

Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente**

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD CON
AGREGADOS NATURALES E INDUSTRIALES, APLICADA EN EL DISEÑO DE
UNA EDIFICACIÓN SOBRE UN SUELO CON BAJA CAPACIDAD PORTANTE
EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Tesis presentada por los Bachiller:

Ituza Revilla, Milagros Yaqueline

Ticona Huilca, Jose Manuel

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Diaz Galdós, Miguel Renato

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:

PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD
CON AGREGADOS NATURALES E INDUSTRIALES, APLICADA EN EL
DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN SOBRE UN SUELO CON BAJA CAPACIDAD
PORTANTE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA
Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

ITUZA REVILLA, MIGNERO VAQUELINO
TICONA HUILCA, JOSÉ MANUEL.

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO.

OBSERVACIONES:

Arequipa, 27 de DICIEMBRE del 2018

COO 1949,
ASESOR

COO. 1938.
JURADO

JURADO - 2778

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, quien nos permite llegar a cumplir esta meta en nuestra carrera profesional, y nos recuerda que nuestra profesión debe centrarse en servir a la sociedad.

A nuestro asesor Mgter Ing. Miguel Renato Días Galdós por el constante apoyo tanto en la formación profesional como en el desarrollo de la presente investigación, por su disposición y dedicación brindada.

A los ingenieros docentes de la Universidad Católica de Santa María, que fueron más allá del aspecto formativo e inculcaron valores necesarios para llegar a ser unos excelentes profesionales.

Al laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, por brindarnos la posibilidad de desarrollar los ensayos necesarios para esta investigación, especialmente agradeciendo al Ing. Yuri, Ing. Juan Manuel y al Señor Ricardo, por su disposición y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

A los Ing. Rubén Gamarra y al Ing. Mauricio León, quienes nos permitieron absolver algunas dudas y brindaron consejos en el desarrollo de esta investigación. De igual manera a la Ing. Patricia Carpio Salazar, quien nos brindó los primeros conocimientos de este mundo de la tecnología del concreto.

Finalmente, a nuestros amigos, con quienes nos apoyamos y compartimos 5 años de formación universitaria, forjando unos lazos que siempre mantendremos vivos. Los recordaremos siempre todos los momentos compartidos con ellos.

Atte.

Milagros Yaqueline Ituza Revilla & José Manuel Ticona Huilca

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi trabajo de investigación a mis padres, Víctor y Yaqueline, por su permanente amor y dedicación, son mis principales ejemplos de fortaleza, dedicación y perseverancia en la vida profesional. A mis hermanas, Valeshka, motivación en mi vida, y Cinthya, mi modelo a seguir; de quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo a lograr mis metas y objetivos.

Milagros Yaqueline Ituza Revilla

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar a mis padres, Simón y Lucy, quienes fueron pilares fundamentales durante toda mi formación profesional, y quienes desde muy pequeño me inculcaron sus mayores fortalezas, la perseverancia y dedicación; a mi hermana Giannina, quien es el ejemplo más cercano para seguir en cuanto a formación profesional, y quien me enseñó que cada día se puede mejorar un poco más.

José Manuel Ticona Huilca

Dedicamos este trabajo al Rev. Padre Antonio Morales, quien fue y es hasta el día de hoy una de las mayores influencias en nuestras vidas tanto personal como profesional; agradecer por todos consejos brindados a lo largo de nuestra carrera profesional. También dedicamos este trabajo al Lic. Alberto Cornejo, Ing. Paulo Flores, Ing. Diego Barrios, Ing. Emilio Concha y al Ing. Jorge Manrique; quienes fueron nuestros primeros compañeros de trabajo quienes resolvieron todas las dudas propias de un profesional novato, siempre con paciencia y dedicación.

Milagros Yaqueline Ituza Revilla & José Manuel Ticona Huilca

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria de la construcción ha tenido un desarrollo notable en la ciudad de Arequipa. El concreto, material fundamental para el desarrollo de esta industria, es investigado constantemente en búsqueda de mejorar su calidad, resistencia y productividad en obra, es así como la presente investigación propone diseños de mezclas para lograr concretos de baja densidad, con agregados naturales e industriales analizando sus propiedades y proponiendo diferentes aplicaciones en la ciudad de Arequipa.

En la ciudad de Arequipa, se distribuyen dos tipos de agregados para el diseño de concretos; los agregados gruesos, tales como la piedra pómez y escoria volcánica y piedra chancada; para los agregados finos, tales como, la ceniza volcánica, escoria volcánica y arena de piedra pómez, y como agregado industrial, las perlitas de poliestireno expandido.

La resistencia del concreto depende de la calidad de la pasta de cemento y de las características de los agregados pétreos, por lo tanto en primer lugar, se busca analizar las propiedades de los distintos agregados dispuestos en la ciudad, para posteriormente realizar los diseños de mezcla con distintas proporciones y someterlas a ensayos de compresión, cuyos resultados se expondrán en una gráfica donde distingue las distintas densidades con las fuerzas de compresión obtenidas, con estos resultados, se propone clasificar el concreto de acuerdo con los materiales utilizados, y de esta manera proponer las aplicaciones para estos.

Se tiene en cuenta que no existe normatividad peruana o parámetros nacionales, que regulen el diseño y la producción del concreto de baja densidad, de tal manera, esta investigación se basa en procesos empíricos, tomando en cuenta los procedimientos establecidos para los agregados del concreto en las normas ACI, ASTM, NTP.

RESUMEN

El concreto de baja densidad es un tipo de concreto cuya principal característica es presentar densidades inferiores en comparación al concreto convencional, que varían desde 1120 kg/m³ a 1900 kg/m³; dichas densidades se logran con la sustitución parcial o total de los agregados convencionales con agregados livianos, dado que dentro de la mezcla de concreto estos representan el mayor porcentaje de volumen y peso; pudiendo ser estos: agregados naturales o industriales siempre que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM C 330 (Especificación normalizada para agregados livianos para concreto estructural). El concreto de baja densidad brinda ventajas dentro de la construcción tanto en el diseño como en el procedimiento constructivo.

Se presenta el desarrollo de las dosificaciones para concretos de baja densidad, utilizando agregados naturales livianos tales como la ceniza volcánica, escoria volcánica y piedra pómez, presentes en la ciudad de Arequipa; como agregado industrial se utilizó perlitas de poliestireno expandido. Se realizó un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, logrando obtener diseños de concretos estructural con una resistencia a la compresión de 210 kgf/cm² y con densidades inferiores a 1900 kg/m³.

Esta investigación propone diseños de concreto de baja densidad para su aplicación en edificaciones sobre un suelo con baja capacidad portante, logrando disminuir la carga del peso propio de la edificación sobre la cimentación. Se presenta la aplicación del concreto de baja densidad en una edificación, tomando como zona de aplicación la asociación de vivienda PROFAM, del distrito de Yura, provincia de Arequipa, región Arequipa; que presenta una baja capacidad portante. Además, se pudo verificar las falencias durante la preparación de la mezcla de concreto, que actualmente es utilizado en la zona de aplicación.

Palabras clave: *concreto de baja densidad, agregado liviano, resistencia y densidad*

ABSTRACT

Low-density concrete is a type of concrete whose main characteristic is to present lower densities compared to conventional concrete, which vary from 1120 kg/m^3 to 1900 kg/m^3 ; said densities are achieved with the partial or total replacement of conventional aggregates with lightweight aggregates, given that within the concrete mix they represent the highest percentage of volume and weight; These can be: natural or industrial aggregates provided they meet the specifications of ASTM C 330 standard (standard specification for lightweight aggregates for structural concrete). Low density concrete offers advantages within the construction both in the design and in the construction procedure.

The development of the dosages for low density concrete is presented, using light natural aggregates such as volcanic ash, volcanic scoria and pumice, present in the city of Arequipa; As an industrial aggregate, expanded polystyrene beads were used. An analysis of the physical and mechanical properties of the aggregates was carried out, obtaining structural concrete designs with a compressive strength of 210 kgf/cm^2 and with densities below 1900 kg/m^3 .

This research proposes low density concrete designs for its application in buildings on a floor with low bearing capacity, managing to reduce the weight load of the building on the foundation. The application of low-density concrete in a building is presented, taking as an application zone the PROFAM housing association, from the district of Yura, province of Arequipa, Arequipa region; that presents a low bearing capacity. In addition, the shortcomings could be verified during the preparation of the concrete mixture, which is currently used in the area of application.

Keywords: *low-density concrete, lightweight aggregate, strength and density*

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE GRÁFICOS.....	XIV
LISTA DE TABLAS	XVI
LISTA DE FORMULAS.....	XIX
CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO – OPERACIONAL.....	1
1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.4. OBJETIVOS.....	2
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	2
1.5. HIPÓTESIS	2
1.6. VARIABLES.....	2
1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	2
1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES	2
1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN	3
1.8. ALCANCE Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
CAPITULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....	4
2.2. DEFINICIÓN DE CONCRETO	5
2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO	5
2.3.1. CEMENTO PORTLAND.....	5
2.3.2. AGREGADOS.....	6
2.3.3. AGREGADOS.....	7
2.3.3.1. AGREGADO FINO	7
2.3.3.2. AGREGADO GRUESO.....	7
2.3.4. AGUA.....	7
2.3.5. ADITIVOS	7
2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	8
2.4.1. TRABAJABILIDAD.....	8
2.4.2. CONSISTENCIA	8
2.4.3. SEGREGACIÓN	9
2.4.4. EXUDACIÓN	9
2.4.5. RESISTENCIA.....	10
2.4.6. DURABILIDAD	10
2.4.7. DENSIDAD.....	11
2.4.8. ELASTICIDAD.....	11
2.5. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	12
2.5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	12
2.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD	12

2.5.3. PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS	13
2.5.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS.....	13
2.5.5. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	14
2.6. CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.....	14
2.6.1. ESTADO DEL ARTE DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD	14
2.6.2. CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.....	15
2.6.2.1. SEGÚN SU DENSIDAD:	15
2.6.2.2. SEGÚN SU COMPONENTE	15
2.6.3. COMPONENTES PARA CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.....	17
2.6.3.1. CEMENTO.....	17
2.6.3.2. AGUA.....	17
2.6.3.3. AGREGADOS LIVIANOS.....	18
2.6.3.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD	20
2.6.3.5. PESO VOLUMÉTRICO:	20
2.6.3.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:.....	21
2.6.3.7. CURADO INTERNO:.....	21
2.6.3.8. ADHERENCIA:	22
2.6.3.9. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:.....	22
2.6.3.10. RESISTENCIA AL FUEGO:	22
2.6.3.11. AISLAMIENTO ACÚSTICO:.....	22
2.6.3.12. DURABILIDAD:	22
2.6.3.13. MÓDULO DE ELASTICIDAD:.....	23
2.6.3.14. ABSORCIÓN:.....	23
2.6.4. AGREGADOS NATURALES DE BAJA DENSIDAD	23
2.6.4.1. PIEDRA PÓMEZ	23
2.6.4.2. ESCORIA VOLCÁNICA.....	25
2.6.4.3. CENIZA VOLCÁNICA	26
2.6.4.4. PIEDRA CHANCADA	29
2.6.4.5. ARENA GRUESA	30
2.6.5. AGREGADOS INDUSTRIALES	31
2.6.5.1. PERLITAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	31
2.7. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	32
2.7.1. MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI	33
2.7.2. MÉTODO WALKER.....	35
2.7.3. MÉTODO DE MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	36
2.7.4. MÉTODO DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD	37
2.7.5. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE BAJA DENSIDAD.....	39
CAPITULO III	41
3. FASE EXPERIMENTAL.....	41
3.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE BAJA DENSIDAD.....	41
3.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	41
3.1.1.1. AGREGADO FINO	41
3.1.1.2. AGREGADO FINO	43
3.1.1.2.1. ARENA GRUESA	43
3.1.1.2.2. CENIZA VOLCÁNICA.....	44

3.1.1.2.3. ARENA ESCORIA VOLCÁNICA	45
3.1.1.2.4. ARENA PÓMEZ.....	46
3.1.1.3. MÓDULO DE FINEZA	47
3.1.1.4. AGREGADO GRUESO.....	47
3.1.1.4.1. PIEDRA CHANCADA ½”	48
3.1.1.4.2. PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA.....	49
3.1.1.4.3. PIEDRA PÓMEZ	50
3.1.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	51
3.1.2.1. PESO ESPECIFICO DE MASA	51
3.1.2.2. PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.....	51
3.1.2.3. PESO ESPECIFICO APARENTE	52
3.1.2.4. ABSORCIÓN	52
3.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	53
3.1.3.1. PESO ESPECIFICO DE MASA	53
3.1.3.2. PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.....	54
3.1.3.3. PESO ESPECIFICO APARENTE	54
3.1.4. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	55
3.1.4.1. PESO UNITARIO SUELTO.....	55
3.1.4.1.1. P.U SUELTO DE LOS AGREGADOS FINOS	55
3.1.4.1.2. P.U. SUELTO DE LOS AGREGADOS GRUESOS.....	56
3.1.4.2. PESO UNITARIO COMPACTADO	57
3.1.4.2.1. P.U. COMPACTADO DE LOS AGREGADOS FINOS.....	58
3.1.4.2.2. P.U. COMPACTADO DE LOS AGREGADOS GRUESOS	59
3.1.4.3. RESUMEN PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS	59
3.1.4.4. PORCENTAJE DE HUMEDAD	60
3.1.4.4.1. AGREGADO FINO	60
3.1.4.4.2. AGREGADO GRUESO	60
3.1.4.5. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO.....	61
3.1.4.6. COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	61
3.1.4.6.1. PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA.....	62
3.1.4.6.2. PIEDRA PÓMEZ	64
3.1.4.6.3. PIEDRA CHANCADA DE 1/2".....	66
3.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	68
3.2.1. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	68
3.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD	70
3.3. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO.....	75
3.3.1. FLUIDEZ DE LA MEZCLA	75
3.3.2. CONTENIDO DE AIRE	79
3.3.3. TEMPERATURA.....	84
3.3.4. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO	87
3.4. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO.....	94
3.4.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	94
3.4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	95
3.4.3. DENSIDAD.....	110
3.4.3.1. DENSIDAD DE EQUILIBRIO.....	111
3.4.3.2. DENSIDAD SECA AL HORNO	112

3.4.4. ABSORCIÓN	119
CAPITULO IV	122
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	122
4.1. PROPUESTAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD	122
4.1.1. USO ESTRUCTURAL.....	122
4.1.2. USO NO ESTRUCTURAL.....	122
4.2. COMPARACIÓN DE COSTOS	123
4.3. APLICACIÓN PARA LOS DISEÑOS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD 140	
4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.....	142
CAPITULO V.....	143
5. APLICACIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.....	143
5.1. OBJETIVOS	143
5.2. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO	144
5.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO:.....	145
5.3.1. UBICACIÓN POLÍTICA.....	145
5.3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	145
5.4. ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN PROFAM.....	145
5.5. ELECCIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD ESTRUCTURAL.....	148
5.6. APLICACIÓN A UNA EDIFICACIÓN	148
5.6.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	149
5.6.1.1. NORMATIVA.....	149
5.6.1.2. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO	150
5.6.1.3. CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN: GENERALIDADES.....	151
5.6.1.4. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO ESTRUCTURAL	151
5.6.1.5. MATERIALES	151
5.6.2. ANÁLISIS SÍSMICO.....	153
5.6.2.1. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	157
5.6.3. DISEÑO DE ALBAÑILERÍA	158
5.6.4. DISEÑO DE LOSAS ALIGERADAS	180
5.6.5. DISEÑO DE VIGAS	183
5.6.6. DISEÑO DE CIMENTACIONES.....	185
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
BIBLIOGRAFÍA	194
ANEXO I.....	198
ANEXO II.....	204
ANEXO III	207
ANEXO IV	227
ANEXO V	234
ANEXO VI.....	248
ANEXO VII.....	250

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de concreto por sus componentes	16
Figura 2 Clasificación de los concretos ligeros agregado	21
Figura 3. Cantera de piedra pómez	24
Figura 4. Ubicación de la cantera "Los Olivos"	25
Figura 5. Presentación de la escoria volcánica en estado natural	26
Figura 6. Cantera de la escoria volcánica	26
Figura 7. Proceso de la deposición de la ceniza volcánica	27
Figura 8. Presentación de la ceniza volcánica en estado natural	27
Figura 9. Cantera de ceniza volcánica	28
Figura 10. Ubicación de la escoria volcánica y ceniza volcánica	28
Figura 11. Chancadora de la cantera Machachuaya	29
Figura 12. Piedra chancada de 1/2" de la cantera de Machahuaya	30
Figura 13. Arena gruesa de la cantera de Machahuaya	31
Figura 14. Ubicación de la cantera Machahuaya	31
Figura 15 Análisis granulométrico	42
Figura 16 Combinación de agregado fino y grueso en la mezcladora	69
Figura 17 Combinación de los agregados y cemento en la mezcladora	69
Figura 18 Combinación de los agregados, cemento y las perlitas de perlitas de poliestireno	70
Figura 19 Mezcla homogénea con una consistencia plástica	70
Figura 20 Medición del Slump del concreto	76
Figura 21 Medición del contenido de aire por olla Washington	81
Figura 22 Medición de la temperatura del concreto fresco	85
Figura 23 Peso total de la mezcla Wt	89
Figura 24 Vista panorámica del puente Benicia – Martínez	140
Figura 25 Color característico de concretos con a) Arena ceniza, amarillo b) Arena gruesa, gris c) Arena Pómez, rojizo	141
Figura 26 Proporción de la perlita dentro del concreto a) 10% b) 15% y c) 20%	142
Figura 27 Zona de aplicación PROFAM	143
Figura 28 Ubicación geográfica de PROFAM	145
Figura 29 Autoconstrucción de PROFAM	146
Figura 30 Elaboración de los especímenes de concreto de la zona de aplicación	147
Figura 31 Rotura de la probeta extraída de la zona de aplicación PROFAM	147
Figura 32 Plano Arquitectónico vivienda multifamiliar	149
Figura 33 Mapa de zonificación sísmica	153
Figura 34 Espectro de Diseño Dirección X y Y	155
Figura 35 Tabla de valores que conforman el Espectro de Diseño	156
Figura 36 Modelo Estructural 3D	157
Figura 37 Esquema de estructuración en planta típica	157
Figura 38 Plano de Ubicación de muros portantes de la planta típica	159
Figura 39 Representación gráfica de la distribución de la fuerza cortante de sismo moderado en los pisos de la vivienda	165
Figura 40 Representación gráfica de la distribución de la fuerza cortante de sismo severo en los pisos de la vivienda	166
Figura 41 Ubicación del Centro de masas CM y Centro de rigideces CR	167
Figura 42 Distribución de las columnas de la vivienda multifamiliar	172
Figura 43 Detalle de columnas Uniformizadas en distribución de acero	176
Figura 44 Combinación de Cargas últimas en el eje X-X y Y-Y	177
Figura 45 Diagrama de Iteración de la Columna C-1 a 0° y 90°	178
Figura 46 Diseño de la columna por cortante, la distribución de las fuerzas según los gráficos	178

<i>Figura 47 Distribución final de acero por flexo compresión y cortante de Columna C-1</i>	<i>180</i>
<i>Figura 48 Carga última en losa aligerada.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 49 Momentos últimos en losa aligerada</i>	<i>181</i>
<i>Figura 50 Distribución de acero en losa aligerada.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 51 Momentos en el Eje más Cargada (Eje 3). Mom Max=0.83 Ton-m.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 52 Áreas de acero solicitadas por el análisis estructural en el eje 3</i>	<i>183</i>
<i>Figura 53 Áreas de acero colocadas por el análisis estructural.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 54 Detalle de gancho Estándar y diámetro mínimo de doblado.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 55 Distribución de zapatas aisladas y cimiento corrido planteado.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 56 Chequeo por Cargas no mayor a 1.0 kg/cm².....</i>	<i>186</i>
<i>Figura 57 Chequeo por Cargas de Servicio de la Cap. Admisible</i>	<i>186</i>



