - Absorción	NA	-				
	Agregado grueso - Partículas deleznales	NA	-				
	Agregado fino - Equivalente de Arena	NA	-				
	Agregado fino - Angularidad del agregado fino	NA	-				
	Agregado fino - Azul de metileno	NA	-				
	Agregado fino - Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	NA	-				
	Agregado fino - Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	NA	-				
	Agregado fino - Índice de Durabilidad	NA	-				
	Agregado fino - Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	NA	-				
	Agregado fino - Sales Solubles Totales	NA	-				
	Agregado fino - Absorción	NA	-				
	Agregado fino - Partículas deleznales	NA	-				
	Filler - Densidad aparente	NA	-				
	Filler - Coeficiente de emulsividad	NA	-				
10	Ejecucion de ensayos de calidad al cemento asfaltico segun requerimientos del anexo PC-2 por cada lote de cemento asfaltico adquirido						
	Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	NA	-				
	Punto de Inflamación, °C	NA	-				
	Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	NA	-				
	Solubilidad en Tricloro-etileno, %	NA	-				
	Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	NA	-				
	Solvente Nafta - Estándar	NA	-				
	Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	NA	-				
	Solvente Heptano - Xileno, %Xileno	NA	-				
	Pérdida de masa, %	NA	-				
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	NA	-				
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	NA	-				

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD				PROT. TIPO	PC-UCSM-01
PROTOCOLO: RECEPCION E INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS				REVISIÓN	01
				PÁGINAS	02 DE 02
Concepto:		Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente			
Aplicación:		Por jornada			
PROYECTO:	ASFALTADO DE VIAS DE ACCESO PARA VEHICULOS PESADOS - SOUTHERN PERU				Firma: Ingeniero de Produccion
MAC:	MAC - I	FECHA:	24/10/2019		
JEFE DE PLANTA:	ING. MARIO GONZALES	VOLUMEN DE DEMANDA:	60 M3		
III	INSPECCION Y CALIBRACION DE LA PLANTA ASFALTICA	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Vigencia de licencia municipal para funcionamiento de la planta	SI			
2	Vigencia de certificado de estudio de emisión de polvo de la planta	NO	SE REQUIERE ESTUDIO DE EMISION DE POLVOS		
3	Operatividad y revisión de mangas de emisión de polvo	SI	-		
4	Operatividad de todos los termómetros de la planta(calibracion)	NO	SE REQUIERE CALIBRACION		
5	Operatividad de toma de muestreo del tanque de almacenamiento del cemento asfáltico	SI	-		
6	Operatividad y revisión de motores y equipos de planta	SI	-		
7	Operatividad y revisión de la cadera de la planta	SI	-		
8	Operatividad y revisión de grupo electrogeno de planta	SI	-		
9	Verificación de la ubicación de todos los extintores de la planta	SI	-		
10	Verificación de vigencia de certificados de todos los extintores de la planta	SI	-		
11	Verificación y revisión de las paredes y dispositivos de las tolvas de los agregados (fajas, balanzas y paredes)	SI	-		
12	Colocación de cobertura de protección a las tolvas de los agregados y filler de la planta(proteccion contra la lluvia y agentes contaminantes)	NO	SE REQUIERE COBERTURAS DE PROTECCION		
13	EPP's completos del personal de planta(casco, lentes, guantes, mameluco, zapatos de seguridad y mascarillas para protección respiratoria)	SI	-		
IV	INSPECCION DE EQUIPOS DE LABORATORIO, VEHICULOS Y PERSONAL	SI/NO/NA	COMENTARIOS		
1	Verificación de la operatividad de todos los equipos del laboratorio	SI	-		
2	Certificados de calibración en vigencia de todos los equipos del laboratorio en regla (1 vez al año)	SI	-		
3	Habilitación de todas las hojas de trabajo para la ejecución de ensayos y toma de datos	SI	-		
4	Operatividad, revisión de todos los volquetes y habilitación de sus toldos de protección para el MAC)	SI	-		
5	Operatividad y revisión del cargador frontal	SI	-		
5	Capacitación del personal de planta(mezclas asfálticas, trabajos en caliente, accidentes, etc)	NO	SE REQUIERE CAPACITACION DEL PERSONAL EN TEMAS DE SEGURIDAD, TRABAJOS EN CALIENTE Y RESPUESTA ANTE ACCIDENTES		
PRODUCCION		JEFE DE PLANTA		SUPERVISOR	
Firma:		Firma:		Firma:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD							PROL. TIPO	PC-UCSM-02	
PROTICOLO: PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN PLANTA							REVISION	01	
							PAGINAS	01 DE 02	
Concepto:	Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente								
Aplicación:	Por jornada								
PROYECTO:	ASFALTADO DE VIAS DE ACCESO PARA VEHICULOS PESADOS - SOUTHERN PERU						Firma: Ingeniero de Produccion		
MAC:	MAC - 1	FECHA:	04/11/2019						
JEFE DE PLANTA:	ING. MARIO GONZALES	VOLUMEN DE DEMANDA:	60 M3						
PREPARACION DE PLANTA 01 DIA PREVIO A PRODUCCION									
I	COORDINACION DE TIEMPOS DE PRODUCCION	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Definir las especificaciones técnicas del MAC a producir: Temperatura de quemado de agregados, del Cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica, diseño de mezcla asfáltica y combinación de agregados)	SI	-						
2	Coordinar para calentamiento del cemento asfáltico 01 día antes de producción	SI	-						
3	Coordinar con el equipo de planta los tiempos de producción y hora de ingreso	SI	-						
4	Coordinar con el cliente, horas de salida de los vehículos de planta y volumen de demanda	SI	-						
5	Coordinación con operarios de volquetes para cargado de mezcla asfáltica	SI	-						
VERIFICACION DE EQUIPOS E INSPECCIONES ESPECIFICAS PREVIAS A PRODUCCION									
I	SEGURIDAD	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Charla de seguridad al personal de planta	SI	-						
2	Definición de rutas de circulación de volquetes con el equipo de planta	SI	-						
3	Personal con todo el EPP para la jornada de trabajo (casco, lentes, guantes, mamehuco, zapatos de seguridad y mascarillas para protección respiratoria)	SI	-						
II	HABILITACION DE MATERIALES PARA PRODUCCION	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Temperatura ideal del cemento asfáltico para mezclado con el agregado	NO	TEMPERATURA:	125	COMENTARIO:	DEFINIR TEMPERATURA DE MEZCLADO			
2	Habilitación de Acopios de agregados para producción (quitar cobertura)	SI	-						
3	Traslado de filler del almacén a su tolva en planta	NA	-						
III	CALIBRACION DE FAJAS	ENSAYO	PROPORCION DE COMBINACION DE AGREGADOS						
1	Calibración de fajas	ENSAYO 1	PIEDRA(gr. y %):	46.80%	ARENA(gr. y %):	53.20%			
		ENSAYO 2	PIEDRA(gr. y %):	-	ARENA(gr. y %):	-			
		ENSAYO 3	PIEDRA(gr. y %):	-	ARENA(gr. y %):	-			
IV	EQUIPOS DE LABORATORIO	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Preparación de todos los equipos de laboratorio	SI	-						
V	VOLQUETES PARA TRANSPORTE DEL MAC		VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7
		PLACA	V5Y-736	T6I-884	V1G-804	C4J-815			
1	Tolvas de volquetes limpios	CONFORME ?	SI	SI	SI	SI			
2	Tolvas de volquetes roceados con combustible para evitar la adhesión del MAC	CONFORME ?	SI	SI	SI	SI			
3	Volquetes con sus toldos de protección habilitados	CONFORME ?	SI	SI	SI	SI			
PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA									
I	MANIPULACION DE MATERIALES	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Operación de tolvas en frío entre el 50% y el 100% de su capacidad, sin rebosar	NO	-						
2	Control de temperatura del cemento asfáltico en el tanque	TEMPERATURA 1 (°C)	121 °C	TEMPERATURA 2 (°C)	126 °C	TEMPERATURA 3(°C)	125 °C		
II	ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA	SI/NO/NA	COMENTARIOS						
1	Verificar que el cemento asfáltico no entre en contacto con elementos metálicos de la caldera.	SI	-						
2	Verificar la Operación del incorporador de aditivos a la mezcla asfáltica	NA	-						
3	Verificación por lavado asfáltico (02 lavados por jornada o 06 lavados por tramo)	LAVADO 1	PIEDRA(gr. y %):	44.36	ARENA(gr. y %):	50.04	PEN(gr. y %):	5.6	
		LAVADO 2	PIEDRA(gr. y %):	-	ARENA(gr. y %):	-	PEN(gr. y %):	-	
4	Verificar la distribución homogénea del asfalto en el MAC en los volquetes	PLACA	V5Y-736	T6I-884	V1G-804	C4J-815	-	-	-
		CONFORME ?	SI	SI	SI	SI	-	-	-
5	El personal está con todo el EPP en producción	NO	SE REQUIEREN RESPIRADORES						
6	Combustión completa del quemador (ausencia de humo negro)	SI	-						
7	La temperatura de los agregados quemados no excede al PEN en 5 °C	NO	LA TEMPERATURA DE LOS AGREGADOS EXCEDE EN 20 °C						
8	Control de volumen cargado en volquete (no exceder la capacidad del volquete)	SI	-						

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD							PROT. TIPO	PC-UCSM-02	
PROTOKOLO: PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN PLANTA							REVISION	01	
							PÁGINAS	02 DE 02	
Concepto: Verificación de los procedimientos de producción de mezcla asfáltica en caliente									
Aplicación: Por jornada									
PROYECTO: ASFALTADO DE VIAS DE ACCESO PARA VEHICULOS PESADOS - SOUTHERN PERU							Firma: Ingeniero de Produccion		
MAC: MAC - 1		FECHA: 04/11/2019							
JEFE DE PLANTA: ING. MARIO GONZALES		VOLUMEN DE DEMANDA: 60 M3							
III ENSAYOS Y CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				COMENTARIOS					
1	Temperatura del MAC medido en la tolva del volquete, coincidente con el especificado en la ficha técnica del Cemento asfáltico	SI/NO/NA	VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7
		PLACA	V5Y-736	T6I-884	V1G-804	C4J-815	-	-	-
		TEMPERATURA (°C)	149.1	147.3	151.4	148.5	-	-	-
2	Ensayos a la mezcla asfáltica producida en planta según parámetros del anexo PC-3	NO							
3	Ensayo Marshall (02 probetas por jornada o 06 probetas por tramo)	PROBETA 1			PROBETA 2				
		ESTABILIDAD (KN)	-			ESTABILIDAD (KN)	-		
		FLUJO (UND)	-			FLUJO (UND)	-		
		Adherencia	RESULTADO	-	COMENTARIOS	NO SE REALIZO EL ENSAYO			
	Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	RESULTADO	-	COMENTARIOS	NO SE REALIZO EL ENSAYO				
	Prueba de Hamburgo Wheel Track	RESULTADO	-	COMENTARIOS	NO SE REALIZO EL ENSAYO				
IV PROTECCION DEL MAC Y REGISTRO DE VOLQUETES		SI/NO/NA		COMENTARIOS					
1	Colocacion de toldos de cobertura para proteger el MAC cargado en los volquetes	VOLQUETE 1	VOLQUETE 2	VOLQUETE 3	VOLQUETE 4	VOLQUETE 5	VOLQUETE 6	VOLQUETE 7	
		PLACA	V5Y-736	T6I-884	V1G-804	C4J-815	-	-	-
		CONFORME?	SI	SI	SI	SI	-	-	
2	Control de salida del volquete cargado	HORA DE SALIDA	-	-	-	-	-	-	
3	Coordinacion de salida del volquete con el cliente	CONFORME?	SI	SI	SI	SI	-	-	
V LIMPIEZA Y REGISTRO DE PRODUCCION		SI/NO/NA		COMENTARIOS					
1	Limpieza de tambor y mezclador de planta	SI							
2	Acopiado de Residuos de mezcla asfáltica de tambor y mezclador para otro uso alternativo (asfalto en frío)	SI							
3	Registro de volumen producido en jornada	VOLUMEN:	60 M3	COMENTARIO:					
4	Coordinacion con el cliente para proximo volumen de demanda	SI							
5	Control de volumen de agregados utilizados y faltantes para proxima produccion	SE REQUIERE?	NO	VOLUMEN REQUERIDO:					
6	Control de volumen de filler utilizado y faltante para proxima produccion	SE REQUIERE?	NO	VOLUMEN REQUERIDO:					
7	Control de cemento asfáltico utilizado y faltante para proxima produccion	SE REQUIERE?	NO	VOLUMEN REQUERIDO:					
8	Control de combustible utilizado y faltante para proxima produccion	SE REQUIERE?	NO	VOLUMEN REQUERIDO:					
9	Repetir los procesos de "recepcion e inspeccion de materiales y equipos - Requerimiento de materiales y recepcion y almacenamiento de materiales"	NA							
10	Realizar todos los ensayos a los agregados si se excede el volumen de demanda a la cantera establecido en la norma (Tabla 423-16, "ensayos y frecuencias", Norma EG-2013)	VOLUMEN ACUMULADO DE PIEDRA:	90 m3	VOLUMEN ACUMULADO DE ARENA:	105 m3				
11	Realizar todos los ensayos al cemento asfáltico por cada sistema que abastezca a la planta establecido en la norma (Tabla 415-02, "especificaciones del cemento asfáltico", Norma EG-2013)	NA							
OBSERVACIONES:									
PRODUCCION			JEFE DE PLANTA			SUPERVISOR			
Firma:			Firma:			Firma:			
Nombre:			Nombre:			Nombre:			
Cargo:			Cargo:			Cargo:			
Fecha:			Fecha:			Fecha:			