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Curva granulométrica de la arena gruesa	43
Gráfico 2 Curva granulométrica de la ceniza volcánica	44
Gráfico 3 Curva granulométrica de la arena de escoria volcánica	45
Gráfico 4 Curva granulométrica de la arena pómez	46
Gráfico 5 Curva granulométrica de piedra chancada de 1/2"	48
Gráfico 6 Curva granulométrica de la piedra escoria volcánica	49
Gráfico 7 Curva granulométrica de la piedra pómez	50
Gráfico 8 Curvas de P.U. sueltos de la piedra escoria volcánica y los agregados finos	63
Gráfico 9 Curvas de P.U. compactado de la piedra escoria volcánica y los agregados finos	63
Gráfico 10 Curvas de P.U. suelto de la piedra pómez y los agregados finos	65
Gráfico 11 Curvas de P.U. compactados de la piedra pómez y los agregados finos	65
Gráfico 12 Curvas de P.U. suelto de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos	67
Gráfico 13 Curvas de P.U. compactado de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos	67
Gráfico 14 Curva de P.U. compactado de piedra chancada 1/2" y Arena de piedra pómez	71
Gráfico 15 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra escoria con diferentes arenas y proporciones	77
Gráfico 16 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra pómez con diferentes arenas y proporciones	78
Gráfico 17 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra chancada de 1/2" con diferentes arenas y proporciones	78
Gráfico 18 Contenido de aire vs relación a/c en cada tipo de agregado grueso: escoria pómez y piedra chancada de 1/2"	82
Gráfico 19 Comparación de resistencia a la compresión y contenido de aire del promedio de mezclas con contenido de Piedra Escoria	82
Gráfico 20 Comparación de resistencia a la compresión y contenido de aire del promedio de mezclas con contenido de Piedra chancada de 1/2"	83
Gráfico 21 Comparación del contenido de aire en porcentajes de poliestireno	84
Gráfico 22 Contenido de aire vs relación a/c en cada tipo de agregado grueso: escoria pómez y piedra chancada de 1/2".	86
Gráfico 23 Comparación de la temperatura en mezclas con porcentajes de perlitas de poliestireno	87
Gráfico 24 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra Escoria	91
Gráfico 25 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra Pómez	91
Gráfico 26 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra 1/2" ..	92
Gráfico 27 Comparación del rendimiento de las diferentes combinaciones de agregados naturales	93
Gráfico 28 Comparación del peso unitario con porcentajes de perlitas de poliestireno	93
Gráfico 29 Comparación del rendimiento de las diferentes combinaciones de agregados naturales	94
Gráfico 30 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y Arena escoria volcánica	98
Gráfico 31 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y arena gruesa Fuente: Elaboración propia	99
Gráfico 32 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y arena pómez Fuente: Elaboración propia	99
Gráfico 33 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y ceniza volante Fuente: Elaboración propia	100
Gráfico 34 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y escoria volcánica	101

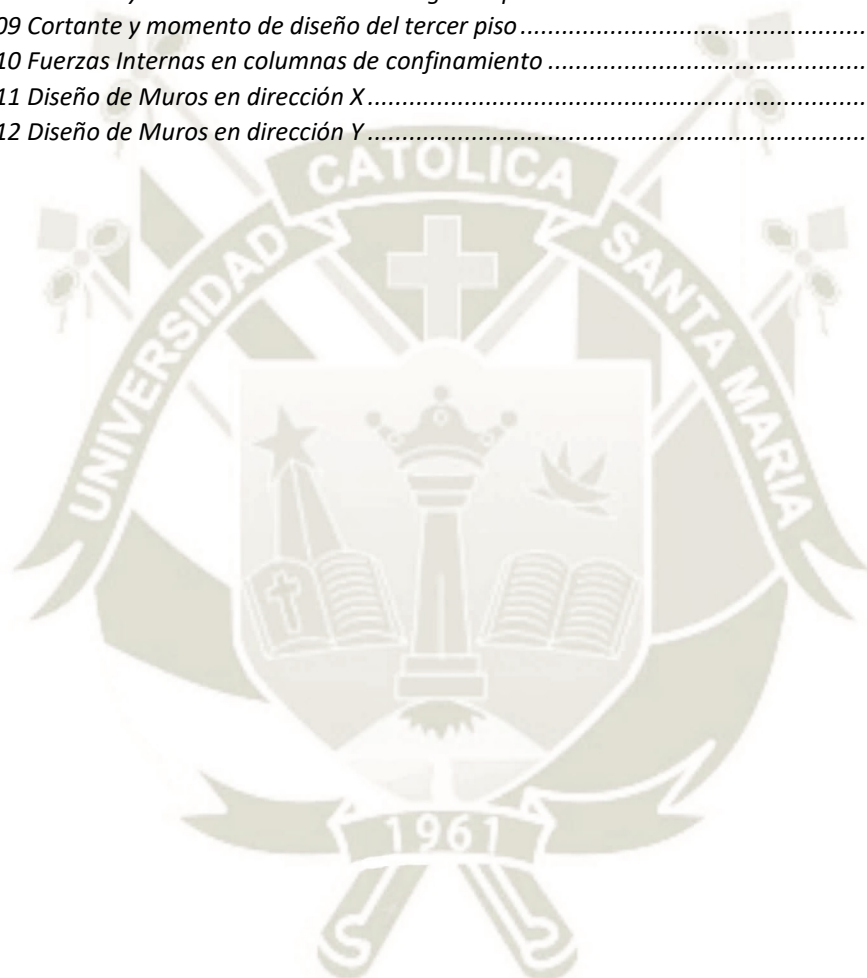
Gráfico 35 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y arena gruesa	101
Gráfico 36 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y arena pómez	102
Gráfico 37 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y ceniza volcánica	102
Gráfico 38 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena de escoria volcánica Fuente: Elaboración propia	103
Gráfico 39 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa ...	104
Gráfico 40 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa ...	104
Gráfico 41 Relacion de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa ...	105
Gráfico 42 Resistencia a la compresión de los diseños con adición de perlitas de poliestireno de 10% a 30%	109
Gráfico 43 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra escoria. ...	114
Gráfico 44 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra pómez. ...	115
Gráfico 45 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra chancada de 1/2"	116
Gráfico 46 Densidades de concretos con adiciones de perlitas de poliestireno.....	117
Gráfico 47 Evolución en la densidad del diseño de piedra chancada de 1/2" y arena gruesa a/c 0.6 y adiciones de perlita.....	118
Gráfico 48 Evolución en la densidad del diseño de piedra de escoria y arena escoria a/c 0.5 y adiciones de perlita.....	118
Gráfico 49 Evolución en la densidad del diseño de piedra de escoria y arena gruesa a/c 0.5 y adiciones de perlita.....	119
Gráfico 50 Comparación de porcentaje de perlita agregada y absorción del concreto con piedra ½ y arena gruesa	120
Gráfico 51 Comparación de porcentaje de perlita agregada y absorción del concreto con piedra escoria y arena pómez.....	121
Gráfico 52 Comparación de absorción y resistencia en concretos con arena gruesa y piedra chancada de 1/2" y porcentaje de perlita.....	121
Gráfico 53 Comparación de costos de concreto por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	129
Gráfico 54 Comparación de costos de cemento por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	129
Gráfico 55 Comparación de costos de agregado por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	130
Gráfico 56 Comparación de costos de agua por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	130
Gráfico 57 Comparación de costos de concreto por diseño $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	131
Gráfico 58 Comparación de costos de cemento por diseño $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	132
Gráfico 59 Comparación de costos de agregado por diseño $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	132
Gráfico 60 Comparación de costos de agua por diseño $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cemento, uso y aplicación.....	6
Tabla 2 Tipos de cemento adicionado	6
Tabla 3. Tipo de consistencia de la mezcla de concreto	9
Tabla 4 Tipos de agregados livianos y densidades obtenidas	19
Tabla 5 Requisitos de máxima densidad aparente seca suelta de agregados livianos para concreto estructural.....	19
Tabla 6 Requisitos de gradación para agregados livianos para concreto estructural.....	20
Tabla 7. Información necesaria para diseñar la mezcla de concreto	33
Tabla 8. Especificaciones para agregado fino de baja densidad	41
Tabla 9 Análisis granulométrico de Arena Gruesa	43
Tabla 10 Análisis granulométrico de la ceniza volcánica	44
Tabla 11 Análisis granulométrico de la arena escoria volcánica	45
Tabla 12 Análisis granulométrico de la arena pómez	46
Tabla 13 Modulo de fineza de los agregados finos de baja densidad	47
Tabla 14 Especificaciones para agregado grueso de baja densidad.....	47
Tabla 15 Análisis granulométrico de piedra chancada de 1/2"	48
Tabla 16 Análisis granulométrico de la piedra escoria volcánica	49
Tabla 17 Análisis granulométrico de la piedra pómez	50
Tabla 18 Pesos específicos y absorción de los agregados finos	53
Tabla 19 Pesos específicos y absorción de los agregados gruesos	54
Tabla 20 Peso unitario suelto de la Arena gruesa.....	55
Tabla 21 Peso unitario suelto de la ceniza volcánica	56
Tabla 22 Peso unitario suelto de la escoria volcánica	56
Tabla 23 Peso unitario suelto de la arena pómez	56
Tabla 24 Peso unitario suelto de la piedra chancada de 1/2"	56
Tabla 25 Peso unitario suelto de la piedra escoria volcánica	57
Tabla 26 Peso unitario suelto de la piedra pómez	57
Tabla 27 Peso unitario compactado de la arena gruesa	58
Tabla 28 Peso unitario compactado de la ceniza volcánica	58
Tabla 29 Peso unitario compactado de la arena escoria volcánica	58
Tabla 30 Peso unitario compactado de la arena pómez	58
Tabla 31 Peso unitario compactado de la piedra chancada de 1/2"	59
Tabla 32 Peso unitario compactado de la piedra escoria volcánica	59
Tabla 33 Peso unitario compactado de la piedra pómez	59
Tabla 34 Resumen de P.U. suelto y compactado de los agregados.....	59
Tabla 35 Contenido de humedad del agregado fino	60
Tabla 36 Contenido de humedad del agregado grueso	60
Tabla 37 Resumen de las propiedades de los agregados finos.....	61
Tabla 38 Resumen de las propiedades de los agregados gruesos.....	61
Tabla 39 Porcentaje de combinación de agregado fino y grueso	61
Tabla 40 Combinaciones de Piedra Escoria volcánica y los agregados finos	62
Tabla 41 Combinaciones de la piedra pómez y los agregados finos	64
Tabla 42 Combinaciones de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos.....	66
Tabla 43 Cuadro resumen de asentamiento promedio por tipo de agregado	76
Tabla 44 Cuadro resumen de asentamiento promedio con % perlitas	79
Tabla 45 Comparación de Asentamiento entre % de perlita de poliestireno	79
Tabla 46 Cuadro resumen de contenido de aire promedio por tipo de agregado relación a/c 0.6.....	81
Tabla 47 Cuadro resumen de peso unitario promedio por tipo de agregado natural	90
Tabla 48 Tiempo permisible de tolerancia para el ensayo de resistencia a la compresión	96

Tabla 49 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra chancada 1/2" con agregados finos y $a/c=0.60$	98
Tabla 50 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra escoria volcánica con agregados finos y $a/c=0.60$	100
Tabla 51 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra pómez con agregados finos y $a/c=0.60$ Fuente: Elaboración propia	103
Tabla 52 Variación del diseño 07 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5	105
Tabla 53 Variación del diseño 12 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5	106
Tabla 54 Variación del diseño 13 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5	106
Tabla 55 Variación del diseño 22 con relación de agua/cemento de 0.5	107
Tabla 56 Variación del diseño 21 con relación de agua/cemento de 0.5	107
Tabla 57 Variación del diseño 24 con relación de agua/cemento de 0.5	107
Tabla 58 Variación del diseño 15 con relación de agua/cemento de 0.5	107
Tabla 59 Variación del diseño 25 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5	108
Tabla 60 Variación del diseño 19 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5	108
Tabla 61 Variación del diseño 18 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5	108
Tabla 62 Propuestas de concreto de baja densidad para uso estructural	122
Tabla 63 Propuestas de concreto de baja densidad para uso no estructural	122
Tabla 64 Cálculo del costo de un concreto convencional $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	123
Tabla 65 Cálculo del costo de un concreto convencional $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	124
Tabla 66 Análisis de Precios unitario de Transporte de Material Granular $D \geq 1 \text{ KM}$	125
Tabla 67 Análisis de Precios unitario de Extracción Cantera (sin explosivos)	125
Tabla 68 Costo de transporte del material de cantera a obras	125
Tabla 69 Costo de transporte y extracción del material de cantera a obra	126
Tabla 70 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$	126
Tabla 71 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 100 \text{ kgf/cm}^2$	126
Tabla 72 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	127
Tabla 73 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	127
Tabla 74 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	127
Tabla 75 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	128
Tabla 76 Cálculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de perlita 10%	128
Tabla 77 Comparación entre densidad, resistencia a la compresión y costos, escogiendo el diseño de ESCORIA $f'c 0.6$	133
Tabla 78 Precios unitarios de partida concreto en vigas	134
Tabla 79 Precios unitarios de partida concreto en vigas con concreto de baja densidad	135
Tabla 80 Precios unitarios de partida concreto en columnas con concreto	136
Tabla 81 Precios unitarios de partida concreto en columnas con concreto de baja densidad	137
Tabla 82 Precios unitarios de partida concreto en losas aligeradas con concreto	138
Tabla 83 Precios unitarios de partida concreto en losas aligeradas con concreto de baja densidad	139
Tabla 84 Ventajas y Desventajas de concreto de baja densidad	142
Tabla 85 Identificación del sector de PROFAM	144
Tabla 86 Datos de la vivienda	146
Tabla 87 Resultados de ensayo a compresión de los especímenes extraídos de PROFAM	147
Tabla 88 Propiedades del diseño de mezcla escogido para la aplicación estructural	148
Tabla 89 Dosificación del diseño de mezcla escogido para la aplicación estructural	148
Tabla 90 Factores de reducción de resistencia	150
Tabla 91 Cálculos para determinar la densidad de los muros	160
Tabla 92 Características de los muros en dirección X	161
Tabla 93 Características de los muros en dirección Y	161
Tabla 94 Verificación de la Densidad de Muros en direcciones X-X - Y-Y	161
Tabla 95 Propiedades de la Vivienda Diseñada	162
Tabla 96 Análisis de aplastamiento de los muros en dirección X	162
Tabla 97 Análisis de aplastamiento de los muros en dirección Y	163

Tabla 98 Centro de masas de la planta típica	163
Tabla 99 Centro de rigideces de la planta típica	163
Tabla 100 Cálculo de peso por cada piso CD+ 0.25 CL	164
Tabla 101 Cortante basal para un sismo moderado	165
Tabla 102 Cálculo de las fuerzas cortantes por sismo moderado.....	165
Tabla 103 Cálculo de las fuerzas cortantes por sismo severo.....	166
Tabla 104 Cortante basal para un sismo severo	166
Tabla 105 Fuerza cortante para un sismo severo	166
Tabla 106 Cuadro de excentricidades y Momentos	168
Tabla 107 Cortante y momento de diseño del primer piso.....	168
Tabla 108 Cortante y momento de diseño del segundo piso.....	168
Tabla 109 Cortante y momento de diseño del tercer piso	169
Tabla 110 Fuerzas Internas en columnas de confinamiento	173
Tabla 111 Diseño de Muros en dirección X.....	174
Tabla 112 Diseño de Muros en dirección Y.....	175



LISTA DE FORMULAS

<i>Formula 1 Modulo de elasticidad en función al peso específico y resistencia a la compresión</i>	23
<i>Formula 2 Modulo de finura de la combinación de agregados</i>	36
<i>Formula 3 Porcentaje de agregado fino del volumen absoluto de agregados</i>	37
<i>Formula 4 Modulo de fineza del agregado fino de baja densidad</i>	47
<i>Formula 5 Peso específico de masa del agregado fino</i>	51
<i>Formula 6 Volumen de la muestra sometida al ensayo</i>	51
<i>Formula 7 Peso específico saturado superficialmente seco del agregado fino</i>	52
<i>Formula 8 Volumen de la muestra sometida al ensayo</i>	52
<i>Formula 9 Peso específico aparente del agregado fino</i>	52
<i>Formula 10 Volumen de la muestra sometida al ensayo</i>	52
<i>Formula 11 Porcentaje de absorción</i>	53
<i>Formula 12 Peso específico de masa del agregado grueso</i>	53
<i>Formula 13 Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso</i>	54
<i>Formula 14 Peso específico aparente del agregado grueso</i>	54
<i>Formula 15 Peso unitario suelto</i>	55
<i>Formula 16 Peso unitario compactado</i>	57
<i>Formula 17 Porcentaje de humedad</i>	60
<i>Formula 18 Resistencia promedio requerida</i>	70
<i>Formula 19 Peso unitario de la mezcla de concreto</i>	88
<i>Formula 20 Rendimiento entre el volumen real y el volumen del diseño de la mezcla</i>	89
<i>Formula 21 Resistencia a la compresión</i>	96
<i>Formula 22 Rendimiento relativo de la densidad de equilibrio</i>	111
<i>Formula 23 Rendimiento relativo alternativo para la densidad de equilibrio</i>	112
<i>Formula 24 Densidad seca al horno del concreto de baja densidad</i>	112
<i>Formula 25 Densidad seca al horno alternativa del concreto de baja densidad</i>	113
<i>Formula 26 Absorción del concreto en estado endurecido</i>	119
<i>Formula 27 Periodo Fundamental de vibración</i>	154
<i>Formula 28 Coeficiente Sísmica</i>	155
<i>Formula 29 Verificación de las dimensiones del muro</i>	160
<i>Formula 30 Ecuación de aplastamiento de muros</i>	162
<i>Formula 31 Cálculo de la excentricidad</i>	167
<i>Formula 32 Comprobación de cortante</i>	169
<i>Formula 33 Cortante calculada</i>	169
<i>Formula 34 Verificación de cortante</i>	170
<i>Formula 35 Calculo de cortante ultimo</i>	170
<i>Formula 36 Cálculo de momento último</i>	170
<i>Formula 37 Verificación de la relación de fuerza elástica y cortante</i>	170
<i>Formula 38 Cortante Ultima</i>	179
<i>Formula 39 Resistencia al cortante del concreto</i>	179
<i>Formula 40 Resistencia del acero</i>	180
<i>Formula 41 Separación de los estribos</i>	180
<i>Formula 42 Resistencia al corte</i>	182
<i>Formula 43 Cortante máxima de la cimentación</i>	187
<i>Formula 44 Cortante por corte y punzonamiento</i>	187
<i>Formula 45 Resistencia al corte</i>	188

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO – OPERACIONAL

1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En la actualidad el crecimiento poblacional de la ciudad de Arequipa obliga la construcción de edificios multifamiliares en zonas que presenten una buena capacidad portante; por otro lado, existe zonas dentro de la ciudad que presentan una baja capacidad portante, limitando la construcción de dichas edificaciones. De tal manera en esta investigación proponemos diseños de mezcla de concreto que permitan disminuir la carga muerta de la estructura sobre la cimentación.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La construcción, estos últimos años, se convirtió en una de las industrias más productivas para el desarrollo económico y social del país, teniendo como principal componente, el concreto; por ello las investigaciones se encuentran en una constante búsqueda de opciones para la elaboración de concretos que permitan mejorar la calidad, resistencia, productividad y sobre todo menores costos en las obras, es así que se propone al concreto de baja densidad como una alternativa para la construcción, para aplicarse sobre suelos que presenten baja capacidad portante.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El concreto de baja densidad se clasifica de tal manera por presentar una densidad inferior a 2400 kg/m^3 (concreto convencional), su uso reduce significativamente el peso de los elementos de concreto. Además, generando una mayor productividad, facilitando el transporte de los materiales y manipulación durante la etapa de preparación de la mezcla de concreto. En comparación al concreto convencional, el concreto de baja densidad presenta mejores propiedades tales como: mejor índices de resistencia al fuego, un mayor aislamiento acústico, la posibilidad de diseñar estructuras con tramos más largos, y secciones más delgadas.

La presente investigación busca la relación óptima entre los agregados de baja densidad que garanticen la producción de un concreto que cumpla con los requisitos de diseño (resistencia a la compresión densidad). Finalmente, se comprobó el uso del concreto de baja densidad en las estructuras de una edificación sobre un suelo con baja capacidad portante.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer diseños de mezclas de concreto de baja densidad utilizando diferentes tipos de agregados naturales e industriales, aplicado a una edificación sobre un suelo de baja capacidad portante en la ciudad de Arequipa.

1.4.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

1. Evaluación y análisis de las propiedades mecánicas de los distintos agregados, siguiendo procedimientos establecidos en normas ASTM y NTP.
2. Proponer diseños de mezcla para uso estructural y no estructural, con la relación óptima de los agregados naturales e industriales de baja densidad, que nos permitan obtener las propiedades requeridas según el tipo de concreto deseado.
3. Elaboración de graficas comparativas en base a los datos obtenidos a nivel de costo beneficio de cada diseño de mezcla.
4. Realizar el diseño de una edificación utilizando concreto de baja densidad, sobre un suelo con baja capacidad portante.

1.5. HIPÓTESIS

Es factible que, con el uso de agregados naturales e industriales livianos disponibles en la ciudad de Arequipa, se obtenga un concreto de baja densidad para un uso estructural en una edificación sobre un suelo de baja capacidad portante.