3. Análisis económico de implementación de Protocolo

Costo de la implantación del protocolo de calidad a las plantas asfálticas:

Ítem	Descripción de trabajo	Unid	Cant.	P.U.	Costo Parcial
A	Recepción e inspección de materiales y equipos				S/ 4,300.00
1	Recepción y almacenamiento de Agregados y aditivos	GLB	1.00	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
2	Recepción y almacenamiento de cemento Asfáltico	GLB	1.00	S/ 500.00	S/ 500.00
3	Inspección y calibración de la Planta Asfáltica	GLB	1.00	S/ 500.00	S/ 500.00
4	Inspección de equipos de laboratorio, vehículos y personal	GLB	1.00	S/ 300.00	S/ 300.00
5	Especificaciones Técnicas del MAC	GLB	1.00	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
B	Verificación de Equipos e Inspecciones específicas previas a producción				S/ 0.00
1	Coordinación de tiempos de producción	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
2	Preparación de materiales(cemento asfáltico, Agregados, filler y aditivos)	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
3	Calibración de Fajas	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
4	Equipos de Laboratorio	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
5	Volquetes para transporte de MAC	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
C	Producción de Mezcla Asfáltica				S/ 400.00
1	Manipulación de materiales(agregados, cemento asfáltico, aditivos)	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
2	Elaboración de Mezcla asfáltica	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
3	Control y ensayos a la Mezcla Asfáltica	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
4	Protección del MAC en volquete	GLB	1.00	S/ 400.00	S/ 400.00
5	Registro de Volquetes cargados	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
D	Transporte de Mezcla y Asfaltado				S/ 150.00
1	Control de temperaturas	GLB	1.00	S/ 0.00	S/ 0.00
2	Proceso constructivo	GLB	1.00	S/ 150.00	S/ 150.00
Costo directo					S/ 4,850.00
Gastos Generales					S/ 485.00
Presupuesto Total					S/ 5,335.00

El costo final representa los gastos que se tiene que realizar para implementar el protocolo de calidad, cabe aclarar que este gasto es solo una vez. El gasto que se tiene que hacer constantemente y no se hace en una planta estándar de la provincia de Arequipa son los gastos de todos los ensayos a los agregados.

Ítem	Descripción de trabajo	Und	Cant.	P.U.	Costo Parcial
A	Recepcion e inspeccion de materiales y equipos				S/ 3,500.00
1	Recepcion y almacenamiento de Agregados y aditivos	GLB	1.00	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
2	Recepcion y almacenamiento de cemento Asfáltico	GLB	1.00	S/ 500.00	S/ 500.00
5	Especificaciones Tecnicas del MAC	GLB	1.00	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
Costo directo					S/ 3,500.00
Gastos Generales					S/ 350.00
Presupuesto Total					S/ 3,850.00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

1. Los protocolos implantados otorgan parámetros de calidad a la producción de mezcla asfáltica en términos de puntos de control, inspección, ejecución y aprobación, los cuales son trabajables e involucra a todo el personal de planta.
2. El manual de carreteras EG-2013 establece una serie de requisitos y procedimientos que se tienen que seguir para una correcta elaboración y colocación del MAC, sin embargo, todos sus requerimientos están dispersos en toda la descripción del capítulo y que al final se presente un cuadro con solo algunos ensayos, lo que provoca que algunos requisitos queden sin realizar porque no son tomados en cuenta en el cuadro resumen final.
3. El protocolo ofrecido ofrece una mejora significativa en el desempeño de la mezcla asfáltica ya colocada ya que fue elaborado con materiales pétreos que pasaron todos los controles calidad, con un cemento asfáltico de proveedores reconocidos y un personal que controla para proceso de la elaboración del MAC
4. Los protocolos implantados deben ser llenado por el Ingeniero de producción y/o calidad al inicio de cada proyecto y por jornada de trabajo, e inmediatamente derivarlo al jefe de planta y/o residente de obra quien deberá intervenir cualquier falla que el protocolo informe.
5. Las plantas de producción estándar (móvil en la provincia de Arequipa) trabajan con una dosificación estándar cuando el cliente no proporciona el diseño de mezclas asfálticas, a esto añadido el origen variable del agregado, hace demasiado impredecible el comportamiento de la mezcla asfáltica en vía.

6. Ejecutando los protocolos de calidad de manera constante, se puede reducir el personal de planta a un óptimo de 04 personas: Ingeniero de producción, Operador de planta, Calderista, Operador de Cargador
7. Los agregados requeridos a las canteras deben pasar una prueba de tamizado previa solicitud, esto a fin de garantizar que están dentro del huso granulométrico según el manual de carreteras EG-2013.
8. La influencia de la mezcla producida en planta en las vías de la provincia de Arequipa es muy relevante, ya que el proceso constructivo del asfaltado no ha variado a lo largo del tiempo, en cambio, en la mezcla asfáltica varían varios factores, como los agregados, cemento asfáltico, filler, agentes contaminantes, etc.
9. Las tolvas de almacenamiento de la planta generalmente son sobrecargadas de volumen lo que provoca que el agregado fino y grueso se mezclen entre ellas. Este punto debe ser controlado constantemente o ampliar capacidad de estas.

2. Recomendaciones

1. Se recomienda, realizar todos los ensayos a los agregados según parámetros de la norma debido a la variabilidad observada que estos presentan en sus lotes de agregados.
2. Realizar un estudio de diseño de mezclas utilizando diferentes canteras para verificar el contenido óptimo de asfalto, ya que en los resultados obtenidos en este estudio se obtuvieron contenidos de asfalto diferentes a los comúnmente usados por las plantas.
3. Requerir agregados a las canteras con prestigio que los respalde ya que esto puede generar ahorro a lo largo del periodo de vida de la vía.
4. Realizar un buen control en la emisión de polvos generados por la maquinaria pesada y las tolvas de la planta ya que esto puede generar molestias en los propietarios de los terrenos colindantes a las plantas.
5. No recibir agregados y cemento asfáltico de dudosa procedencia ya que de no trabajar de manera adecuada la mezcla, la responsabilidad generalmente recae sobre la planta asfáltica.
6. Se recomienda realizar un estudio sobre los requisitos y ensayos totales del manual de carreteras EG-2013, Pavimentos flexibles ya que no se tienen bien definidos o enlistados totalmente en el cuadro presente al final de los requerimientos de aceptación.

3. Bibliografía

1. Pacco, N. (2015), *Plan De Calidad En La Producción De Mezcla Asfáltica En Caliente, En La Planta De Asfalto De La Ciudad De Juliaca*, Puno, Perú.
2. Cortez, J., Guzmán, W., Reyes, A. (2007), *Guía Básica De Diseño, Control De Producción Y Colocación De Mezclas Asfálticas En Caliente*, el Salvador
3. Instituto del Asfalto, Serie de Manuales (Ms-22), 1982, *Principios De Construcción De Pavimentos De Mezcla Asfáltica En Caliente*, New York.
4. Ordoñez, O., Minaya, S., *Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos*, México
5. Ministerio de transportes y comunicaciones MTC, 2013, *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*, Lima, Perú.
6. Tapia, M. (2018), *Pavimentos*, Universidad Autónoma de México.
7. Ministerio de transportes y comunicaciones MTC, 2016, *Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras*, Lima, Perú.
8. Inacal, 2019, *Normas Técnicas Peruanas*, Lima, Perú
9. Sociedad americana para pruebas y materiales ASTM, 2016, *Normas ASTM*
10. Terex, 2011, *Manual de plantas asfálticas*, Perú.
11. Ticel, 2019, *Manual de plantas asfálticas*, Perú.
12. Project management institute, 2019, *PMBOOK*, España.
13. Petroperú, 2016, *Manual de asfaltos*, Perú