1.6. VARIABLES

1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Densidad del concreto, con diferentes proporciones de agregado natural.
- Resistencia a la compresión del concreto de baja densidad.

1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Densidad de los agregados de baja densidad
- Dosificación de los agregados de baja densidad

1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es descriptiva debido a que evaluara la propuesta de solución mediante la determinación de sus características y propiedades, utilizando métodos cuantitativos, cualitativos, técnicas de observación y pruebas de laboratorio para la recolección de información, así obteniendo registros sobre las variables, para lograr el objetivo de la investigación, así mismo se utilizara bibliografía especializada y normas que nos brinden parámetros para realizar los ensayos citados en la presente.

Gracias a la investigación experimental se obtienen datos e información necesaria y requerida para aceptar o rechazar la hipótesis.

1.8. ALCANCE Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Con esta investigación, se planteó usos para los diseños de mezcla del concreto de baja densidad, uso estructural en el diseño de una edificación sobre un suelo de baja capacidad portante, y también uso no estructural, como falsos pisos o recubrimientos que no requieran una resistencia estructural.

La zona de aplicación de nuestra investigación se situará en la Asociación de vivienda Profamilia (PROFAM), del distrito de Yura, provincia de Arequipa, región de Arequipa que presenta una baja capacidad portante del suelo por la presencia de material piroclástico. Para determinar la capacidad portante del suelo, se utilizó investigaciones realizados en la zona de PROFAM, obteniendo un valor representativo de la capacidad portante para la elaboración de nuestro diseño.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se presentan los antecedentes de investigación, así como conceptos fundamentales para determinar los ensayos que nos permitan lograr establecer los parámetros y normas para el desarrollo de diseños de concretos de baja densidad.

2.1. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

En los últimos años, gracias a las investigaciones sobre concreto, ha permitido desarrollar diseños innovadores, buscando mejorar el concreto con el uso de nuevos agregados, adiciones y aditivos, por ello en la presente investigación se desarrolla el concreto de baja densidad o ligero, siendo su característica principal, según la guía ACI 213R-03 (Guide for structural lightweight-aggregate concrete), que su densidad varíe entre 1120 kg/m^3 a 1920 kg/m^3 , inferior a la del concreto normal que oscila entre 2240 kg/m^3 y 2480 kg/m^3 . Este tipo de concreto puede estar conformado por agregados enteramente livianos, o bien puede conformarse por combinación de agregados normales y liviano, o no tener alguno de estos, siempre y cuando los valores de densidad y resistencia a la compresión cumplan con los límites estandarizados. (ACI 213R-03, 2003)

El concreto de baja densidad se conoce y se ha desarrollado a lo largo de la historia desde el imperio Romano con obras singulares como el Coliseo de Roma (70 a. C.) y el Partenón de Agripa (25 a. C.) (Bremner, T.W, Holm, T.A, & Stepanova, V.F., 1994) , construcciones realizadas con agregados livianos como la piedra pómez, después se limitó su uso hasta el siglo 20 en donde Stephen J. Hayde, patentó el horno giratorio en el año 1918 para lograr la expansión de pizarras, esquistos y arcillas para la producción de agregados ligeros para la elaboración de concreto de baja densidad de manera industrial, dando así un mayor uso con estos materiales especialmente en barco y barcasas en Estados Unidos (Olmedo, Cobo, Díaz, Navarro, & Vidal, 2015), se ha tenido registro de puentes y edificios elaborados con concreto de baja densidad con diferentes elementos tanto naturales como artificiales; debido a su principal beneficio, el de disminuir la carga muerta.

Podemos citar a una de las principales edificaciones en el año de 1922 donde se construyó el Gimnasio de la escuela de deportes de la ciudad de Kansas, edificado con concreto ligero debido a que el suelo tenía una capacidad portante muy baja,

logrando aligerar el peso que descargaba al suelo, el edificio de 8 pisos con el concreto convencional paso a ser de 14 pisos utilizando el concreto de baja densidad. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconi Pincay , 2007).

2.2. DEFINICIÓN DE CONCRETO

El concreto es un producto artificial compuesto por dos fases, la fase continúa constituida por el medio ligante denominado pasta, siendo esta la combinación química del material cementante con el agua y la fase discontinua conformada por los agregados, puesto que estas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por diferentes espesores de pasta endurecida.

El concreto es un material artificial, elaborado por el hombre, actualmente se le considera como el material de construcción más empleado y versátil, permitiendo su uso en múltiples tipos de estructuras con diferentes tipos de climas. La mezcla de concreto tiene una adecuada dosificación de cemento, agua, agregados finos y gruesos. También se le añade aditivos, adiciones y fibras. Excepcionalmente se le puede incorporar aire, de manera natural o con el uso de aditivos, para incrementar su durabilidad en climas de bajas temperaturas.

2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO

Las propiedades del concreto dependen de la cantidad y calidad de sus componentes; a continuación, se definirá cada uno de estos, indicando su importancia en la elaboración del concreto.

2.3.1. CEMENTO PORTLAND

El cemento portland, es el producto obtenido por la pulverización del Clinker, compuesto por una fuente de cal, tal como las calizas; una fuente de sílice y alúmina, como las arcillas; y una fuente de óxido de hierro, tal como el mineral de hierro, siendo estos triturados y mezclados para posteriormente ser calentados a una temperatura suficiente alta, alrededor de los 1500°C. Finalmente enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (yeso) para formar el cemento portland. En el Perú, los cementos son en su mayoría Portland cumpliendo la norma ASTM C 150 (Especificación normalizada para cemento Portland) y NTP 334.090 (Cemento Portland adicionado, Requisitos). Se especifican 5 tipos de cementos Portland:

Tipo de cemento	USO	APLICACIÓN
I	General	Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores especificados.
II	Moderada resistencia a los sulfatos Moderada calor de hidratación	Adecuado para ser empleados en estructuras expuestas en ambientes agresivos y/o vaciados masivos, con presencia de sulfatos más elevadas que lo normal, pero normalmente no muy graves.
III	Alta resistencia inicial con elevado calor de hidratación	Especiales para su uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta de servicio de la estructura, acelerando su desencofrado, o para usos en climas fríos, para disminuir el tiempo de curado.
IV	Bajo calor de hidratación	Este cemento debe emplearse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo recomendable para concretos masivos. Su ganancia de resistencia es más lenta que la del cemento Tipo I
V	Alta resistencia a los sulfatos	Se recomienda su uso en ambientes muy agresivos, por su alta resistencia a los sulfatos. Se usa cuando la concentración de sulfatos es mayor de 10000 ppm.

Tabla 1. Tipos de cemento, uso y aplicación
Fuente: Elaboración propia

En Perú, se elaboran los denominados “cementos adicionados”, siendo estas mezclas de cemento y un material de características puzolánicas molidos en forma conjunta, tal como se explica en la siguiente tabla:

Cemento adicionado	Adición
IP	Puzolana añadida en un porcentaje de 15% - 40% del peso total
IPM	Puzolana añadida en un porcentaje menor de 15% del peso total
IS	Escoria de altos hornos en un porcentaje de 25% - 75% del peso total
ISM	Escoria de altos hornos en un porcentaje menor de 25% del peso total

Tabla 2 Tipos de cemento adicionado
Fuente: Elaboración propia

2.3.2. AGREGADOS

Se definen como el conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma NTP 400.011-2008. (Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones, concretos). Los agregados están conformados por arena y grava, ocupando alrededor del 65% al 80% del volumen total del concreto. De tal manera es importante el proceso de selección correctamente dicho material, dado que pueden contener sustancias perjudiciales para el concreto.

El agregado, interviene directamente en las propiedades del concreto, tales como la resistencia mecánica, la durabilidad, el comportamiento elástico, propiedades térmicas o acústicas.

2.3.3. AGREGADOS

2.3.3.1. AGREGADO FINO

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μ m (N°200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente norma. (NTP 400.037-2014 Especificaciones normalizadas para agregados en concreto, 2014)

2.3.3.2. AGREGADO GRUESO

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (No. 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente norma. (NTP 400.037-2014 Especificaciones normalizadas para agregados en concreto, 2014)

2.3.4. AGUA

El agua en la mezcla de concreto tiene dos funciones principales: La formación de gel y permitir que el conjunto de la masa adquiera las propiedades en estado fresco que garanticen la adecuada manipulación de esta; en estado endurecido logrando las propiedades y características deseadas. Durante la elaboración del concreto se debe tener un control sobre la cantidad de agua suministrada a la mezcla, dicho control esta dado por la relación agua/cemento (a/c), dado que el agua influye directamente sobre la resistencia, durabilidad y retracción del concreto. Existen límites para el agua de mezcla, detallados en la norma técnica peruana (NTP 339.088-2006, Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland)

2.3.5. ADITIVOS

Los aditivos son sustancias químicas que se agrega a la mezcla de concreto durante su preparación con el fin de modificar las propiedades del concreto. Cuando la ubicación del proyecto donde se pondrá en servicio el concreto sea desfavorable a su correcto desarrollo, se plantea el uso de aditivos que deben estar indicados en las especificaciones del proyecto, o ser aprobado por la supervisión. Los aditivos más utilizados son:

- Incorporadores de aire.

- Acelerante de fragua.
- Retardantes de fragua.
- Reductores de agua.
- Superplastificantes.

2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las propiedades del concreto son de remarcada importancia al momento de verificar la calidad, apariencia y costo final de puesta en servicio. Los materiales que se escogen para la elaboración del concreto deben tener características que garanticen que el concreto en estado fresco pueda transportarse, colocarse, consolidarse y elaborarse con facilidad.

2.4.1. TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad es una propiedad del concreto en estado fresco, que depende de muchos factores, tales como: contenido de cemento, granulometría de los agregados, relación de finos, cantidad de agua y aire en la mezcla. Esta propiedad determina la capacidad del concreto de ser manipulado, transportado, colocado y consolidado, buscando un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad de la mezcla, sin llegar al punto de segregación del concreto.

El ACI define como trabajabilidad a la propiedad del hormigón o mortero fresco que determina la facilidad y homogeneidad con que se puede mezclar, colocar. Compactar y acabar. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R, Terminología del cemento y hormigón (ACI-116R), 2005)

En resumen, es una de las propiedades más importantes del concreto en estado fresco, dado que, si la mezcla no garantiza una correcta trabajabilidad y fluidez a través del molde o encofrado, cuando la estructura sea puesta en servicio presentara vacíos, y como consecuencia de estos, fallas estructurales.

2.4.2. CONSISTENCIA

La consistencia es una propiedad que relaciona la humedad de la mezcla con el grado de fluidez de esta, es decir mientras más húmeda la mezcla, mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. Se puede entender como un sinónimo de la trabajabilidad, pero no lo es; Así, por ejemplo, una mezcla

muy trabajable en para pavimentos puede ser muy consistente, en tanto que una mezcla poco trabajable en estructuras con alta concentración de acero puede ser de consistencia plástica. (Rivva Lopez, Diseño de mezclas, 2014)

Tomando una correlación entre la norma alemana y los criterios norte americanos, se considera como:

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO
Seca	1" – 2" (25 mm a 50 mm)
Plástica	3" – 4" (75 mm a 100 mm)
Fluidas	6" – 7" (150 mm a 175 mm)

Tabla 3. Tipo de consistencia de la mezcla de concreto
Fuente: (Rivva Lopez, Diseño de mezclas, 2014)

Según el ACI, la consistencia es la movilidad relativa o capacidad de fluir de un hormigón o mortero fresco; los indicadores habituales son el asentamiento para el hormigón, el flujo para el mortero y la resistencia a la penetración para la pasta cementicio pura. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R, Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R), 2005)

2.4.3. SEGREGACIÓN

La segregación es un problema que se presenta cuando la granulometría usada en la mezcla no es la correcta, con presencia de acero en una estructura donde no deje pasar el agregado grueso, de tal manera que no permite una mezcla homogénea.

Según el ACI, es la concentración diferencial de los componentes del hormigón mezclado, los agregados o similares que provoca una dosificación no uniforme en la masa. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R, Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R), 2005)

2.4.4. EXUDACIÓN

La exudación, es un problema que se presenta cuando la mezcla de concreto es sometida a vibraciones excesivas, dada por un transporte excesivo; donde el agua se desprende de la masa del concreto y emerge debido a las sedimentaciones de sus elementos.

Según el ACI, es el flujo autógeno de agua de amasado dentro del hormigón o en mortero fresco, o bien la emergencia de esta agua del hormigón o mortero fresco; es provocada por la sedimentación de los materiales solidos dentro de la masa,

también se denomina “wáter gain” (Exceso de agua). (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R, Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R), 2005)

2.4.5. RESISTENCIA

Definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el material antes de fallar. Es una de las propiedades más importantes del concreto, dado que este, está destinado principalmente a soportar esfuerzos de compresión, y esta propiedad es la que determinara su aceptación o rechazo del mismo.

El ingeniero diseñador de la mezcla debe recordar que otras propiedades, tales como la durabilidad, permeabilidad, o resistencia al desgaste, pueden ser tanto más importantes que la resistencia, dependiendo de las características y ubicación de la obra. (Rivva Lopez, Diseño de mezclas, 2014)

Algunos factores que pueden influir sobre la resistencia final del concreto son:

- Relación agua/cemento (a/c).
- Relación cemento/agregado.
- Granulometría, perfil del agregado y dureza del agregado.
- Tamaño máximo del agregado grueso.
- Cambio de tipo, marca y uso de cemento.
- Cambio en las propiedades del agua, de no usarse agua potable.
- Presencia de limo, arcilla, materia orgánica, sales químicas.
- Presencia de aire en la mezcla, modificando la relación poros/cemento, siendo la resistencia mayor cuando es menor esta relación.

Dichos factores deben ser tomados en cuenta al momento de realizar el diseño de mezcla del concreto.

2.4.6. DURABILIDAD

El concreto al momento de endurecer, debe mantener su forma y propiedades durante su servicio, aun cuando se exponga a condiciones que provoquen la pérdida de su capacidad estructural. En otras palabras, el concreto durable es aquel

que resiste de manera satisfactoria la exposición durante sus condiciones de servicio.

Los factores que influyen directamente sobre la durabilidad del concreto son:

- Procesos de congelación y deshielo.
- Procesos de humedecimiento y secado.
- Procesos de calentamiento y enfriamiento.
- Acción de agentes químicos (cloruros y sulfatos).

Como se mencionan, los factores que influirán directamente sobre la durabilidad del concreto son climas donde se presente un cambio radical de temperatura, dichos climas se presenta en algunas zonas de la sierra peruana, proponiendo para tal caso se prepare el diseño de mezcla contemplando incorporar aire en caso de procesos de congelamiento y deshielo; uso de cemento de alto calor de hidratación durante procesos de calentamiento y enfriamiento y uso de cemento con resistencia a sulfatos (Tipo V) para frenar la acción de los agentes químicos (cloruros y sulfatos).

2.4.7. DENSIDAD

Dependiendo de las características de la obra, se puede llegar a usar agregados especiales para obtener concretos trabajables con pesos unitarios del orden de 5600 kg/m^3 los cuales pueden ser utilizados como recubrimientos en tuberías de oleoductos debajo del agua, como pantallas de protección ante las radiaciones nucleares.

Utilizando agregados de baja densidad, se pueden llegar a obtener de la misma manera concretos trabajables con pesos unitarios por debajo del orden de 1900 kg/m^3 que podrán ser utilizados en viguetas pre y post tensadas, con el fin de disminuir el propio peso de la estructura.

2.4.8. ELASTICIDAD

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo-deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como “Modulo de Elasticidad” a la

relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva. (Rivva Lopez, Diseño de mezclas, 2014).

Los factores que influyen sobre la elasticidad del concreto son:

- La resistencia a la compresión del concreto (todos los factores que influyen sobre la resistencia).
- Tensión del trabajo.
- Curado del concreto.
- Grado de humedad del concreto.

El módulo de elasticidad aumentara directamente proporcional a la resistencia del concreto e inversamente proporcional a la tensión de trabajo.

2.5. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

2.5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados. La determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear será: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) por lavado" (MTC E 202). (Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de ensayos de materiales, 2016)

2.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Las partículas más grandes de agregado grueso, especialmente aquellas superiores a 50 mm requerirán de más tiempo de secado para que la humedad se desplace del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario de este método deberá determinar empíricamente si los métodos por secado rápido suministran la suficiente precisión para el fin requerido, cuando se sequen partículas de tamaños mayores. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina

químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación por lo que no está incluido en el porcentaje determinado por este método. (Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de ensayos de materiales, 2016)

2.5.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

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 portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción. Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial. Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas. (Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de ensayos de materiales, 2016)

2.5.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

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 formulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción. (Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de ensayo de materiales, 2016)

2.5.5. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto. También se utiliza para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco. (Ministerio de transportes y Comunicaciones, 2016)

2.6. CONCRETO DE BAJA DENSIDAD.

Según la norma E.60 de concreto armado, indica que el concreto se le considera de baja densidad cuando utiliza un agregado liviano y posee una densidad de equilibrio, determinada por la ASTM C-567 (Standard test method for determining Density of structural lightweight concrete) que no excede 1900 kg/m^3 , comparando un concreto convencional que tiene un peso específico de aproximadamente 2300 kg/m^3 o mayor. (ASTM C 567).

2.6.1. ESTADO DEL ARTE DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Podemos encontrar investigaciones acerca del concreto de baja densidad que nos permiten predecir y entender su comportamiento, así como también parámetros de diseño, una de las primeras investigaciones tomadas en cuenta es la titulada "Característica mecánica experimental de un hormigón ligero" (Olmedo, Cobo, Díaz, Navarro, & Vidal, 2015), nos compara las propiedades como módulo de elasticidad, resistencia a la tracción indirecta y compresión de concreto convencional con un diseño de concreto ligero elaborado con agregados liviano, además en la investigación da algunas fórmulas y parámetros para la obtención de propiedades entre ambos tipos de concreto.

Otro documento que se toma en referencia para la presente investigación tiene como título "Evaluación de la influencia de propiedades físicas y morfológicas de agregados livianos, en la microestructura de la Zona de Transición Interfacial (ITZ), en concretos (Vargas Samboni, 2015)", la investigación antes mencionada nos muestra las propiedades físicas como la porosidad y morfología de los agregados livianos; también nos muestra su comportamiento respecto a las

propiedades mecánicas comparándolo con el desempeño de los agregados convencionales .

2.6.2. CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Según la norma (ACI 213R-03, 2003) (Guide for structural lightweight-aggregate concrete) propone dos criterios para la clasificación del concreto de baja densidad, según su densidad y componentes de la mezcla de concreto.

2.6.2.1. SEGÚN SU DENSIDAD:

- **Concreto de baja densidad:** cuando su densidad se encuentra entre 300 kg/m³ a 1000 kg/m³, utilizando mayormente este concreto para aislamientos y particiones, por otro lado, su resistencia está por debajo de 70 kgf/cm², dentro de los componentes de la mezcla se utiliza agregados como la vermiculita y perlita.
- **Concreto de densidad media:** su densidad varía entre los valores 1000 kg/m³ a 1600 kg/m³, utilizado como un material de soporte de carga, obtienen resistencias mínimas de este tipo de 175 kgf/cm², los posibles componentes de la mezcla es la piedra pómez y escoria.
- **Concreto de alta densidad:** su densidad oscila entre los valores de 1600 kg/m³ a 2200 kg/m³, este concreto tiene un uso estructural pudiendo ser utilizado como soporte de cargas. Los agregados utilizados para la elaboración de este tipo son escoria expandida, ceniza volante y la pizarra.

2.6.2.2. SEGÚN SU COMPONENTE

- **Concretos sin finos:** se suprime parcial o totalmente el agregado fino es decir esta mezcla solo contiene por agregado grueso normal, cemento y agua; presentan una densidad que varía entre 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³, donde el tamaño del agregado está limitado entre 9.5 y 19 mm, encontramos resistencias desde 14 a 141 kgf/cm² y la relación a/c está comprendida entre 0.38 a 0.52.
- **Concretos de agregado liviano:** se obtiene mediante el uso de agregado liviano natural o artificial que tiene un bajo peso específico, según al tipo de agregado que se use, la densidad del mismo estará comprendida en un

rango entre 300 kg/m^3 a 1850 kg/m^3 y resistencias a la compresión que oscila entre 35 kgf/cm^2 y 422 kgf/cm^2 , una de las propiedades de este tipo de concreto es que los agregados ligeros poseen absorción rápida y elevada de agua, lo cual disminuye su propiedad de aislamiento térmico.