4. Anexos

4.1. Certificado de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Católica de

Santa María



Arequipa - Perú

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Dr. Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia** Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

Que el Señor Bachiller en Ingeniería Civil:

FRANK ALEX MACHACA MASCO

(COD – 2012701161)

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondiente a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados por el Bachiller fueron los siguientes:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
TTI-14	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) A°G°	2	S/88.00	S/176.00
TTI-10	Abrasión de los Ángeles menor a 1 1/2" A°G°	2	S/28.00	S/56.00
	Adherencia A°G° **	2	S/0.00	S/0.00
	Índice de Durabilidad A°G° **	2	S/0.00	S/0.00
TTI-15	Partículas chatas y alargadas A°G°	2	S/20.00	S/40.00
TTI-16	Caras Fracturadas A°G°	2	S/30.00	S/60.00
TTI-06	Absorción A°G°	2	S/11.00	S/22.00
TTI-18	Partículas Deleznable A°G°	2	S/20.00	S/40.00
TTI-08	Peso unitario y vacíos de los agregados A°G°	2	S/6.00	S/12.00
TTI-09	Peso unitario y vacíos de los agregados A°F°	2	S/9.00	S/18.00
TTI-17	Equivalente de Arena A°F°	2	S/33.00	S/66.00
TTI-54	Índice de Plasticidad (malla Nro. 40) A°F°	2	S/9.00	S/18.00
TTI-13	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) A°F°	2	S/63.00	S/126.00
	Índice de Durabilidad A°F° **	2	S/0.00	S/0.00
TTI-66	Índice de Plasticidad (malla Nro. 200) A°F°	2	S/10.00	S/20.00
TTI-07	Absorción A°F°	2	S/11.00	S/22.00
TTI-19	Partículas Deleznable A°F°	2	S/15.00	S/30.00
	Diseño de mezclas Marshall **	2	S/0.00	S/0.00
			TOTAL:	S/706.00



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

El costo cancelado por dichos ensayos es de: S/ 500.00* (Comprobante BO17-00002793)

*Según descuento opción "B" por derecho de uso de laboratorio por tesis, de acuerdo a tarifario 2019 aprobado por el Consejo de Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente.

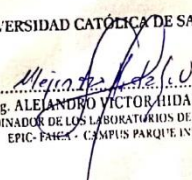
** El ensayo no se encuentra en el tarifario de tesis, por ello el costo unitario de S/ 0.00

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el 03/01/2019 y el 30/04/2019

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 3 de Diciembre del 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA


.....
Dr. Ing. ALEJANDRO VÍCTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
EPIC-FAHA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL

4.2. Ensayo de sales solubles totales - agregado grueso - Supermix

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL CIP 59876
EXPERTO TÉCNICO - INACAL

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORÍA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
Calle Palomar 107 Lote B - 3B - Cercado/ Teléf. 214163 / RPM : *414995 / RPC : 956781874 / laboratorio@rcflaboratorio.com

INFORME DE ENSAYO
SALES SOLUBLES

Rev. 00-04/17

CODIGO DE INFORME
RCFE 002 4/A/ 02-2019

Página : 1 de 1
F.Emisión: 2019/02/06

PROYECTO(*):	ANÁLISIS E IMPLEMENTACION DE PARAMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS ASFALTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA	F. RECEPCIÓN:	2019/01/30
UBICACIÓN(*):	PROVINCIA DE AREQUIPA - REGION AREQUIPA	F. EJECUCIÓN:	2019/01/31
SOLICITA(*):	FRANK ALEX MACHACA MASCO	ENSAYADO EN :	Laboratorio RCF S.R.L.
DIRECCIÓN(*):	AREQUIPA - AREQUIPA	CÓDIGO - M:	RCFE 002 M-1
CANTERA (*):	La Poderosa	CONDICIÓN:	M. Alterada
DESCRIPCION (*):	-	TIPO DE MATERIAL:	Agregado Grueso

Metodo de Ensayo Aplicado
*Calidad de concreto MTC E219

MATERIAL	PROCEDENCIA	SALES SOLUBLES	
		ppm	%
RCFE 002 M-1	La Poderosa	2638	0.26
-	-	-	-

Muestra depositada e identificada por el solicitante en el Laboratorio RCF S.R.L.

OBSERVACIONES (*): Muestra depositada en el laboratorio e identificada por el solicitante

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP: 59876

4.3. Ensayo de sales solubles totales - agregado fino - Supermix

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL CIP 59876
EXPERTO TÉCNICO - INACAL

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORÍA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
Calle Palomar 107 Lote B - 3B - Cercado/Telef. 214163 / RPM : *414995 / RPC : 956781874 / laboratorio@rcflaboratorio.com

INFORME DE ENSAYO
SALES SOLUBLES

Rev 00-04/17

CODIGO DE INFORME
RCFE 002 3/A/02-2019
Página: 1 de 1
F. Emisión: 2019/02/06

PROYECTO(*):	ANALISIS E IMPLEMENTACION DE PARAMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS ASFALTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA		
UBICACIÓN(*):	PROVINCIA DE AREQUIPA - REGION AREQUIPA	F. RECEPCIÓN:	2019/01/30
SOLICITA(*):	FRANK ALEX MACHACA MASCO	F. EJECUCIÓN:	2019/01/31
DIRECCIÓN(*):	AREQUIPA - AREQUIPA	ENSAYADO EN :	Laboratorio RCF S.R.L.
CANTERA (*):	La Poderosa	CÓDIGO - M:	RCFE 002 M-2
DESCRIPCION (*):	-	CONDICIÓN:	M. Alterada
		TIPO DE MATERIAL:	Agregado Fino

Metodo de Ensayo Aplicado
*Calidad de concreto MTC E219

MATERIAL	PROCEDENCIA	SALES SOLUBLES	
		ppm	%
RCFE 002 M-2	La Poderosa	3662	0.37
-	-	-	-

Muestra depositada e identificada por el solicitante en el Laboratorio RCF S.R.L.