- **Concretos celular:** este concreto posee cemento, agua, agregado fino y un producto que se caracterizan porque introduce burbujas de un gas como oxígeno, aire e hidrógeno para obtener concretos de menor densidad, podemos observar una estructura celular por ello su nombre.

Existen dos métodos para elaborar el concreto:

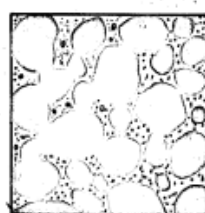
- **Concreto gasificado:** Este tipo de concreto se produce por reacción química de una base alcalina y cemento se adiciona en la mezcla de manera que, al fraguar, las burbujas quedan atrapadas dentro de la mezcla. Actualmente se emplea polvo de aluminio; proporción del orden del 0.2 % del peso del cemento, zinc en polvo o aluminio y algunas veces se emplea peróxido de hidrógeno finamente dividido.
- **Concreto espumoso:** Se produce por agregar un medio de espuma perforada de origen sintético u origen proteico, que introduce y estabiliza las burbujas de aire al mezclar el concreto con una velocidad lo suficientemente alta, puede tener o no agregado, este concreto obtiene densidades entre 500 kg/m^3 a 1400 kg/m^3 . y obtiene resistencias a la compresión entre 30 kgf/cm^2 a 141 kgf/cm^2 .
- Sin embargo, tiene características como un alto movimiento térmico, mayor contracción y considerable movimiento de humedad, ello se disminuye mediante un adecuado curado al vapor a alta presión, esto también influye en la resistencia.

Figura 1 Tipos de concreto por sus componentes

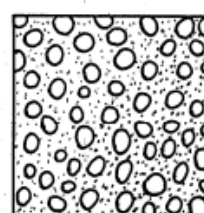
DISTINTOS TIPOS DE CONCRETOS LIGEROS



SIN FINOS



AGREGADOS LIGEROS



AERADOS

Fuente: (HERIHIRI, 2010)

2.6.3. COMPONENTES PARA CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Los componentes de un concreto de baja densidad con agregados livianos son similares a un concreto convencional, es decir está compuesto por cemento, agregados grueso y fino, dependiendo siempre del tipo de concreto de baja densidad que se utilizara y su contenido de agua.

2.6.3.1. CEMENTO

En la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009, 2013) (Cemento Portland, requisitos), el cemento Portland está definido como un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda.

El cemento utilizado en la presente investigación es el Tipo IP, este tiene una adición de puzolana entre 15% y 40%.

2.6.3.2. AGUA

Los requisitos para el uso del agua en la producción de concreto ligero como en concreto convencional se encuentran regulada por la Norma Técnica Peruana (NTP 339.088, 2006) (Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland, requisitos), donde se encuentra los parámetros que debe cumplir, pero de preferencia se debería utilizar agua potable. Las principales funciones que cumple el agua en la mezcla de concreto ligero son las mismas que un concreto normal: reaccionar con el cemento para hidratarlo, lubricante para contribuir a la trabajabilidad, en el caso de concretos ligeros por la absorción de los agregados livianos la cantidad es mayor.

2.6.3.3. AGREGADOS LIVIANOS

El bajo peso del concreto ligero se debe directamente a los agregados livianos que lo componen, estos pueden ser de tipo natural, es decir los que provienen de la explotación de fuentes naturales, por lo que la gran mayoría de sus propiedades y características son originales sin alterarlas y por lo tanto se pueden emplear tal como se encuentran. (Vargas Samboni, 2015), pueden ser rocas como la piedra pómez, la diatomita y la escoria.

Por otro lado, también encontramos los agregados ligeros manufacturados, se obtienen a través de un tratamiento térmico a elevadas temperaturas, a determinados productos que poseen la propiedad de desprender gas al tiempo que se reblandecen, con lo cual expanden, Por efecto de la temperatura la capa superficial se vitrifica y el gas queda encerrado en el interior. Una vez enfriado se obtiene un material liviano y duro de superficie en ocasiones lisa y forma regular controlada en su fabricación. Los agregados livianos artificiales conocidos son las arcillas expandidas, las pizarras o esquistos expandidos y las cenizas volantes calcinadas (Martínez Pineda , 2010), otro subproducto utilizado en América Latina para aligerar las cargas es el poliestireno expandido.

Podemos encontrar un cuadro en donde nos resume las densidades halladas según el tipo de material utilizado, en la siguiente tabla.

AGREGADO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD DEL AGREGADO (kg/m ³)	DENSIDAD DEL CONCRETO (kg/m ³)
Piedra Pómez	Vidrio volcánico espumoso de color claro, color blanco. Tiene un comportamiento aislante térmico, pero posee una alta absorción.	500 a 900	800 a 1200
Escoria de lava porosa	Piedra eruptiva de color pardo de una estructura de poros variables, no posee mucha absorción y posee resistencia moderada	750 a 1700	1100 a 1500
Escorias de alto horno	Producto de la colada del alto horno, el vapor infla la escoria y se endurece en forma porosa.	400 a 1100	950 a 1750
Perlita expandida	Es una roca vítrea volcánica que se calienta rápidamente y se expande formando un material celular	30 a 240	400 a 100
Arcilla esquistos y pizarras expandidas	Se obtiene calentado cada uno de los materiales en hornos giratorios, el gas generado queda atrapado y al enfriarse forma un material poroso.	300 a 650	1400 a 1800

Tabla 4 Tipos de agregados livianos y densidades obtenidas

Fuente: (Hummel, 1966)

Los diferentes tipos agregados, deben ser cuidadosamente examinados antes de su uso para la producción del concreto puesto que las propiedades tales como la densidad aparente, la densidad de las partículas, el contenido de humedad, y la distribución del tamaño, deben ser determinados antes de la elaboración del diseño de mezcla, de tal forma que al tratar con agregados livianos deben cumplir con los parámetros que indica la norma ASTM C-330 (Standard specification for lightweight aggregate for structural concrete).

En la Tabla N°4, muestra la densidad máxima suelta que debe cumplir los agregados livianos tanto grueso como fino, concluyendo su aporte para disminuir el peso del concreto.

Designación de Tamaño	Máxima Densidad Aparente Seca Suelta (kg/m ³)
Agregado fino	1120
Agregado grueso	880
Agregado combinando fino y grueso	1040

Tabla 5 Requisitos de máxima densidad aparente seca suelta de agregados livianos para concreto estructural

Fuente: ASTM C330.

Debido a las características de los agregados se ajustan a otras curvas presentadas en la norma ASTM C 330 (Standard specification for lightweight aggregate for structural concrete).

DESIGNACIÓN DEL TAMAÑO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS (%)									
	25 mm(1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	300 µm (N°50)	150 µm (N°100)	75 µm (N°200)
AGREGADO FINO										
4.75 mm a 0 mm	-	-	-	100	85 - 100	-	40 - 80	10 - 35	5 - 25	-
AGREGADO GRUESO										
25 mm a 4.75 mm	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	-	-	-	-	0 - 10
19 mm a 4.75 mm	100	90 - 100	-	10 - 50	0 - 15	-	-	-	-	0 - 10
12.5 mm a 4.75 mm	-	100	90 - 100	40 - 80	0 - 20	0 - 10	-	-	-	0 - 10
9.5 mm a 2.36 mm	-	-	100	90 - 100	5 - 40	0 - 20	0 - 10	-	-	0 - 10

Tabla 6 Requisitos de gradación para agregados livianos para concreto estructural.
Fuente: ASTM C330

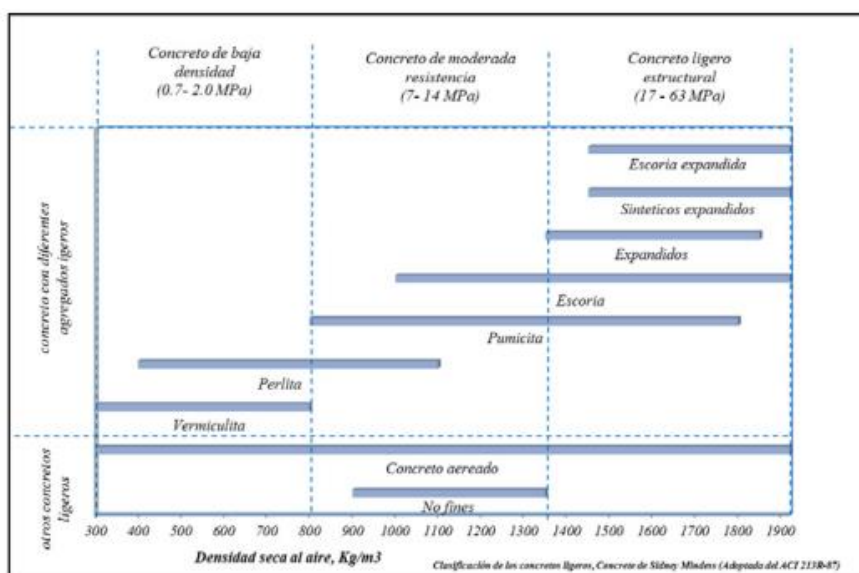
2.6.3.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Además de la baja densidad, este tipo de concreto presenta otras propiedades tales como:

2.6.3.5. PESO VOLUMÉTRICO:

La densidad es una de las propiedades más importantes para este concreto, esta propiedad depende en gran parte del tipo de agregado utilizado. Para hormigones livianos estructurales fabricados con agregados livianos como la arcilla o pizarra expandida, el peso volumétrico aproximado es de 1900 kg/m³ (ACI 213R-03, 2003)

Figura 2 Clasificación de los concretos ligeros agregado



Fuente (Campos Dimas, 2014)

2.6.3.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

La resistencia a la compresión en concretos ligeros depende factores como el tipo de agregado, la relación A/C, la cantidad de cemento usado, la edad del concreto, entre otros. (Chandra & Berntsson, 2002). La relación A/C al igual que un concreto convencional desarrolla un efecto similar en la resistencia en los concretos livianos, no obstante, experimenta una reducción de a/c libre debido a la mayor absorción de agua debido al agregado liviano, es decir requiere altos contenidos totales de agua. Otro factor que incrementa es el contenido de cemento para obtener resistencias mayores en promedio un aumento de cemento del 10% dará aproximadamente un aumento del 5% de resistencia.

2.6.3.7. CURADO INTERNO:

Los procesos de compactación y el curado no son diferentes en el concreto liviano por el agua que presenta dentro de los agregados livianos, las partículas de cemento experimentan un curado interno cuando esta agua es liberada. Este efecto particular de concreto con agregados livianos permite una mejor hidratación de las partículas cementicias que se encuentran en la zona de transición interfacial (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconi Pincay, 2007)

2.6.3.8. ADHERENCIA:

Una de las características es la rugosidad de la superficie de los agregados livianos, la adherencia que presenta la pasta y el agregado es mayor a comparación con los concretos convencionales.

2.6.3.9. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:

La capacidad de conducción de energía térmica de un material está dada por su densidad, mientras más denso es un elemento mayor es su conductividad térmica. Por tanto, los hormigones livianos son de baja conductividad térmica y por ende buenos aislantes del calor, que son capaces de frenar la intensidad de un flujo térmico.

2.6.3.10.RESISTENCIA AL FUEGO:

La resistencia al fuego se define como el tiempo durante el cual el muro de concreto es capaz de constituir una pantalla contra las llamas y los humos, sin sobrepasar la temperatura superficial de la cara no expuesta, de 150°C. En el concreto ligero esta característica se ve favorecida debido a que posee un bajo coeficiente de dilatación y una elevada aislación térmica. Hoy en día existen una gran variedad de tipos de recubrimiento de hormigón ligero, los cuales por sus buenas propiedades de aislamiento térmico proporcionan una protección eficiente. (Valdez Guzmán & Suárez Alcívar, 2010)

2.6.3.11.AISLAMIENTO ACÚSTICO:

El concreto ligero en comparación con un concreto convencional posee una reducción en la transmisión de sonido por las cavidades dentro de los agregados livianos permitiendo amortiguar las vibraciones, debido a la absorción inherente que se proporciona en la cavidad por la existencia de cámaras de aire en la textura.

2.6.3.12.DURABILIDAD:

Debido a la baja porosidad de la pasta, los agentes atmosféricos no penetran en el hormigón; lo cual permite que las estructuras sean más resistentes al intemperismo. (Valdez Guzmán & Suárez Alcívar, 2010) , un factor que también ayuda al concreto ligero es el aire que proporciona resistencia en congelación y descongelación aumentando su durabilidad.

2.6.3.13.MÓDULO DE ELASTICIDAD:

Los concretos con agregados livianos presentan módulos de elasticidad relativamente bajos, debido a que el concreto convencional tiene un módulo de elasticidad mayor ya que los módulos de los agregados; arena y grava son mayores que los módulos de los agregados livianos.

En la norma ASTM C 469 (Módulo de elasticidad estática y proporción de hormigón de Poisson en compresión), y en el código de la ACI 318 (Código de diseño de concreto estructural), desarrolla una formula en donde se puede utilizar el peso específico y la resistencia a compresión de los concretos:

Formula 1 Modulo de elasticidad en función al peso específico y resistencia a la compresión

$$E = Wc^{1.5} 0.043 \sqrt{f'c}$$

Donde:

- E (MPa): Módulo de elasticidad.
- Wc (kg/m³): Peso específico del concreto comprendido 1500 kg/m³ y 2500 kg/m³.
- f'c (kgf/cm²): Resistencia a la compresión.

2.6.3.14.ABSORCIÓN:

Es importante la absorción de agua de los agregados, ya sea natural o industrial, se produce a una velocidad que baja con el tiempo, tanto para el agregado insaturado o parcialmente saturado que afecta en las propiedades del concreto fresco como el asentamiento y la densidad, afectando las propiedades del concreto endurecido como la densidad, aislamiento térmico, resistencia al fuego y resistencia a ciclos de congelación y descongelación.

2.6.4. AGREGADOS NATURALES DE BAJA DENSIDAD

2.6.4.1. PIEDRA PÓMEZ

La piedra pómez es una roca piro plástica porosa constituida por vidrio en forma de espuma que se forma durante un enfriamiento muy rápido de un magma de alta viscosidad. Engloba proporciones variables de cuarzo, ferromagnesinos, feldespatos y fragmentos líticos. Su densidad es muy baja (0.7 g/cm³ – 1.1 g/cm³) y su porosidad es más alta que la mayoría de las rocas,

la infinidad de finos poros se produce debido a la desgasificación y descompresión que sufre la lava cuando es proyectada al aire. (Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrion, 2010)

La piedra pómez utilizada en esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Chiguata, provincia de Arequipa, región de Arequipa, a 6 km en línea recta al este de la ciudad de Arequipa, con coordenadas 236045E, 8185715N. El acceso es por el cruce de la Av. V. Hermosa con la Av. Vizcardo y Guzmán, ambas avenidas del distrito de Paucarpata; tomando esta última avenida y cruzando la torrentera siguiendo la ruta hacia hasta llegar a la asociación de vivienda “Los Olivos” la Figura 4. Indica el lugar donde se extrae la piedra pómez. La piedra pómez se encuentra a 27 km de la zona de aplicación de esta investigación.

Figura 3. Cantera de piedra pómez



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Ubicación de la cantera "Los Olivos"



Fuente: Elaboración propia

Línea amarilla – Av. Villa Hermosa; Línea celeste – Av. Vizcardo y Guzmán

2.6.4.2. ESCORIA VOLCÁNICA

La escoria volcánica, es un material que tiene su origen del recubrimiento del volcán Chachani. Es una roca ígnea de color oscuro con cavidades tipo burbuja, denominados vesículas. El color puede variar desde gris oscuro a un marrón rojizo profundo.

Las vesículas dentro de la escoria (y también en la piedra pómez) se forman cuando los gases volcánicos son liberados del magma. Estos son liberados debido a la disminución de la presión a medida que el magma se mueve hacia arriba (la solubilidad de los gases en los líquidos depende de la presión – una presión más alta significa una mejor solubilidad). El magma máfico es menos viscoso que el magma félsico, es por eso por lo que las burbujas de gas pueden moverse más libremente y unirse entre sí y formar vesículas más grandes. Las burbujas que se forman en el magma félsico no pueden moverse también. Por lo tanto, hay muchos más poros en la piedra pómez que en la escoria y estos son más pequeños. (Geologia online, 2017)

La escoria volcánica utilizada en esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, región de Arequipa, en las coordenadas 210643E, 8204550N. El acceso es por la carretera hacia Yura viejo (km 2+800), a un costado de esta carretera. La escoria volcánica se encuentra a 16.8 km de la zona de aplicación de esta investigación

Figura 5. Presentación de la escoria volcánica en estado natural



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Cantera de la escoria volcánica



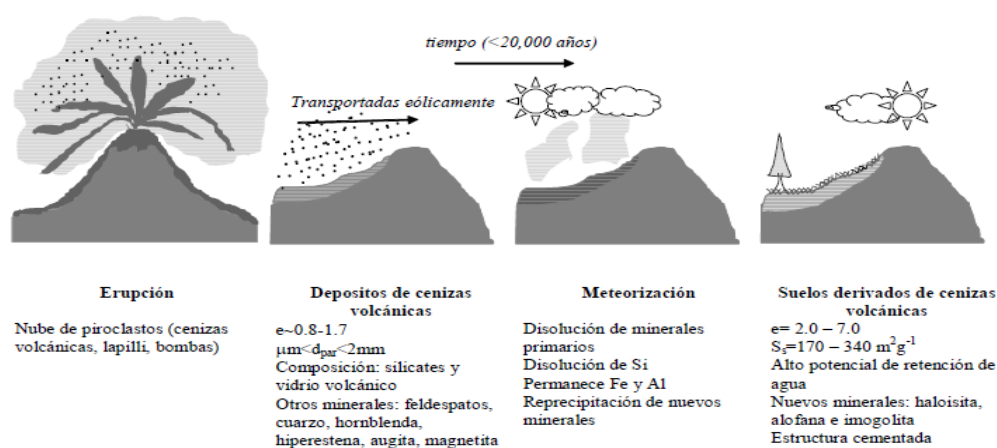
Fuente: Elaboración propia

2.6.4.3. CENIZA VOLCÁNICA

La ceniza volcánica, es una composición de partículas de roca y mineral muy fino que fueron eyectadas por una apertura volcánica a través de una nube de piroclastos, para luego ser depositado.

La ceniza volcánica utilizada en esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, en las coordenadas 210722E, 8202500N. El acceso es por la carretera hacia Yura recorriendo 1 km, la ceniza volcánica se encuentra en los costados, sobre la quebrada que se ubica en dichas coordenadas. Presenta una cobertura de color rojizo, lo cual es provocado por el constante movimiento de los camiones de la empresa Yura, que levanta el material del afirmado de la vía. La ceniza volcánica se encuentra a 13.5 km de la zona de aplicación de esta investigación.

Figura 7. Proceso de la deposición de la ceniza volcánica



Fuente: (Lizcano, Herrera, & Santamarina)

Figura 8. Presentación de la ceniza volcánica en estado natural



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Cantera de ceniza volcánica



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Ubicación de la escoria volcánica y ceniza volcánica



Fuente: Elaboración propia

2.6.4.4. PIEDRA CHANCADA

La piedra chancada es una piedra ígnea (andesita) formada por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida (magma), compuesta en su totalidad por silicatos. Se obtiene por trituración artificial de rocas o gravas. Esta piedra debe ser considerada dura, es decir no debe romperse fácilmente. No debe contener arcilla, polvo o barro adherido a la superficie. Se comercializa tamaños de 1", ¾" y ½". El tamaño de la piedra chancada dependerá de la estructura que se vaciará, por ejemplo, para una columna usaremos piedra chancada de ½", pero para una zapata usaremos de 1".

La piedra chancada debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma NTP 400.037 (Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) y la ASTM C 33 (Especificación normalizada para agregados para concreto).

La piedra chancada utilizada en esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Mollebaya, provincia de Arequipa, región de Arequipa, con las coordenadas 234433E, 8174879N, el acceso es por la carretera a Chapi luego sobre el desvío hacia Mollebaya por una distancia de 1.5 km, en la cantera Machahuaya. La piedra chancada se encuentra a 30 km de la zona de aplicación de esta investigación.

Figura 11. Chancadora de la cantera Machachuaya



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Piedra chancada de 1/2" de la cantera de Machahuaya



Fuente: Elaboración propia

2.6.4.5. ARENA GRUESA

La arena gruesa es el resultado de la desintegración natural de las rocas, o por agentes externos como el proceso de trituración, esta arena conserva cierto índice de grosor notorio, útil para ser utilizado en una mezcla de concreto, el tamaño varía desde 2.5 mm hasta 5mm. La arena debe estar libre de polvo, de sales o de materia orgánica.

La arena gruesa debe cumplir con los parámetros establecidos en la NTP 400.037-2014 (Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) y la ASTM C 33 (Especificación normalizada para agregados para concreto).