OBSERVACIONES (*): Muestra depositada en el laboratorio e identificada por el solicitante

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

4.4. Ensayo de sales solubles totales - agregado grueso - Blakstone



RCF S.R.L.
ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN OBRAS CIVILES

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO ISO / EIC 17025
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Rev.00-04/17

CODIGO DE INFORME
AM 184.1/MS/05-2019/RCF
Página : 1 de 1
F.Emisión: 2019/05/13

INFORME DE ENSAYO
SALES SOLUBLES


PROYECTO(*):	ANALISIS E IMPLEMENTACION DE PARAMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS ASFALTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA		
UBICACIÓN(*):	PROVINCIA DE AREQUIPA - REGION AREQUIPA	F. RECEPCIÓN:	2019/05/6
SOLICITA(*):	FRANK ALEX MACHACA MASCO	F. EJECUCIÓN:	2019/05/09
DIRECCIÓN(*):	AREQUIPA - AREQUIPA	ENSAYADO EN :	Laboratorio RCF S.R.L.
CANTERA (*):	Blakstone	CÓDIGO - M:	AM 184 M-1
DESCRIPCION (*):	-	CONDICIÓN:	M. Alterada
		TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO

Metodo de Ensayo Aplicado
* Sales Solubles MTC E 219

MATERIAL	PROCEDENCIA	SALES SOLUBLES	
		ppm	%
AM 184 M-1	Blakstone	5550	0.56
-	-	-	-

Muestra depositada e identificada por el solicitante en el Laboratorio RCF S.R.L.

OBSERVACIONES (*): Muestra depositada en el laboratorio e identificada por el solicitante
Sin retenido de 1"



ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876



4.5. Ensayo de sales solubles totales - agregado fino - Blakstone

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO ISO / EIC 17025
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Rev.00-04/17

CODIGO DE INFORME
AM 184.2/MS/05-2019/RCF
Página : 1 de 1
F.Emisión: 2019/05/13

INFORME DE ENSAYO
SALES SOLUBLES

PROYECTO(*):	ANALISIS E IMPLEMENTACION DE PARAMETROS DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS ASFALTICAS EN CALIENTE Y SU INFLUENCIA EN LOS PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA		
UBICACIÓN(*):	PROVINCIA DE AREQUIPA - REGION AREQUIPA	F. RECEPCIÓN:	2019/05/6
SOLICITA(*):	FRANK ALEX MACHACA MASCO	F. EJECUCIÓN:	2019/05/09
DIRECCIÓN(*):	AREQUIPA - AREQUIPA	ENSAYADO EN :	Laboratorio RCF S.R.L.
CANTERA (*):	Blakstone	CÓDIGO - M:	AM 184 M-1
DESCRIPCION (*):	-	CONDICIÓN:	M. Alterada
		TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO FINO

Metodo de Ensayo Aplicado
* Sales Solubles MTC E 219

MATERIAL	PROCEDENCIA	SALES SOLUBLES	
		ppm	%
AM 184 M-1	Blakstone	10388	1.04
-	-	-	-

Muestra depositada e identificada por el solicitante en el Laboratorio RCF S.R.L.

OBSERVACIONES (*): Muestra depositada en el laboratorio e identificada por el solicitante
Sin retenido de 1"

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP 59876

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 están 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

Nº 034709

4.6. Cuadros de datos – Diseño se mezclas Marshall – GyA Contratistas

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 1		
		1	2	3
1	% de asfalto en peso de la mezcla	4.00	4.00	4.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	44.84	44.84	44.84
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	51.16	51.16	51.16
4	% de filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80
7	Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.44	6.52	6.33
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1220.86	1213.82	1193.35
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1236.16	1230.81	1211.25
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	708	693	685
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	528.16	537.81	526.25
14	Peso de la parafina (11-10)	15.3	16.99	17.9
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	18.00	19.99	21.06
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	510.16	517.82	505.19
17	Volumen geométrico (9*81.07)	522.09	528.17	512.97
18	Volumen adoptado	510.16	517.82	505.19
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.39	2.34	2.36
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.51	2.51	2.51
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	4.61	6.56	5.84
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	1535.5
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	1	1	1.04
24	Estabilidad corregida (22*23)	1535.5	839.9	1014
25	Flujo	10	17	12
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	16.38	16.72	16.59
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	71.86	60.76	64.80

Nro .	Nro. de briquetas	Ensayo 2			
		4	5	6	
1	% de asfalto en peso de la mezcla	4.50	4.50	4.50	
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	44.61	44.61	44.61	
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	50.89	50.89	50.89	
4	% de filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00	
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202	
6	Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80	
7	Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57	
8	Peso específico del filler	1	1	1	
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.38	6.40	6.40	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1201.9 4	1197.34	1200.03	
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1219.0 3	1217.38	1220.38	
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	698	690	689	
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	521.03	527.38	531.38	
14	Peso de la parafina (11-10)	17.09	20.04	20.35	
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	20.11	23.58	23.94	
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	500.92	503.80	507.44	
17	Volumen geométrico (9*81.07)	517.02	518.65	518.44	
18	Volumen adoptado	500.92	503.80	507.44	
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.40	2.38	2.36	
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.49	2.49	2.49	
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	3.63	4.55	5.02	
22	Estabilidad sin corregir	Unidad = kg	1298.2	1066	1263.3
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	1.04	1.04	1.04	
24	Estabilidad corregida (22*23)	1350.1 2	1108.6	1313.83	
25	Flujo	14	14	14	
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66	
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	16.42	16.58	16.66	
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	77.91	72.58	69.89	

Nro	Nro. de briquetas	Ensayo 3			
		7	8	9	
1	% de asfalto en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00	
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	44.37	44.37	44.37	
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	50.63	50.63	50.63	
4	% de filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00	
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202	
6	Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80	
7	Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57	
8	Peso específico del filler	1	1	1	
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.27	6.36	6.35	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1201.15	1201.88	1200.82	
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1223.24	1229.07	1224.06	
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	696	697	692	
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	527.24	532.07	532.06	
14	Peso de la parafina (11-10)	22.09	27.19	23.24	
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	25.99	31.99	27.34	
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	501.25	500.08	504.72	
17	Volumen geométrico (9*81.07)	508.11	515.81	515.00	
18	Volumen adoptado	501.25	500.08	504.72	
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.40	2.40	2.38	
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.47	2.47	2.47	
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	3.03	2.74	3.72	
22	Estabilidad sin corregir	Unidad = kg	1431.7	1285.7	1177.6
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	1.04	1.04	1.04	
24	Estabilidad corregida (22*23)	1488.96	1337.12	1224.70	
25	Flujo	13	18	14.6	
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66	
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	16.53	16.48	16.65	
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	81.68	83.36	77.65	

Nro .	Nro. de briquetas	Ensayo 4		
		10	11	12
1	% de asfalto en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	44.14	44.14	44.14
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	50.36	50.36	50.36
4	% de filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80
7	Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.25	6.24	6.37
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1201.08	1199.81	1202.5
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1212.18	1214.94	1222.42
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	704	700	700
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	508.18	514.94	522.42
14	Peso de la parafina (11-10)	11.1	15.13	19.92
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	13.06	17.80	23.44
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	495.12	497.14	498.98
17	Volumen geométrico (9*81.07)	506.89	505.88	516.62
18	Volumen adoptado	495.12	497.14	498.98
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.43	2.41	2.41
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.45	2.45	2.45
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	1.10	1.60	1.75
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	925.3
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	1.09	1.04	1.04
24	Estabilidad corregida (22*23)	1008.57	1176.55	1197.14
25	Flujo	17.5	18.7	20.3
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	16.41	16.50	16.52
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	93.31	90.28	89.42

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 5				
		13	14	15		
1	% de asfalto en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	43.91	43.91	43.91		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	50.09	50.09	50.09		
4	% de filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00		
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202		
6	Peso específico del agregado grueso	2.80	2.80	2.80		
7	Peso específico del agregado fino	2.57	2.57	2.57		
8	Peso específico del filler	1	1	1		
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.30	6.39	6.37		
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1209.78	1226.85	1210.38		
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1229.75	1248.73	1229.1		
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	704	716	703		
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	525.75	532.73	526.1		
14	Peso de la parafina (11-10)	19.97	21.88	18.72		
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	23.49	25.74	22.02		
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	502.26	506.99	504.08		
17	Volumen geométrico (9*81.07)	510.94	517.83	516.21		
18	Volumen adoptado	502.26	506.99	504.08		
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.41	2.42	2.40		
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.43	2.43	2.43		
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	1.07	0.61	1.38		
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	899.9	839.9	975
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	1.04	1.04	1.04		
24	Estabilidad corregida (22*23)	1350.54	949	935.89		
25	Flujo	22	20	20		
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.66	2.66	2.66		
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	16.62	16.54	16.67		
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	93.58	96.32	91.75		

4.7. Cuadros de datos – Diseño se mezclas Marshall – SuperAsfaltos

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 1		
		1	2	3
1	% de asfalto en peso de la mezcla	4.00	4.00	4.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	48.86	48.86	48.86
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	46.18	46.18	46.18
4	% de filler en peso de la mezcla	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.63	2.63	2.63
7	Peso específico del agregado fino	2.56	2.56	2.56
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.91	6.77	6.96
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1198.8	1199.2	1213.8
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1226.4	1230	1246.7
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	655	657	658
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	571.4	573	588.7
14	Peso de la parafina (11-10)	27.6	30.8	32.9
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	32.47	36.24	38.71
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	538.93	536.76	549.99
17	Volumen geométrico (9*81.07)	560.19	549.05	564.04
18	Volumen adoptado	538.93	536.76	549.99
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.22	2.23	2.21
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.41	2.41	2.41
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	7.70	7.30	8.43
22	Estabilidad sin corregir	765.6	789	570
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.93	0.93	0.89
24	Estabilidad corregida (22*23)	712.008	733.77	507.3
25	Flujo	8	11	9.5
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.56	2.56	2.56
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	18.49	18.41	18.64
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	58.36	60.37	54.80