La arena gruesa utilizada en esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Mollebaya, provincia de Arequipa, con las coordenadas 234433E, 8174879N, el acceso es por la carretera a Chapi, desvió hacia Mollebaya por una distancia de 1.5 km, en la cantera Machahuaya. La piedra chancada se encuentra a 30 km de la zona de aplicación de esta investigación.

Figura 13. Arena gruesa de la cantera de Machahuaya



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Ubicación de la cantera Machahuaya



Fuente: Elaboración propia

2.6.5. AGREGADOS INDUSTRIALES

2.6.5.1. PERLITAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno expandido o EPS es un material plástico espumado que se produce a partir del poliestireno expandible. En el sector de la construcción,

debido a sus cualidades y propiedades, tiene un campo de aplicación muy amplio, tales como: ahorro energético, protección contra el ruido y al medio ambiente. En climas tan rigurosos como moderados, el aislamiento térmico es de vital importancia.

El poliestireno expandido incorpora múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como aislamiento en fachadas, cubiertas, suelos calefactados, etc. También se utiliza en forma de bovedillas, casetones, la construcción de forjados aligerados y como material aligerante o de relleno en numerosas aplicaciones de obra civil. (Asociación nacional de poliestireno expandido, 2009).

En esta investigación, las perlititas de poliestireno expandido utilizados tienen una densidad de 10 kg/m³. El costo en el mercado de Arequipa es de S/ 25.00 soles por kilogramo.

2.7. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Podemos decir, que el método de diseño consiste en defender la composición óptima de agregados y dosificación en cemento y agua (a/c), para lograr las propiedades del concreto buscado. Según Georges Dreux (1990), indica que en general, el proceso de formulación de mezclas incluye los siguientes pasos:

1. Definir la naturaleza de la estructura.
2. Establecer las propiedades del concreto, dependiendo de la naturaleza del trabajo,
3. Establecer los constituyentes para lograr las propiedades deseadas.

En general, no existe ningún método de composición de concreto liviano que sea universal reconocido como el mejor. Todos los métodos de dosificación diseñados para hormigones convencionales, al aplicar en el caso de hormigón ligero con algunas modificaciones, generan métodos de dosificación numerosos. En la mayoría de los casos, proponen relación a/c correspondiente a la resistencia a la compresión deseada. Los parámetros se establecen a partir de conceptos empíricos derivados de la experiencia.

Entonces, la dosificación de un concreto de baja densidad con fines estructurales estará dada en función de sus componente, que corresponden al proporcionamiento de: cemento, de la combinación de agregado grueso de peso normal y de peso liviano,

la combinación de agregado fino de peso normal y de peso liviano, los aditivos y la cantidad de agua necesaria para asegurar una adecuada trabajabilidad, consistencia y resistencia especificada de compresión.

Previo a la elaboración y selección del método correcto de diseño, es necesario conocer las características y propiedades de los agregados. La selección de las proporciones de mezclas deberá basarse en la información obtenida de los ensayos de laboratorio de los materiales a utilizarse. La información necesaria para cada componente de la mezcla será:

COMPONENTE	INFORMACIÓN NECESARIA
CEMENTO	Tipo y marca del cemento.
	Peso específico del cemento.
	Peso específico del material puzolánico (cemento adicionado).
	Superficie específica del cemento.
AGUA	Análisis químico del agua.
	Efectos del agua sobre el tiempo de fraguado.
	Perfil y textura superficial.
AGREGADOS	Análisis granulométrico.
	Peso específico de masa.
	Peso unitario suelto y compactado.
	Porcentaje de absorción y contenido de humedad.
	Perdida por abrasión, en caso usarse en pavimentos.
	Tipo y marca del aditivo.
ADITIVOS	Fecha de vencimiento.
	Efecto sobre las propiedades del concreto.
	Recomendaciones de la dosificación.

Tabla 7. Información necesaria para diseñar la mezcla de concreto
Fuente: Elaboración propia

2.7.1. MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

El comité 211 del ACI, desarrollo el procedimiento utilizando las tablas del Anexo I que se detalla a continuación:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
2. Selección de tamaño máximo nominal del agregado, según la NTP 400.037 define como: Tamaño máximo, es el que corresponde al menor tamiza por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. Tamaño máximo nominal, es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce la primera retenida. La tabla , corresponde a tamaños máximos nominales comprendidos entre 2" y 3/8", dicha tabla corresponde a la norma ASTM C 33.
3. Selección de asentamiento, de no mencionarse en las especificaciones, se recomienda:

- El concreto se dosificará para obtener una consistencia plástica, con un asentamiento entre 3 y 4 pulgadas, teniendo una consolidación por vibración, y de 5 pulgadas si la consolidación es por varillado.
 - El comité 211 del ACI, propone la siguiente consolidación:
4. Selección de volumen unitario del agua de diseño, dependiendo de la textura y perfil del agregado grueso, los requisitos de agua dados en la tabla del anexo 1 pueden ser algo más altos o más bajos que los valores necesarios.
 5. Selección del contenido de aire, se utiliza la tabla del ACI, que da el porcentaje de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado para diferentes tamaños máximos nominales del agregado grueso que cumpla con la norma NTP 400.037 o ASTM C 33.
 6. Selección de la relación agua/cemento (a/c) por resistencia y por durabilidad, la tabla del anexo 1 da las relaciones a/c en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio para un diseño sin o con aire incorporado.
 7. Determinación de factor de cemento, se puede determinar por unidad cubica de concreto mediante la división del volumen unitario del agua, expresada en litros a tanda de metro cubico, entre la relación agua/cemento, con lo que se obtiene la cantidad en kilos para una tanda de metro cubico.
 8. Determinación del contenido de agregado grueso, el comité 211 del ACI parte del criterio que los agregados gruesos de tamaño máximo nominal y granulometría similares, permiten obtener concretos de trabajabilidad satisfactoria.
 9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
 10. Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
 11. Determinación del peso seco del agregado fino.
 12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
 13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

14. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.

15. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

2.7.2. MÉTODO WALKER

Método desarrollado por el profesor norteamericano Stanton Walker, en relación con el hecho que, sea cual fuera la resistencia deseada y la relación agua/cemento, la cantidad de agregado grueso era la misma, desarrollado con el comité 211 del ACI. En tal caso este método toma como consideración la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de pasta en la mezcla, en una tabla considerando la mayor o menor finura del agregado fino (fino, mediano y grueso).

El procedimiento utilizando las tablas del Anexo I, de diseño es el siguiente:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada, con la desviación estándar de la constructora.
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
3. Selección del asentamiento.
4. Selección del volumen unitario del agua de diseño.
5. Selección del contenido de aire.
6. Selección de la relación agua/cemento por resistencia y por durabilidad.
7. Determinación del factor cemento.
8. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua y aire.
9. Determinación del volumen absoluto de agregado total.
10. Determinación del porcentaje de agregado fino en relación con el volumen absoluto total de agregado.
11. Determinación del volumen absoluto de agregado grueso.
12. Determinación de los pesos secos de los agregados fino y grueso.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
14. Determinación de la proporción en peso de diseño y de obra.
15. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa

2.7.3. MÉTODO DE MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

El método de módulo de finura, parte del mismo criterio que el método Walker, sobre el contenido de agregado grueso constante sin importancia de la resistencia deseada, en tanto se mantenga constante el tamaño máximo nominal del agregado y finura del agregado fino.

En este método, los contenidos de agregados fino y grueso varían dependiendo de las resistencias, siendo una variación, de la relación agua/cemento y contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla.

Se establece una ecuación que relaciona el módulo de finura de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total del agregado. Con la siguiente ecuación es posible determinar el valor de módulo de finura de la combinación de agregados más conveniente, que cumpla con las especificaciones deseadas.

Formula 2 Modulo de finura de la combinación de agregados

$$m = r_f * m_f + r_g * m_g$$

Siendo:

- m : Modulo de finura de la combinación de agregados.
- m_f: Modulo de finura del agregado fino.
- m_g: Modulo de finura del agregado grueso.
- r_f: % de agregado fino en relación con el volumen absoluto total de agregado.
- r_g: % de agregado grueso en relación con el volumen absoluto total de agregado.

Con el uso de tablas es posible obtener los diversos valores del módulo de finura de la combinación de agregados, obteniendo una trabajabilidad para diversos contenidos de cemento por metro cubico.

Los valores están referidos al agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%.

La proporción de agregado fino, con módulo de finura conocido, en relación con el volumen absoluto total de agregado necesario para obtener un módulo de finura determinado en la combinación de agregados, se calcula con la ecuación:

$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100$$

Formula 3 Porcentaje de agregado fino del volumen absoluto de agregados

Siendo:

- m : Modulo de finura de la combinación de agregados.
- m_f: Modulo de finura del agregado fino.
- m_g: Modulo de finura del agregado grueso.
- r_f: % de agregado fino en relación con el volumen absoluto total de agregado.
- r_g: % de agregado grueso en relación con el volumen absoluto total de agregado.

2.7.4. MÉTODO DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

El método propuesto en la presente investigación, parte del método creado por el profesor Vitervo O'Reilly Diaz, que centra su método en lograr un ahorro de cemento y obtener concretos más compactos para proteger el refuerzo de acero.

Entonces, la dosificación de un concreto de baja densidad con fines estructurales estará dada en función de sus componentes, que corresponden al proporcionamiento de: cemento, de la combinación de agregado grueso de peso normal y de peso liviano, la combinación de agregado fino de peso normal y de peso liviano, las adiciones, los aditivos y la cantidad de agua necesaria para asegurar una adecuada trabajabilidad y resistencia especificada de compresión. Se diseño siguiendo los siguientes pasos:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar.
2. Selección de tamaño máximo nominal del agregado, según la NTP 400.037 (Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) define al: Tamaño máximo, como el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. Tamaño máximo nominal, es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce la primera retenida.

3. Selección de asentamiento, de no mencionarse en las especificaciones, se recomienda:
 - El concreto se dosificará para obtener una consistencia plástica, con un asentamiento entre 3 y 4 pulgadas, teniendo una consolidación por vibración, y de 5 pulgadas si la consolidación es por varillado.
4. Selección de volumen unitario del agua de diseño, dependiendo de la textura y perfil del agregado grueso, los requisitos de agua dados en las tablas del ACI pueden ser algo más altos o más bajos que los valores necesarios.
5. Al momento de realizar la mezcla de concreto, se ajusto la cantidad de agua hasta obtener aproximadamente el asentamiento y consistencia requerida.
6. Selección del contenido de aire, determinado por las tablas del ACI, del anexo I, da el porcentaje de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado para diferentes tamaños máximos nominales del agregado grueso que cumpla con la norma NTP 400.037 (Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) o ASTM C 33 (Especificación normalizada para agregados para concreto).
7. Selección de la relación agua/cemento (a/c) por resistencia y por durabilidad, la tabla del ACI da las relaciones a/c en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio para un diseño sin o con aire incorporado.
8. Determinación de factor de cemento, se puede determinar por unidad cubica de concreto mediante la división del volumen unitario del agua, expresada en litros a tanda de metro cubico, entre la relación agua/cemento, con lo que se obtiene la cantidad en kilos para una tanda de metro cubico.

9. Para determinar la relación óptima de los agregados, se halló de manera experimental realizando el peso unitario compactado y suelto de cada mezcla de los agregados, reemplazando de manera porcentual el agregado fino en relación con el agregado grueso (20:80, 40:60, 60:40, 80:20). Graficando los resultados de peso compacto obtiene así el máximo peso entre estas relaciones. En la presente investigación tomamos esta grafica y empezamos a realizar diseños de mezcla cambiando las relaciones de agregados, para variar la densidad del concreto.
10. Determinar la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño y aire.
11. Determinación de la relación de agregados, es decir del volumen faltante de la mezcla se distribuye tanto para el agregado fino como para el agregado grueso. Esta relación se multiplica por los pesos específicos, para hallar sus pesos dentro de la mezcla.
12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado, con respecto a su absorción y contenido de humedad.
14. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.
15. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

2.7.5. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE BAJA DENSIDAD

El diseño escogido y explicado en el punto anterior, se utilizó para el diseño de mezcla dado que nos permite variar su densidad en base a los pesos unitarios de la combinación de agregados, en principio el método O'Reilly busca la combinación que presente la menor cantidad de vacíos, consiguiendo una mezcla

más compacta para lograr mayores resistencias, de tal manera en la presente investigación nos alejamos del punto óptimo para variar sus densidades y resistencia, buscando mayor cantidad de vacíos y disminuir la densidad de la mezcla. Finalmente se encuentra la nueva relación de resistencia a la compresión con las densidades de las combinaciones de agregados.



CAPITULO III

3. FASE EXPERIMENTAL

Es necesario realizar los ensayos correspondientes a los agregados, para obtener las propiedades de los elementos que intervendrán en la mezcla, para de esta forma garantizar que la mezcla cumpla con los requisitos deseados.

3.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE BAJA DENSIDAD

3.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El ensayo del análisis granulométrico es una representación numérica de la gradación de las partículas del agregado seco. Para la elaboración del concreto de baja densidad se tomaron las consideraciones de la norma ASTM C-330-05 (Especificación normalizada para agregados livianos para concreto estructural).

3.1.1.1. AGREGADO FINO

La cantidad de agregado fino utilizado en este ensayo es de 1000 g. El ensayo se realizó con los tamices normalizados en orden decreciente. Para obtener el pasante de la malla N° 200, se realizó el ensayo MTC E 202 (Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μ m N°200 por lavado).

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje pasante
3/8"	9.50	100
N° 4	6.35	85 – 100
N° 16	4.75	40 – 80
N° 50	2.36	10 – 35
N° 100	1.00	5 – 25

Tabla 8. Especificaciones para agregado fino de baja densidad
Fuente: (ASTM C-330-05)

Procedimiento del ensayo:

1. Obtener la muestra del agregado de acuerdo con la norma MTC E 201 (Muestreo para materiales de construcción), aproximadamente 1000g.
2. Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener un peso constante.
3. Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar.

4. Realizar el ensayo teniendo los tamices ordenados en un orden decreciente.
5. Utilizando el agitador de tamices a una frecuencia de 150 revoluciones por minuto, dejar los tamices por 3 minutos aproximadamente.
6. Pesar la cantidad retenida en cada tamiz.
7. Realizar los cálculos y grafica de la curva granulométrica.

Figura 15 Análisis granulométrico



Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2. AGREGADO FINO

3.1.1.2.1. ARENA GRUESA

Muestra antes de lavar	1000 g
Muestra después de lavar	913 g
Pasante tamiz N°200	87 g

GRANULOMETRÍA						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"		0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	6.35	76.00	7.60	7.60	92.40	85-100
N° 8		220.00	22.00	29.60	70.40	
N° 16	4.75	170.00	17.00	46.60	53.40	40-80
N° 30		134.00	13.40	60.00	40.00	
N° 50	2.36	122.00	12.20	72.20	27.80	10-35
N° 100	1	108.00	10.80	83.00	17.00	5-25
N° 200		83.00	8.30	91.30	8.70	
< N° 200		87.00	8.70	100.00	0.00	
Total		1000.00				

Tabla 9 Análisis granulométrico de Arena Gruesa
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO FINO

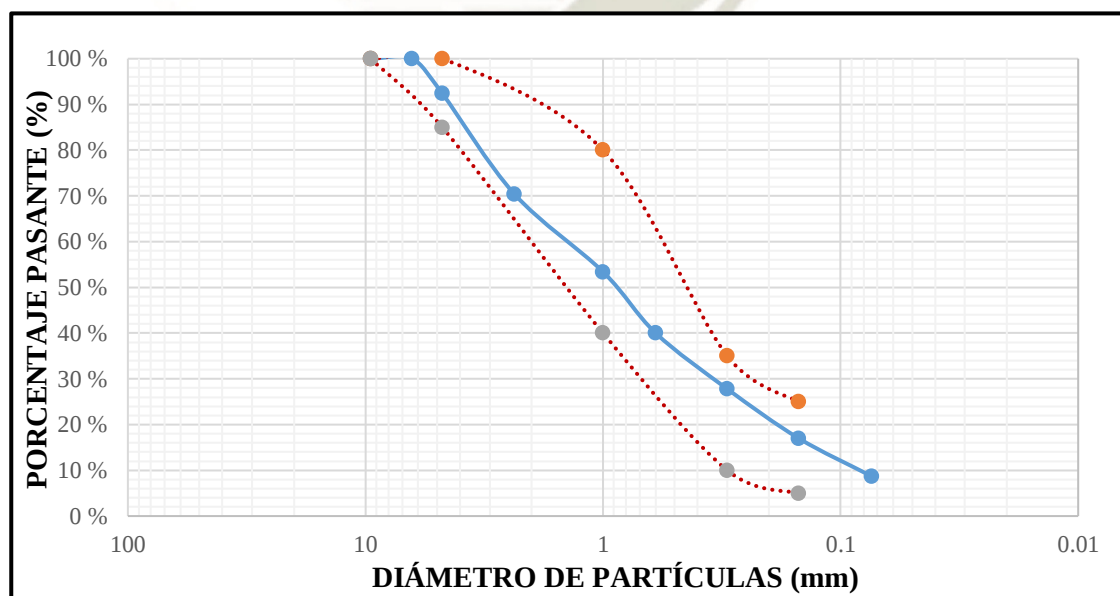


Gráfico 1 Curva granulométrica de la arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2.2. CENIZA VOLCÁNICA

Muestra antes de lavar	1000 g
Muestra después de lavar	884 g
Pasante tamiz N°200	116 g

GRANULOMETRÍA						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICA- CIONES
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"		0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	85-100
N° 8		192.00	19.20	19.20	80.80	
N° 16	4.75	160.00	16.00	35.20	64.80	40-80
N° 30		147.00	14.70	49.90	50.10	
N° 50	2.36	176.00	17.60	67.50	32.50	10-35
N° 100	1	167.00	16.70	84.20	15.80	5-25
N° 200		42.00	4.20	88.40	11.60	
< N° 200		116.00	11.60	100.00	0.00	
Total		1000.00				

Tabla 10 Análisis granulométrico de la ceniza volcánica
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO FINO

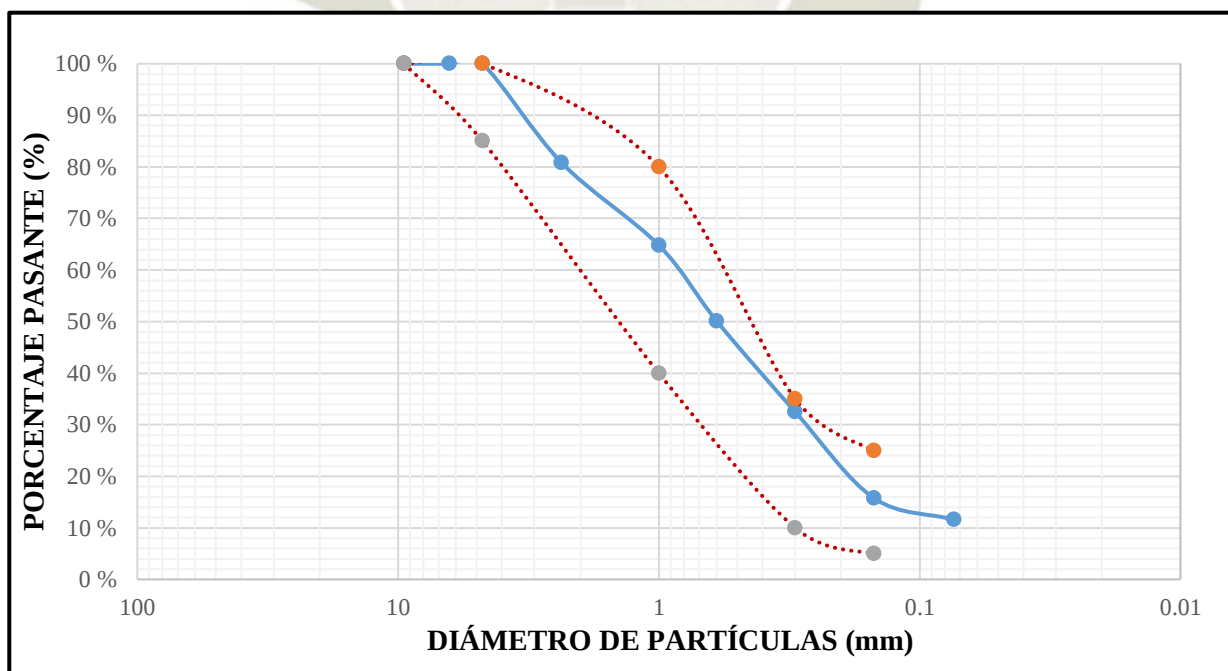


Gráfico 2 Curva granulométrica de la ceniza volcánica
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2.3. ARENA ESCORIA VOLCÁNICA