Nro	Nro. de briquetas	Ensayo 2		
		4	5	6
1	% de asfalto en peso de la mezcla	4.50	4.50	4.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	48.61	48.61	48.61
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	45.94	45.94	45.94
4	% de filler en peso de la mezcla	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico del cemento asfaltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.63	2.63	2.63
7	Peso específico del agregado fino	2.56	2.56	2.56
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.71	6.76	6.91
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1190.4	1202.9	1234.6
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1219.9	1230.3	1259.7
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	648	656	683
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	571.9	574.3	576.7
14	Peso de la parafina (11-10)	29.5	27.4	25.1
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	34.71	32.24	29.53
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	537.19	542.06	547.17
17	Volumen geométrico (9*81.07)	543.78	548.24	559.99
18	Volumen adoptado	537.19	542.06	547.17
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.22	2.22	2.26
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.39	2.39	2.39
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	7.40	7.27	5.71
22	Estabilidad sin corregir	792.8	965.2	963.8
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.93	0.93	0.89
24	Estabilidad corregida (22*23)	737.30	897.636	857.782
25	Flujo	4	14	10.5
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	12	2.56	2.56
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	18.66	18.64	18.33
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	60.35	61.00	68.84

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 3		
		7	8	9
1	% de asfalto en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	48.36	48.36	48.36
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	45.70	45.70	45.70
4	% de filler en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.63	2.63	2.63
7	Peso específico del agregado fino	2.56	2.56	2.56
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.73	6.79	6.94
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1210.3	1203.1	1236.2
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1230.3	1227.1	1253.5
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	677	667	684
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	553.3	560.1	569.5
14	Peso de la parafina (11-10)	20	24	17.3
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	23.53	28.24	20.35
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	529.77	531.86	549.15
17	Volumen geométrico (9*81.07)	545.40	550.67	562.22
18	Volumen adoptado	529.77	531.86	549.15
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.28	2.26	2.25
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.38	2.38	2.38
21	% de vacíos = $100*(20-19)/20$	3.86	4.81	5.27
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	1518.4
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.96	0.96	0.89
24	Estabilidad corregida (22*23)	1457.6	1114.5	1095.5
25	Flujo	14	8	10
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.56	2.56	2.56
27	V.M.A. = $100/((2+3)*19)/26$	18.20	18.38	18.47
28	Vacíos llenados con C.A. = $100*(27-21)/27$	78.79	73.84	71.48

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 4		
		10	11	12
1	% de asfalto en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	48.10	48.10	48.10
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	45.45	45.45	45.45
4	% de filler en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.63	2.63	2.63
7	Peso específico del agregado fino	2.56	2.56	2.56
8	Peso específico del filler	1	1	1
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.62	6.69	6.86
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1205	1214.4	1239.4
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1227.1	1234.8	1260.9
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	678	682	693
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	549.1	552.8	567.9
14	Peso de la parafina (11-10)	22.1	20.4	21.5
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	26.00	24.00	25.29
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	523.10	528.80	542.61
17	Volumen geométrico (9×81.07)	536.78	542.16	555.94
18	Volumen adoptado	523.10	528.80	542.61
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.30	2.30	2.28
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.36	2.36	2.36
21	% de vacíos = $100 \times (20-19)/20$	2.38	2.68	3.20
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	1378.5
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.96	0.96	0.93
24	Estabilidad corregida (22*23)	1270.7	1333.2	1282.0
25	Flujo	11	16	16
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.56	2.56	2.56
27	V.M.A. = $100/((2+3) \times 19)/26$	18.14	18.20	18.30
28	Vacíos llenados con C.A. = $100 \times (27-21)/27$	86.88	85.27	82.49

Nro.	Nro. de briquetas	Ensayo 5		
		13	14	15
1	% de asfalto en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	47.85	47.85	47.85
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	45.21	45.21	45.21
4	% de filler en peso de la mezcla	0.94	0.94	0.94
5	Peso específico del cemento asfáltico	1.0202	1.0202	1.0202
6	Peso específico del agregado grueso	2.63	2.63	2.63
7	Peso específico del agregado fino	2.56	2.56	2.56
8	Peso específico del filler	1.00	1.00	1.00
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.62	6.56	6.52
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1214.5	1219	1200.6
11	Peso de la briqueta más parafina al aire (g)	1241.4	1241.5	1217.9
12	Peso de la briqueta más parafina al agua (g)	684	689	681
13	Volumen de la briqueta más la parafina (11-12)	557.4	552.5	536.9
14	Peso de la parafina (11-10)	26.9	22.5	17.3
15	Volumen parafina (14/PE de la parafina)	31.65	26.47	20.35
16	Volumen briqueta por desplazamiento (13-15)	525.75	526.03	516.55
17	Volumen geométrico (9×81.07)	536.68	531.82	528.27
18	Volumen adoptado	525.75	526.03	516.55
19	Peso específico bulk de la briqueta (10/18)	2.31	2.32	2.32
20	PE Max. Teórico $D=100/(1/5+2/6+3/7+4/8)$	2.34	2.34	2.34
21	% de vacíos = $100 \times (20-19)/20$	1.43	1.11	0.82
22	Estabilidad sin corregir	Unidad =	kg	1374.6
23	Factor de estabilidad (tabla)(en función al volumen)	0.96	0.96	1.00
24	Estabilidad corregida (22*23)	1319.6	1393.8	1539.8
25	Flujo	14	20	16
26	Peso específico bulk de los áridos (ecuación)	2.56	2.56	2.56
27	V.M.A. = $100/((2+3) \times 19)/26$	18.19	18.13	18.08
28	Vacíos llenados con C.A. = $100 \times (27-21)/27$	92.15	93.85	95.47