Muestra antes de lavar	1000 g
Muestra después de lavar	956 g
Pasante tamiz N°200	44 g

GRANULOMETRÍA						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICA- CIONES
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"		0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	6.35	1.00	0.10	0.10	99.90	85-100
N° 8		334.00	33.40	33.50	66.50	
N° 16	4.75	238.00	23.80	57.30	42.70	40-80
N° 30		141.00	14.10	71.40	28.60	
N° 50	2.36	110.00	11.00	82.40	17.60	10-35
N° 100	1	84.00	8.40	90.80	9.20	5-25
N° 200		48.00	4.80	95.60	4.40	
< N° 200		44.00	4.40	100.00	0.00	
Total		1000.00				

Tabla 11 Análisis granulométrico de la arena escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO FINO

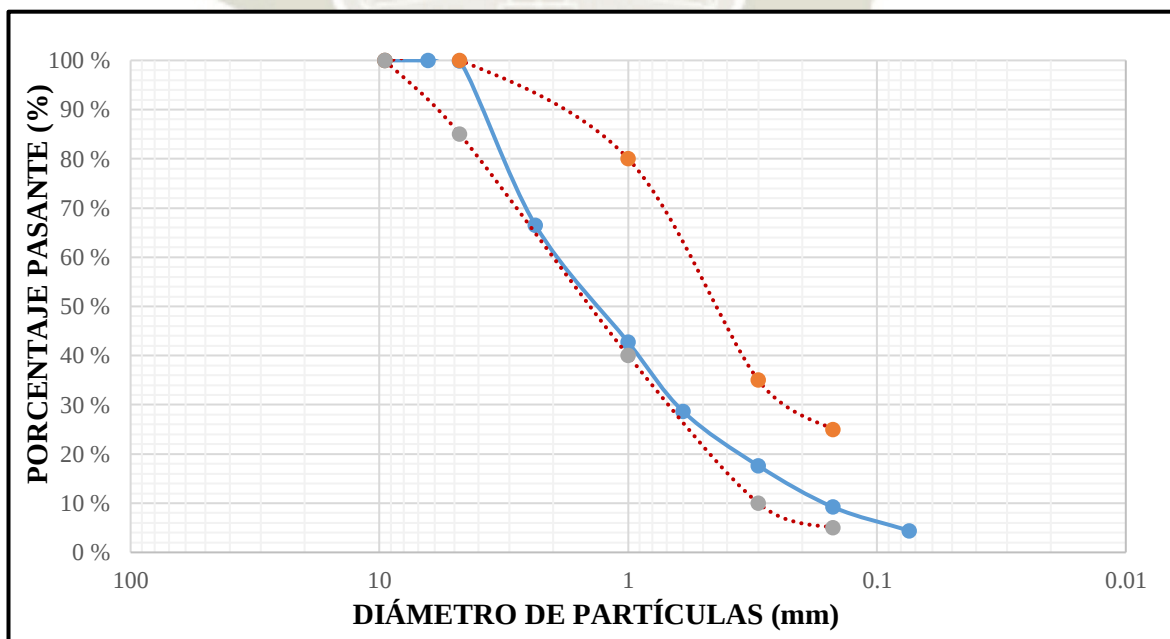


Gráfico 3 Curva granulométrica de la arena de escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2.4. ARENA PÓMEZ

Muestra antes de lavar	1000 g
Muestra después de lavar	871 g
Pasante tamiz N°200	129 g

GRANULOMETRÍA						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICA- CIONES
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"		0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	85-100
N° 8		130.00	13.00	13.00	87.00	
N° 16	4.75	146.00	14.60	27.60	72.40	40-80
N° 30		160.00	16.00	43.60	56.40	
N° 50	2.36	180.00	18.00	61.60	38.40	10-35
N° 100	1	152.00	15.20	76.80	23.20	5-25
N° 200		103.00	10.30	87.10	12.90	
< N° 200		129.00	12.90	100.00	0.00	
Total		1000.00				

Tabla 12 Análisis granulométrico de la arena pómez
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO FINO

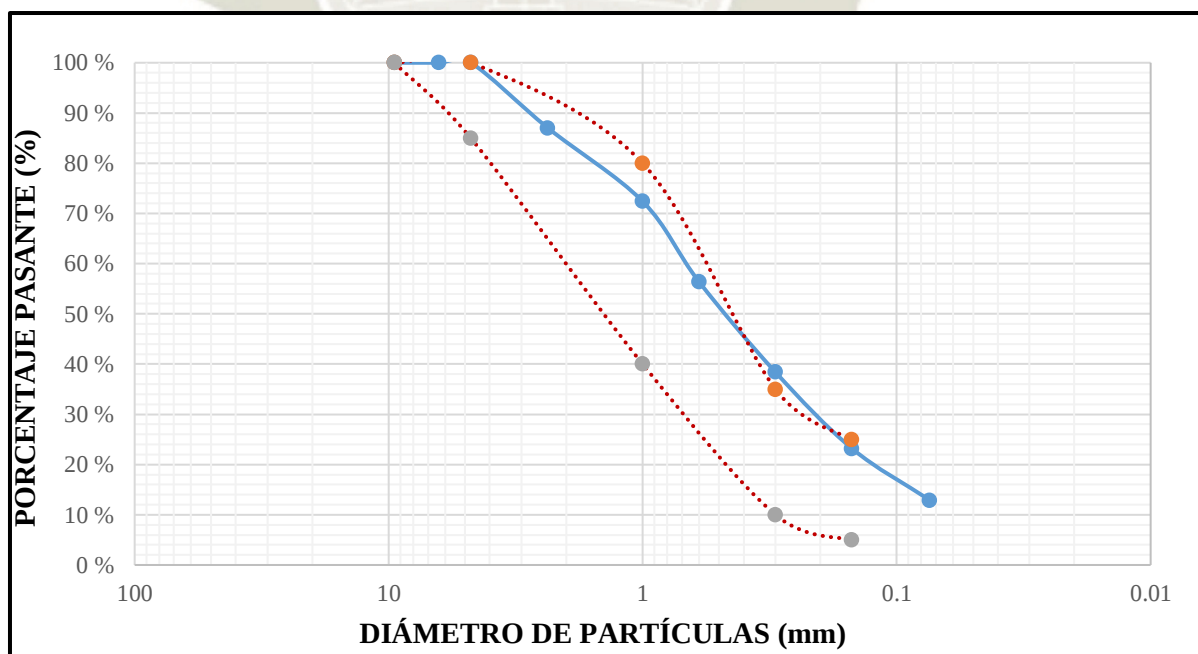


Gráfico 4 Curva granulométrica de la arena pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.3. MÓDULO DE FINEZA

Conocido como Modulo de finura, es un valor que nos da una primera idea sobre el grosor y finura del agregado.

El módulo de fineza se puede calcular con la siguiente formula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acumulado } (3/8" + \#4 + \#16 + \#50 + \#100)}{100}$$

Formula 4 Modulo de fineza del agregado fino de baja densidad

Agregado fino	Módulo de fineza
Arena gruesa	2.09
Ceniza volcánica	1.87
Arena escoria volcánica	2.31
Arena pómez	1.66

Tabla 13 Modulo de fineza de los agregados finos de baja densidad

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.4. AGREGADO GRUESO

La cantidad de agregado grueso utilizado en este ensayo es de 5000 g. El ensayo se realizó con los tamices normalizados en orden decreciente.

De acuerdo con la norma ASTM C-330-05 (Especificación normalizada para agregados livianos para concreto estructural), plantea los siguientes parámetros:

DESIGNACIÓN DEL TAMAÑO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS									
	25 mm(1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	300 μm (N°50)	150 μm (N°100)	75 μm (N°200)
25 mm a 4.75 mm	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	-	-	-	-	0 - 10
19 mm a 4.75 mm	100	90 - 100	-	10 - 50	0 - 15	-	-	-	-	0 - 10
12.5 mm a 4.75 mm	-	100	90 - 100	40 - 80	0 - 20	0 - 10	-	-	-	0 - 10
9.5 mm a 2.36 mm	-	-	100	90 - 100	5 - 40	0 - 20	0 - 10	-	-	0 - 10

Tabla 14 Especificaciones para agregado grueso de baja densidad

Fuente: ASTM C-330-05

3.1.1.4.1. PIEDRA CHANCADA ½"

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)	ESPECIFI- CACIONES
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/4"	19.00	109.00	2.18	2.18	97.82	90 - 100
1/2"	12.50	1906.00	38.12	40.30	59.70	-
3/8"	9.50	1199.00	23.98	64.28	35.72	10 - 50
1/4"	6.35	1355.00	27.10	91.38	8.62	-
N° 4	4.75	354.00	7.08	98.46	1.54	0 - 15
N° 8	2.36	77.00	1.54	100.00	0.00	0 - 5
Total		5000.00				

Tabla 15 Análisis granulométrico de piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO GRUESO

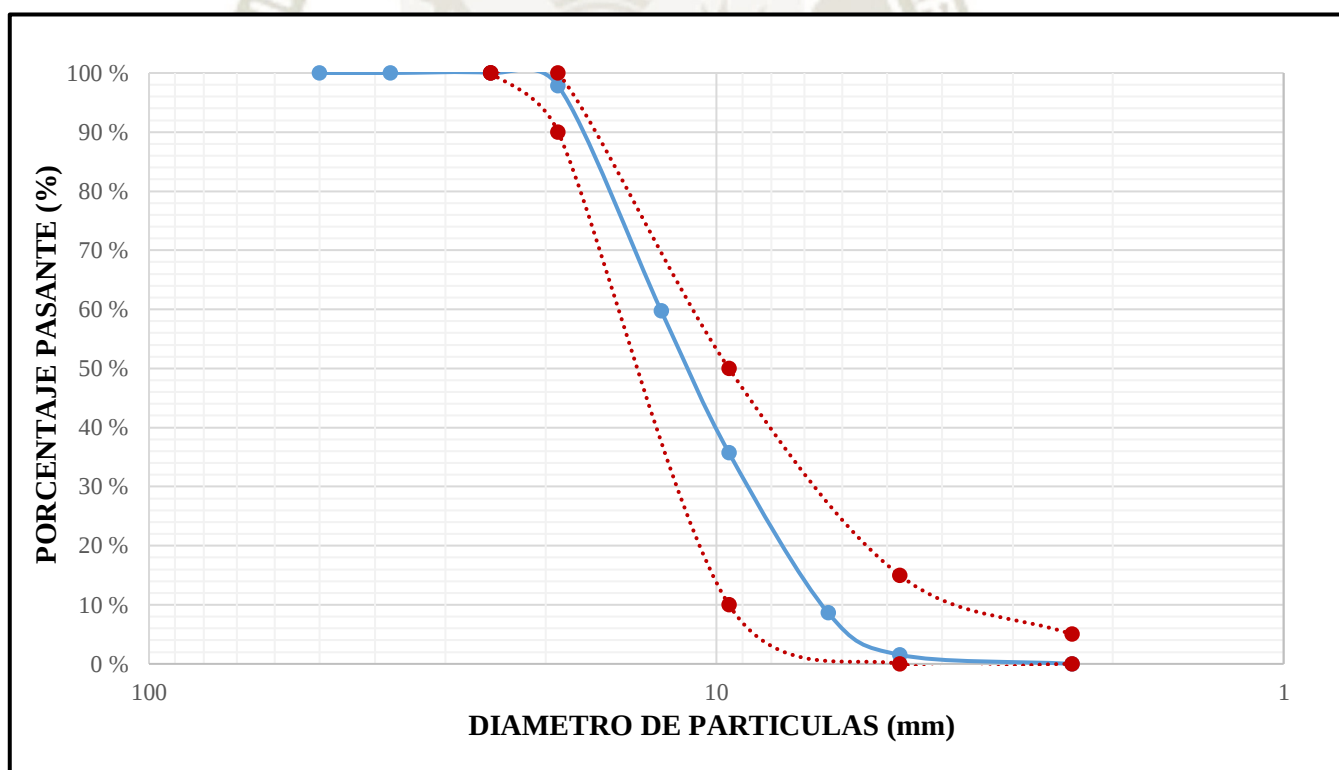


Gráfico 5 Curva granulométrica de piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.4.2. PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)	ESPECIFI- CACIONES
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.00	144.00	2.88	2.88	97.12	100.00
3/4"	19.00	302.00	6.04	8.92	91.08	90 - 100
1/2"	12.50	1159.00	23.18	32.10	67.90	-
3/8"	9.50	1125.00	22.50	54.60	45.40	10 - 50
1/4"	6.35	1270.00	25.40	80.00	20.00	-
N° 4	4.75	700.00	14.00	94.00	6.00	0 - 15
N° 8	2.36	300.00	6.00	100.00	0.00	0 - 5
Total		5000.00				

Tabla 16 Análisis granulométrico de la piedra escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO GRUESO

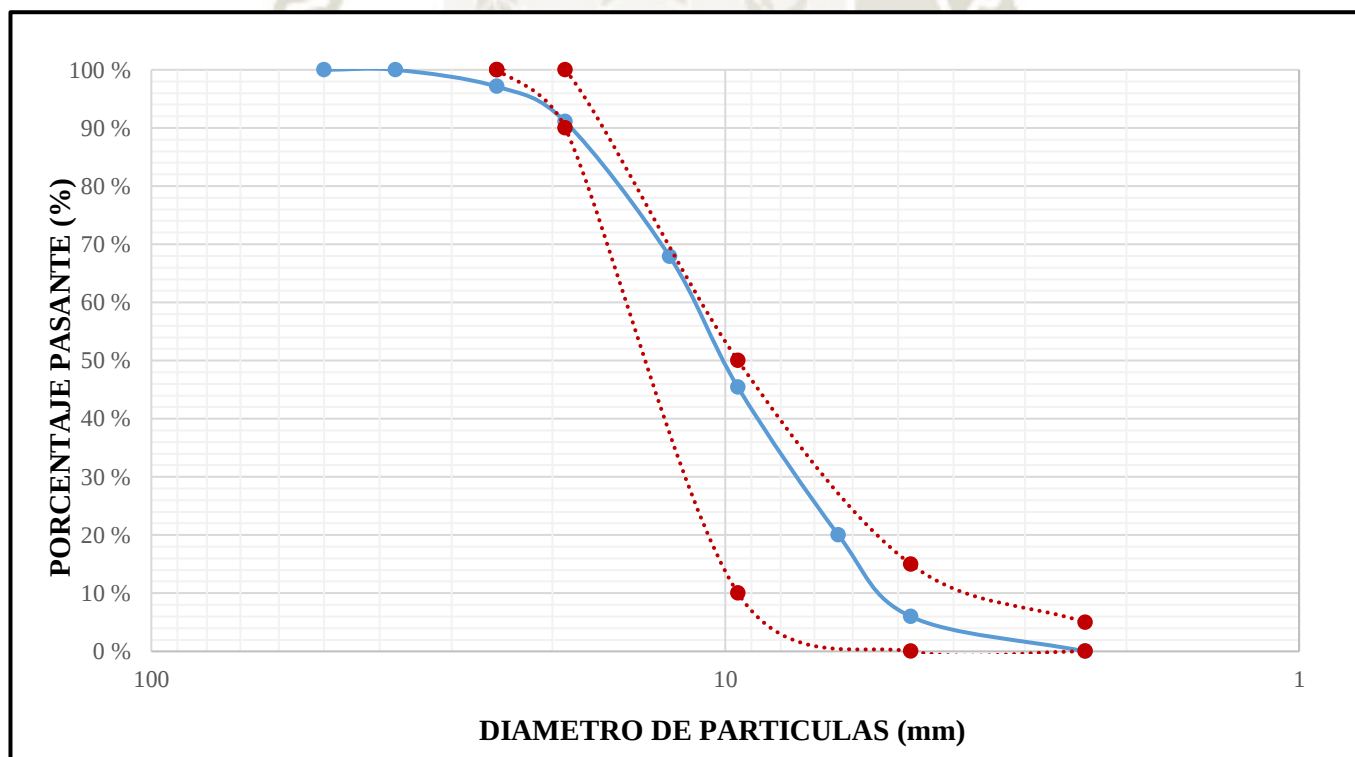


Gráfico 6 Curva granulométrica de la piedra escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.4.3. PIEDRA PÓMEZ

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)	ESPECIFI- CACIONES
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.00	227.00	4.54	4.54	95.46	100.00
3/4"	19.00	521.00	10.42	14.96	85.04	90 - 100
1/2"	12.50	1044.00	20.88	35.84	64.16	-
3/8"	9.50	913.00	18.26	54.10	45.90	10 - 50
1/4"	6.35	1333.00	26.66	80.76	19.24	-
N° 4	4.75	776.00	15.52	96.28	3.72	0 - 15
N° 8	2.36	186.00	3.72	100.00	0.00	0 - 5
Total		5000.00				

Tabla 17 Análisis granulométrico de la piedra pómez
Fuente: Elaboración propia

CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADO GRUESO

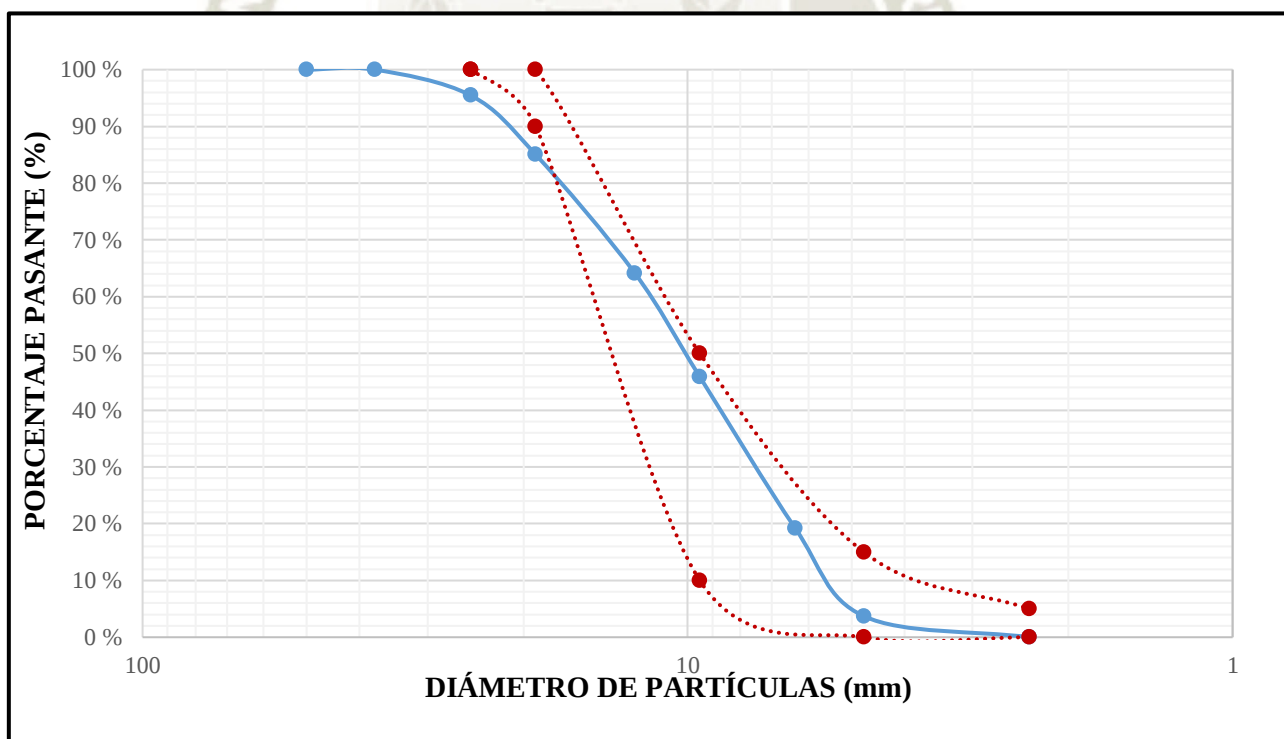


Gráfico 7 Curva granulométrica de la piedra pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Con esta propiedad se puede determinar el peso que ocupa en la mezcla entre el volumen total (sin vacíos). Para este procedimiento se requiere saturar las muestras por 24 horas previamente, de acuerdo con las normas NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino) y ASTM C-128 (Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregados finos).

3.1.2.1. PESO ESPECIFICO DE MASA

Conocido como la gravedad específica normal o nominal, es la relación del peso de las partículas con el volumen unitario del material permeable (con poros permeables e impermeables naturales del agregado), se utiliza la formula

$$PEm = \frac{W_o}{V_m}$$

Formula 5 Peso específico de masa del agregado fino

$$V_m = P1 + W_{sss} - P2$$

Formula 6 Volumen de la muestra sometida al ensayo

Donde:

- W_o (g) = peso de la muestra seca
- V_m (cm³) = volumen de la muestra
- $P1$ (g) = peso del picnómetro más agua hasta la marca
- $P2$ (g) = Peso del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca
- W_{sss} (g) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

3.1.2.2. PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

Es la relación entre las partículas del agregado con el volumen unitario del agregado con los poros internos completamente llenos de agua, después de sumergirlo 24 horas, se calcula con las siguientes formulas:

$$PE_{sss} = \frac{W_{sss}}{V_m}$$

Formula 7 Peso específico saturado superficialmente seco del agregado fino

$$V_m = P_1 + W_{sss} - P_2$$

Formula 8 Volumen de la muestra sometida al ensayo

Donde:

W_{sss} (g) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

V_m (cm³) = volumen de la muestra

P_1 (g) = peso del picnómetro más agua hasta la marca

P_2 (g) = Peso del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca

3.1.2.3. PESO ESPECIFICO APARENTE

Es la relación del peso de las partículas con el volumen unitario de la porción impermeable del agregado, se calcula con las siguientes formulas:

$$PE_a = \frac{W_o}{V_m}$$

Formula 9 Peso específico aparente del agregado fino

$$V_m = P_1 + W_o - P_2$$

Formula 10 Volumen de la muestra sometida al ensayo

Donde:

W_o (g) = peso de la muestra seca

V_m (cm³) = volumen de la muestra

P_1 (g) = peso del picnómetro más agua hasta la marca

P_2 (g) = peso del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca

3.1.2.4. ABSORCIÓN

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado durante 24 horas, se calcula con la fórmula:

$$\% \text{Absorción} = \frac{W_{ss} - W_o}{W_o} \times 100$$

Formula 11 Porcentaje de absorción

Donde:

W_o (g) = peso de la muestra seca

W_{ss} (g) = peso de la muestra saturada superficialmente seca

Descripción	Unidad	Arena gruesa	Ceniza volcánica	Escoria volcánica	Arena pómez
Peso de muestra saturada Sup. Seca	g	200	200	200	200
Peso (fiola + agua)	g	650	650	654	654
Peso (fiola + agua + muestra)	g	769	760	765	773.5
Peso muestra sumergida	g	119	110	111	119.5
Volumen de la muestra	cm ³	81	90	89	80.5
Peso de la muestra seca	g	194	192.5	186	193.5
Absorción	%	3.09	3.90	7.53	3.36
Peso específico de masa	g/cm³	2.40	2.14	2.09	2.40
Peso específico saturado sup. Seca	g/cm³	2.47	2.22	2.25	2.48
Peso específico aparente	g/cm³	2.59	2.33	2.48	2.61

Tabla 18 Pesos específicos y absorción de los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

3.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El procedimiento para el agregado grueso también requiere que la muestra sea saturada por un lapso de 24 horas, previa al ensayo, siguiendo las normas NTP 400.021 (Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso) y ASTM C-127 (Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos).

3.1.3.1. PESO ESPECIFICO DE MASA

$$PE_m = \frac{W_o}{W_{ss} - W_{sa}}$$

Formula 12 Peso específico de masa del agregado grueso

Donde:

W_o (g) = Peso de la muestra seca

W_{sss} (g) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

W_{sa} (g) = Peso de la muestra sumergida en el agua

3.1.3.2. PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$P_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sa}}$$

Formula 13 Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso

Donde:

W_{sss} (g) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

W_{sa} (g) = Peso de la muestra sumergida en el agua

3.1.3.3. PESO ESPECIFICO APARENTE

$$P_{Ea} = \frac{W_o}{W_o - W_{sa}}$$

Formula 14 Peso específico aparente del agregado grueso

Donde:

W_o (g) = Peso de la muestra seca

W_{sa} (g) = Peso de la muestra sumergida en el agua

Descripción	Unidad	Piedra chancada ½"	Escoria volcánica	Piedra pómez
Peso de muestra saturada Sup. Seca	g	800.0	800.0	500.5
Peso (canastilla + Muestra) sumergida	g	1368.0	1288.0	981.7
Peso canastilla sumergida	g	882.7	882.7	882.7
Peso muestra sumergida	g	485.3	405.3	99.0
Peso muestra seca	g	776.0	727.5	334.5
Volumen de la muestra	cm ³	314.7	394.7	401.5
Absorción	%	3.09	9.97	49.63
Peso específico	g/cm³	2.47	1.84	0.83
Peso específico saturado sup. Seca	g/cm³	2.54	2.03	1.25
Peso específico aparente	g/cm³	2.67	2.26	1.42

*Tabla 19 Pesos específicos y absorción de los agregados gruesos
Fuente: Elaboración propia*

El peso específico de masa es el valor que utilizaremos para el diseño de mezcla, dado que este considera los poros permeables e impermeables naturales del agregado. Al momento de realizar la mezcla el agregado se saturará primero, llenando de agua sus poros permeables y el agua sobrante es la que reaccionara con el cemento.

3.1.4. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Los parámetros establecidos para estos ensayos se indican en las normas NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado) y ASTM C-29 (Standard test method for Bulk Density “Unit Weight” and Voids in aggregate).

3.1.4.1. PESO UNITARIO SUELTO

Este ensayo determina la cantidad de agregado seco que entra de manera suave en un recipiente, se utiliza este ensayo para determinar el consumo de agregado por metro cubico o para determinar el volumen que podría ocupar un agregado al momento de su transporte y almacenamiento en estado suelto.

El peso unitario suelto se calcula con la siguiente formula:

$$PU \text{ suelto} = \frac{G - T}{V}$$

Formula 15 Peso unitario suelto

Donde:

G (g) = peso del agregado más molde

T (g) = peso del molde

V (cm³) = volumen del molde

3.1.4.1.1. P.U SUELTO DE LOS AGREGADOS FINOS

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	5907.0	5948.0	5904.0
Peso seco de la muestra (g)	4263.5	4304.5	4260.5
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.512	1.527	1.511
Peso unitario suelto	1.517	g/cm ³	

*Tabla 20 Peso unitario suelto de la Arena gruesa
Fuente: Elaboración propia*

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	4885.0	4893.0	4926.0
Peso seco de la muestra (g)	3241.5	3249.5	3282.5
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.150	1.153	1.164
Peso unitario suelto	1.156	g/cm³	

Tabla 21 Peso unitario suelto de la ceniza volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	5201.0	5311.0	5225.0
Peso seco de la muestra (g)	3557.5	3667.5	3581.5
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.262	1.301	1.271
Peso unitario suelto	1.278	g/cm³	

Tabla 22 Peso unitario suelto de la escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	5825.0	5867.5	5786.5
Peso seco de la muestra (g)	4181.5	4224.0	4143.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.483	1.498	1.470
Peso unitario suelto	1.484	g/cm³	

Tabla 23 Peso unitario suelto de la arena pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.1.2. P.U. SUELTO DE LOS AGREGADOS GRUESOS

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1645.0	1645.0	1645.0
Peso molde + suelo (g)	4942.0	4898.0	5008.0
Peso seco de la muestra (g)	3297.0	3253.0	3363.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2745.7	2745.7	2745.7
Densidad (g/cm ³)	1.201	1.185	1.225
Peso unitario compactado	1.203	g/cm³	

Tabla 24 Peso unitario suelto de la piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1607.5	1607.5	1607.5
Peso molde + suelo (g)	4323.0	4329.5	4354.5
Peso seco de la muestra (g)	2715.5	2722.0	2747.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	0.963	0.966	0.975
Peso unitario compactado	0.968	g/cm ³	

Tabla 25 Peso unitario suelto de la piedra escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1645.0	1645.0	1645.0
Peso molde + suelo (g)	3619.0	3719.0	3678.0
Peso seco de la muestra (g)	1974.0	2074.0	2033.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2745.7	2745.7	2745.7
Densidad (g/cm ³)	0.719	0.755	0.740
Peso unitario compactado	0.738	g/cm ³	

Tabla 26 Peso unitario suelto de la piedra pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

Este ensayo determina la cantidad de agregado seco que puede entrar bajo fuerzas externas de compactación (varillado) para lograr un acomodamiento de partículas. Este dato permite determinar el volumen absoluto de los agregados en la mezcla de concreto, que reciben un proceso de compactación durante su colocación.

El peso unitario compactado se calcula con la siguiente formula:

$$PU \text{ compactado} = \frac{G - T}{V}$$

Formula 16 Peso unitario compactado

Donde:

G (g) = peso del agregado más molde

T (g) = peso del molde

V (cm³) = volumen del molde

3.1.4.2.1. P.U. COMPACTADO DE LOS AGREGADOS FINOS

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	6610.0	6679.5	6646.5
Peso seco de la muestra (g)	4966.5	5036.0	5003.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.762	1.787	1.775
Peso unitario compactado	1.774	g/cm ³	

Tabla 27 Peso unitario compactado de la arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	5431.0	5462.0	5427.0
Peso seco de la muestra (g)	3787.5	3818.5	3783.5
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.344	1.355	1.342
Peso unitario compactado	1.347	g/cm ³	

Tabla 28 Peso unitario compactado de la ceniza volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	5858.0	5860.0	5909.5
Peso seco de la muestra (g)	4214.5	4216.5	4266.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.495	1.496	1.513
Peso unitario compactado	1.501	g/cm ³	

Tabla 29 Peso unitario compactado de la arena escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1643.5	1643.5	1643.5
Peso molde + suelo (g)	6555.0	6586.5	6575.8
Peso seco de la muestra (g)	4911.5	4943.0	4932.3
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.742	1.754	1.750
Peso unitario compactado	1.749	g/cm ³	

Tabla 30 Peso unitario compactado de la arena pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2.2. P.U. COMPACTADO DE LOS AGREGADOS GRUESOS

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1645.0	1645.0	1645.0
Peso molde + suelo (g)	5508.0	5534.0	5510.0
Peso seco de la muestra (g)	3863.0	3889.0	3865.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2745.7	2745.7	2745.7
Densidad (g/cm ³)	1.407	1.416	1.408
Peso unitario compactado	1.410	g/cm ³	

Tabla 31 Peso unitario compactado de la piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1607.5	1607.5	1607.5
Peso molde + suelo (g)	4660.5	4843.5	4781.5
Peso seco de la muestra (g)	3053.0	3236.0	3174.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2818.9	2818.9	2818.9
Densidad (g/cm ³)	1.083	1.148	1.126
Peso unitario compactado	1.119	g/cm ³	

Tabla 32 Peso unitario compactado de la piedra escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Descripción	1	2	3
Peso molde (g)	1645.0	1645.0	1645.0
Peso molde + suelo (g)	4024.0	4067.0	4067.0
Peso seco de la muestra (g)	2379.0	2422.0	2422.0
Volumen de la muestra (cm ³)	2745.7	2745.7	2745.7
Densidad (g/cm ³)	0.866	0.882	0.882
Peso unitario compactado	0.877	g/cm ³	

Tabla 33 Peso unitario compactado de la piedra pómez
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.3. RESUMEN PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

	PU Suelto g/cm ³	PU Compactado g/cm ³
Arena gruesa	1.517	1.774
Arena ceniza volcánica	1.156	1.347
Arena escoria volcánica	1.278	1.501
Arena pómez	1.484	1.749
Piedra chancada 1/2"	1.203	1.410
Piedra escoria volcánica	0.968	1.119
Piedra pómez	0.788	0.877

Tabla 34 Resumen de P.U. suelto y compactado de los agregados
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.4. PORCENTAJE DE HUMEDAD

Este ensayo determina el porcentaje de humedad evaporable del agregado fino y grueso; esta humedad evaporable incluye la presente en los poros y superficialmente, el ensayo se realizó siguiendo los parámetros establecidos por las normas NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado).

Para calcular el porcentaje de humedad de los agregados se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(H - S)}{S} \times 100$$

Formula 17 Porcentaje de humedad

Donde:

H (g) = Peso de la muestra húmeda

S (g) = Peso de la muestra seca

3.1.4.4.1. AGREGADO FINO

Descripción	Unidad	Arena gruesa	Arena Ceniza volcánica	Arena Escoria volcánica	Arena pómez
Peso húmedo + capsula	g	501.0	480.0	502.0	500.0
Peso seco + capsula	g	499.5	474.5	498.5	499.0
Peso del agua	g	1.5	5.5	3.5	1.0
Peso de la capsula	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso neto del suelo seco	g	499.5	474.5	498.5	499.0
Porcentaje de humedad	%	0.30	1.16	0.70	0.20

*Tabla 35 Contenido de humedad del agregado fino
Fuente: Elaboración propia*

3.1.4.4.2. AGREGADO GRUESO

Descripción	Unidad	Piedra chancada ½"	Piedra escoria volcánica	Piedra pómez
Peso húmedo + capsula	g	549.5	550.0	500.0
Peso seco + capsula	g	548.0	549.0	499.0
Peso del agua	g	1.5	1.0	1.0
Peso de la capsula	g	0.0	0.0	0.0
Peso neto del suelo seco	g	548.0	549.0	499.0
Porcentaje de humedad	%	0.27	0.18	0.20

*Tabla 36 Contenido de humedad del agregado grueso
Fuente: Elaboración propia*

3.1.4.5. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

Propiedades de los componentes del concreto	Unidad	Arena gruesa	Arena ceniza volcánica	Arena escoria volcánica	Arena pómez
Módulo de fineza	-	2.09	1.87	2.31	1.66
Peso específico	g/cm ³	2.40	2.14	2.09	2.40
Porcentaje de absorción	%	3.09	3.90	7.53	3.36
Peso unitario suelto	kg/m ³	1517	1156	1278	1484
Peso unitario compactado	kg/m ³	1774	1347	1501	1749
Porcentaje de humedad	%	0.30	1.16	0.70	0.20

Tabla 37 Resumen de las propiedades de los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

Propiedades de los componentes del concreto	Unidad	Piedra chancada ½"	Escoria volcánica	Piedra pómez
TMN	-	1/2"	3/4"	3/4"
Peso específico	g/cm ³	2.47	1.84	0.83
Porcentaje de absorción	%	3.09	9.97	49.60
Peso unitario suelto	kg/m ³	1.203	0.968	0.788
Peso unitario compactado	kg/m ³	1.410	1.119	0.877
Porcentaje de humedad	%	0.27	0.18	0.20

Tabla 38 Resumen de las propiedades de los agregados gruesos
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.6. COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Este ensayo es necesario para hallar la relación de agregados gruesos y finos (20:80, 40:60, 60:40, 80:20) se denominará relación de finos dentro del diseño de mezcla, es decir una relación de finos 0.40 significara 40% de agregado fino y 60% de agregado grueso del volumen total de los agregados. Su procedimiento es el mismo de los pesos unitarios sueltos y compactados, variando la combinación de la siguiente forma:

Relacion de finos	Agregado grueso	Agregado fino	Ensayo para realizar
0.20	80% de agregado grueso +	20 % de agregado fino	P.U. suelto y compactado
0.40	60% de agregado grueso +	40 % de agregado fino	P.U. suelto y compactado
0.60	40% de agregado grueso +	60 % de agregado fino	P.U. suelto y compactado
0.80	20% de agregado grueso +	80 % de agregado fino	P.U. suelto y compactado

Tabla 39 Porcentaje de combinación de agregado fino y grueso
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.6.1. PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA

AGREGADO GRUESO (ESCORIA VOLCÁNICA) + AGREGADO FINO (PIEDRA PÓMEZ)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2751.60	1608.00	4957.00	4941.00	4927.00	4941.67	1211.54	5248.00	5286.00	5274.00	5269.33	1330.62
AG 60% + 40% AF	2751.60	1608.00	5489.00	5471.00	5467.00	5475.67	1405.61	5904.00	5736.00	5924.00	5854.67	1543.34
AG 40% + 60% AF	2751.60	1608.00	5888.00	5905.00	5870.00	5887.67	1555.34	6456.00	6360.00	6347.00	6387.67	1737.05
AG 20% + 80% AF	2751.60	1608.00	6021.00	6012.00	6028.00	6020.33	1603.55	6543.00	6550.00	6547.00	6546.67	1794.83
AGREGADO GRUESO (ESCORIA VOLCÁNICA) + AGREGADO FINO (CENIZA VOLANTE)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2751.60	1608.00	4826.00	4830.00	4810.00	4822.00	1168.05	5295.00	5308.00	5237.00	5280.00	1334.50
AG 60% + 40% AF	2751.60	1608.00	5298.00	5278.00	5301.00	5292.33	1338.98	5826.00	5733.00	5773.00	5777.33	1515.24
AG 40% + 60% AF	2751.60	1608.00	5453.00	5442.00	5471.00	5455.33	1398.22	5827.00	5861.00	5881.00	5856.33	1543.95
AG 20% + 80% AF	2751.60	1608.00	5383.00	5370.00	5389.00	5380.67	1371.08	5644.00	5683.00	5707.00	5678.00	1479.14
AGREGADO GRUESO (ESCORIA VOLCÁNICA) + AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2758.00	1728.00	4870.50	4851.00	4859.00	4860.17	1135.67	5312.00	5279.50	5277.00	5289.50	1291.33
AG 60% + 40% AF	2758.00	1728.00	5489.50	5414.00	5427.00	5443.50	1347.17	5850.00	5857.00	5785.50	5830.83	1487.61
AG 40% + 60% AF	2758.00	1728.00	5986.00	5971.00	5978.00	5978.33	1541.09	6446.00	6232.50	6482.00	6386.83	1689.21
AG 20% + 80% AF	2758.00	1728.00	6259.00	6228.50	6242.00	6243.17	1637.12	6611.00	6702.00	6727.00	6680.00	1795.50
AGREGADO GRUESO (ESCORIA VOLCÁNICA) + AGREGADO FINO (ESCORIA VOLCÁNICA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2758.00	1728.00	4730.00	4701.50	4721.00	4717.50	1083.94	5059.50	5098.00	5149.00	5102.17	1223.41
AG 60% + 40% AF	2758.00	1728.00	5146.50	5126.00	5134.00	5135.50	1235.50	5556.50	5555.00	5544.00	5551.83	1386.45
AG 40% + 60% AF	2758.00	1728.00	5506.50	5429.50	5502.00	5479.33	1360.16	5876.50	6007.00	5911.50	5931.67	1524.17
AG 20% + 80% AF	2758.00	1728.00	5493.00	5620.00	5570.00	5561.00	1389.78	5987.00	6036.00	5949.50	5990.83	1545.62

Tabla 40 Combinaciones de Piedra Escoria volcánica y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40, se indican los datos obtenidos del ensayo de peso unitario suelto y compactado de las combinaciones de agregados de baja densidad, teniendo como agregado grueso base la escoria volcánica y variando los agregados finos.

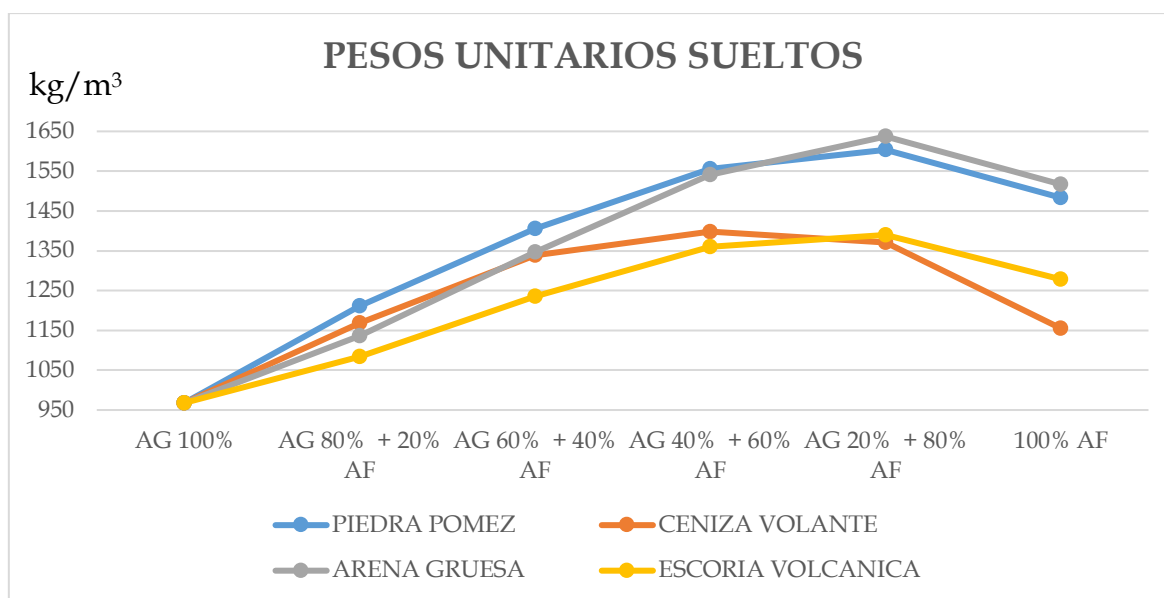


Gráfico 8 Curvas de P.U. sueltos de la piedra escoria volcánica y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

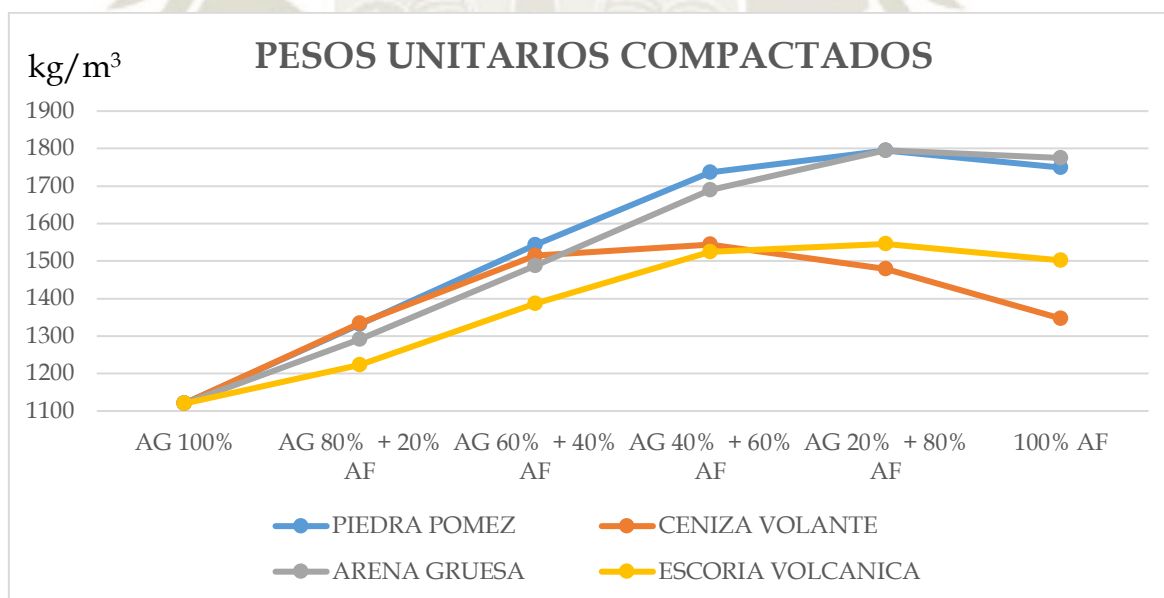


Gráfico 9 Curvas de P.U. compactado de la piedra escoria volcánica y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.6.2. PIEDRA PÓMEZ

AGREGADO GRUESO (PIEDRA PÓMEZ) + AGREGADO FINO (PIEDRA PÓMEZ)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2739.43	1645.00	4317	4327	4350	4331.33	980.62	4559	4640	4620	4606.33	1081.00
AG 60% + 40% AF	2739.43	1645.00	5067	5047	5078	5064.00	1248.07	5438	5467	5431	5445.33	1387.27
AG 40% + 60% AF	2739.43	1645.00	5442	5448	5437	5442.33	1386.18	6113	6005	6018	6045.33	1606.30
AG 20% + 80% AF	2739.43	1645.00	5788	5790	5772	5783.33	1510.65	6329	6383	6356	6356.00	1719.70
AGREGADO GRUESO (PIEDRA PÓMEZ) + AGREGADO FINO (CENIZA VOLANTE)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2739.43	1645.00	4196	4157	4187	4180.00	925.37	4525	4537	4551	4537.67	1055.94
AG 60% + 40% AF	2739.43	1645.00	4842	4857	4824	4841.00	1166.67	5216	5160	5115	5163.67	1284.45
AG 40% + 60% AF	2739.43	1645.00	4948	4957	4974	4959.67	1209.98	5406	5330	5484	5406.67	1373.16
AG 20% + 80% AF	2739.43	1645.00	5044	5024	5037	5035.00	1237.48	5441	5429	5463	5444.33	1386.91
AGREGADO GRUESO (PIEDRA PÓMEZ) + AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2739.43	1645.00	4396	4330	4357	4361.00	991.45	4695	4662	4651	4669.33	1104.00
AG 60% + 40% AF	2739.43	1645.00	4965	5048	5008	5007.00	1227.26	5443.5	5406	5459.5	5436.33	1383.99
AG 40% + 60% AF	2739.43	1645.00	5458	5531	5497	5495.33	1405.52	6058.5	6166.5	6127.5	6117.50	1632.64
AG 20% + 80% AF	2739.43	1645.00	5949	5952	5957	5952.67	1572.47	6386	6457	6377	6406.67	1738.20
AGREGADO GRUESO (PIEDRA PÓMEZ) + AGREGADO FINO (ESCORIA VOLCÁNICA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2739.43	1645.00	4275	4247	4278	4266.67	957.01	4462	4524	4497	4494.33	1040.12
AG 60% + 40% AF	2739.43	1645.00	4758	4757	4745	4753.33	1134.66	5079	5119	5072	5090.00	1257.56
AG 40% + 60% AF	2739.43	1645.00	4938	4957	4921	4938.67	1202.32	5508	5567	5510	5528.33	1417.57
AG 20% + 80% AF	2739.43	1645.00	5070	5040	5047	5052.33	1243.81	5708	5662	5617	5662.33	1466.49

Tabla 41 Combinaciones de la piedra pómez y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 41, se indican los datos obtenidos del ensayo de peso unitario suelto y compactado de las combinaciones de agregados de baja densidad, teniendo como agregado grueso base la piedra pómez y variando los agregados finos.

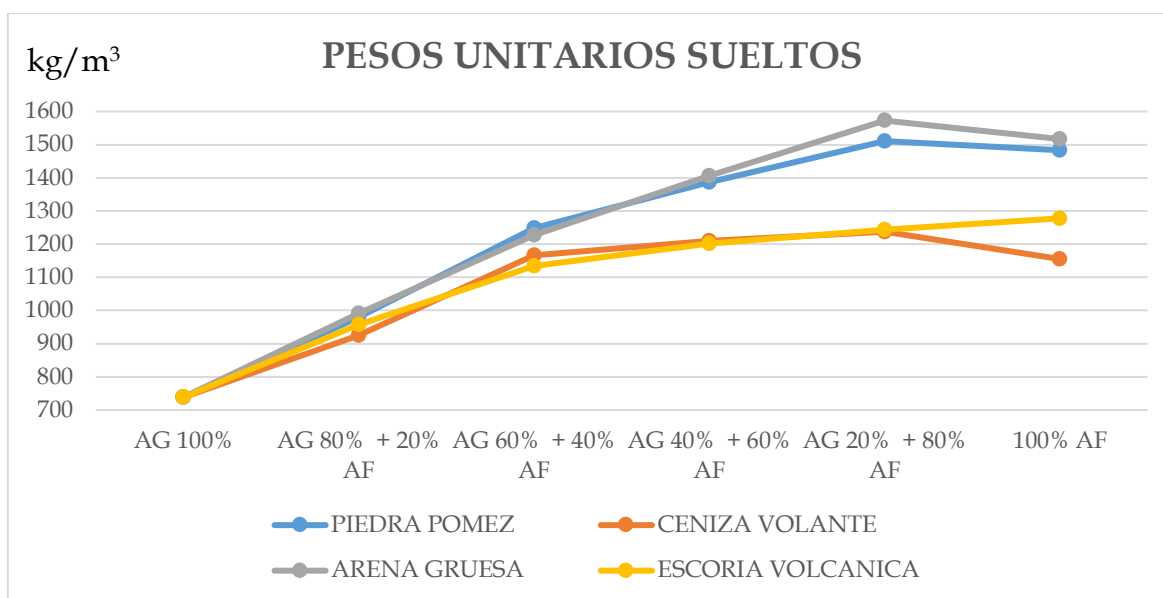


Gráfico 10 Curvas de P.U. suelto de la piedra pómez y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

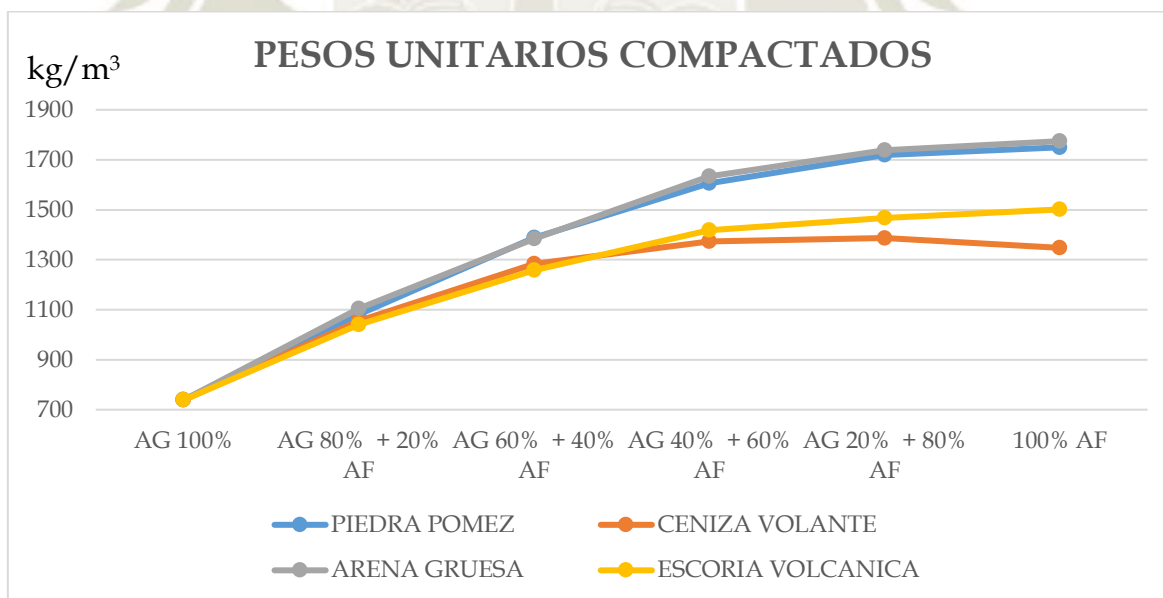


Gráfico 11 Curvas de P.U. compactados de la piedra pómez y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

3.1.4.6.3. PIEDRA CHANCADA DE 1/2"

AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA 1/2") + AGREGADO FINO (PIEDRA PÓMEZ)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2739.43	1645.00	5529	5500	5517	5515.33	1412.82	6062	6076	6061	6066.33	1613.96
AG 60% + 40% AF	2739.43	1645.00	6064.5	6085	6074	6074.50	1616.94	6679	6703	6692	6691.33	1842.11
AG 40% + 60% AF	2739.43	1645.00	6349.5	6388	6378	6371.83	1725.48	6880	6867	6872	6873.00	1908.43
AG 20% + 80% AF	2739.43	1645.00	6234	6258.5	6238	6243.50	1678.63	6815	6789	6792	6798.67	1881.29
AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA 1/2") + AGREGADO FINO (CENIZA VOLANTE)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2751.84	1726.50	5588	5550	5570	5569.33	1396.46	5952	5951.5	6114	6005.83	1555.08
AG 60% + 40% AF	2751.84	1726.50	5850	5863	5874	5862.33	1502.93	6245.5	6336	6379	6320.17	1669.31
AG 40% + 60% AF	2751.84	1726.50	5757	5761	5747	5755.00	1463.93	6184	6190	6094	6156.00	1609.65
AG 20% + 80% AF	2751.84	1726.50	5419	5446	5427	5430.67	1346.07	5770	5786	5796	5784.00	1474.47
AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA 1/2") + AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2751.84	1726.50	5486	5463	5470	5473.00	1361.45	5916	5985	6073.5	5991.50	1549.87
AG 60% + 40% AF	2751.84	1726.50	5888	5875	5878	5880.33	1509.47	6394.5	6440	6397	6410.50	1702.13
AG 40% + 60% AF	2751.84	1726.50	5919	6153	6027	6033.00	1564.95	6565	6617	6658	6613.33	1775.84
AG 20% + 80% AF	2751.84	1726.50	6165	6098	6140	6134.33	1601.78	6679	6665	6678	6674.00	1797.89
AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA 1/2") + AGREGADO FINO (ESCORIA VOLCÁNICA)												
% de combinación	Volumen molde (cm³)	Peso molde (g)	Peso suelto 1 - (g)	Peso suelto 2 - (g)	Peso suelto 3 - (g)	Peso suelto Prom. (g)	P.U Suelto (kg/m³)	Peso compactado 1 - (g)	Peso compactado 2 - (g)	Peso compactado 3 - (g)	Peso compactado prom. (g)	P.U compactado (kg/m³)
AG 80% + 20% AF	2751.84	1726.50	5645	5641	5650	5645.33	1424.08	6052	6052	6060	6054.67	1572.83
AG 60% + 40% AF	2751.84	1726.50	5830	5831	5821	5827.33	1490.22	6245.5	6357	6321	6307.83	1664.83
AG 40% + 60% AF	2751.84	1726.50	5882	5887	5874	5881.00	1509.72	6297	6302	6291	6296.67	1660.77
AG 20% + 80% AF	2751.84	1726.50	5606	5600	5612	5606.00	1409.78	6021	6024	6045	6030.00	1563.86

Tabla 42 Combinaciones de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 42, se indican los datos obtenidos del ensayo de peso unitario suelto y compactado de las combinaciones de agregados de baja densidad, teniendo como agregado grueso base la piedra chancada de 1/2" y variando los agregados finos.

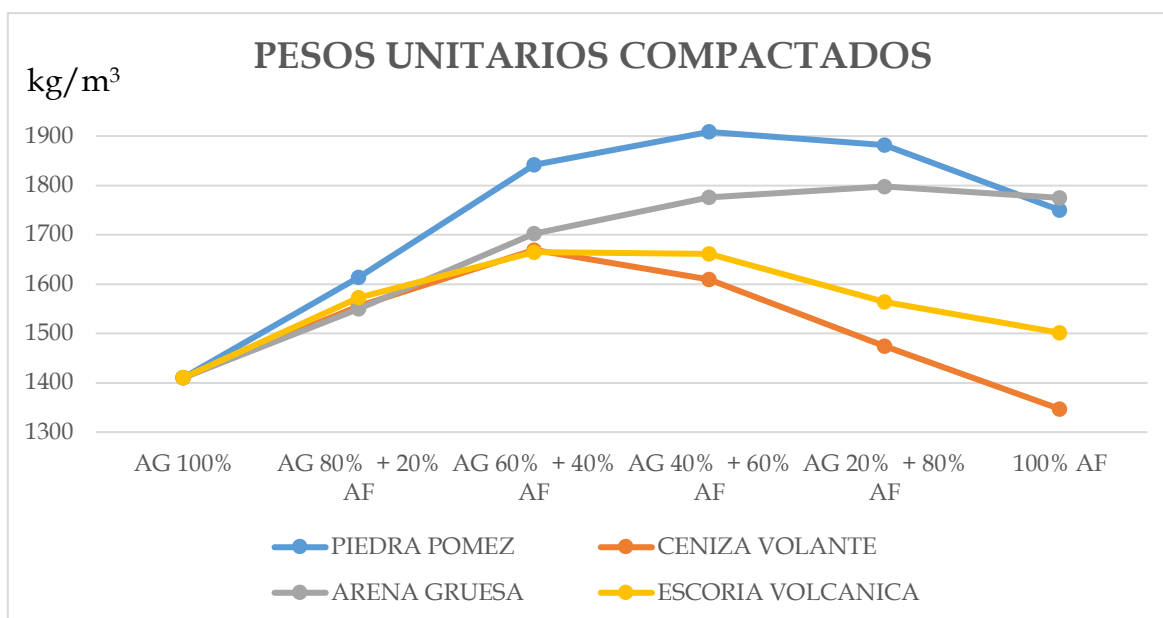


Gráfico 12 Curvas de P.U. suelto de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

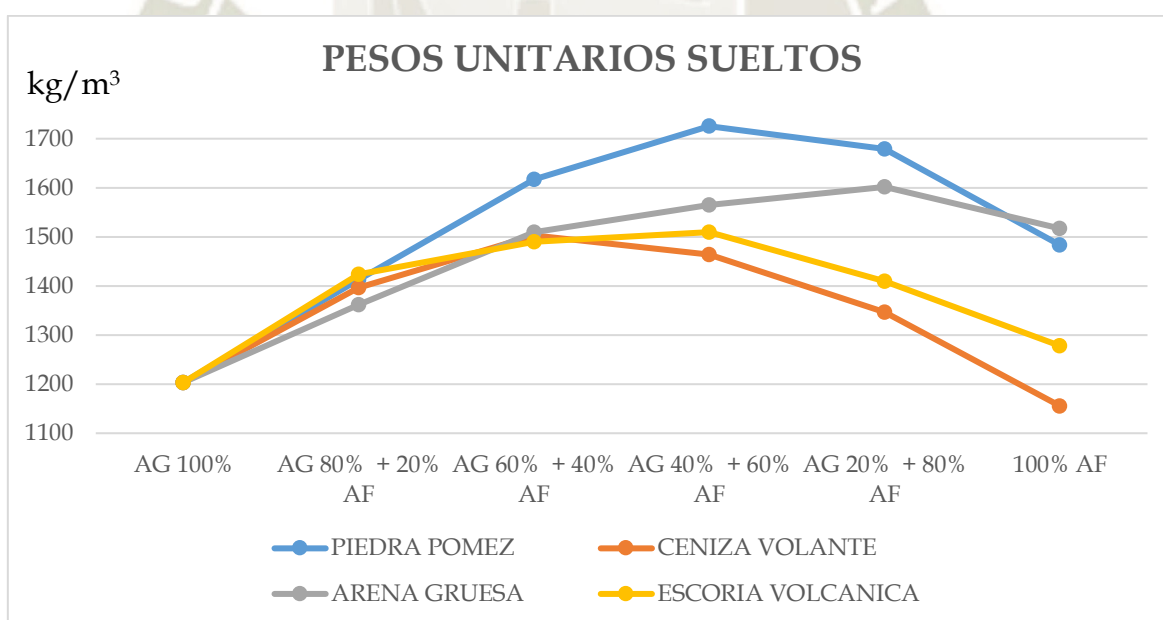


Gráfico 13 Curvas de P.U. compactado de la piedra chancada de 1/2" y los agregados finos
Fuente: Elaboración propia

3.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Hay muchas maneras de producir Concreto de baja densidad, pero estas se resumen básicamente en tres, dependiendo de su constitución. El primero corresponde al concreto de baja densidad con agregado liviano, el cual reemplaza en su totalidad al agregado grueso y está destinado para usos estructurales. El segundo hace referencia al concreto aireado, celular o espumoso, en el cual se le introducen grandes vacíos al hormigón, de tal manera que se produce un concreto poroso y liviano. También se tiene el concreto sin finos, donde se mantienen los agregados gruesos de peso normal, se omiten los agregados finos y por lo tanto hay un gran número de vacíos intersticiales presentes. En la presente investigación, interesa la dosificación correspondiente al primer tipo de concreto, el concreto de baja densidad con agregado liviano.

Con el conocimiento de las propiedades del agregado que utilizaremos así como el cemento para elaborar el diseño de mezclas, se realizó algunos diseños previos para determinar el contenido de agua y relación a/c óptimo que garantice un buen comportamiento de la mezcla de concreto, posteriormente se hizo los reemplazos parciales y totales del agregado liviano, siguiendo la metodología del método de relación de finos (O'Reilly), para así controlar las relaciones entre agregado fino y grueso; logrando relacionar el peso unitario de la mezcla con la mezcla de agregados para comprender la influencia del agregado ligero en el concreto.

3.2.1. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO

El método de dosificación utilizado en esta investigación se detalla a continuación:

1. Pesar los agregados, cemento y agua.
2. Humedecer el trompo para evitar pérdida de agua de la mezcla por absorción del trompo, y también para evitar que se pegue la mezcla.
3. Se coloca el agregado fino en su totalidad, con $\frac{1}{4}$ del agua de mezcla, esperar que el agregado fino distribuya y absorba el agua inicial.
4. Se coloca el agregado grueso en su totalidad, y se agrega $\frac{1}{4}$ de agua de mezcla más, de igual forma esperamos que el agua se distribuya y uniformice la mezcla.

Figura 16 Combinación de agregado fino y grueso en la mezcladora



Fuente: Elaboración propia

5. Se coloca el cemento en su totalidad, y se espera a que se distribuya uniformemente con los agregados.

Figura 17 Combinación de los agregados y cemento en la mezcladora



Fuente: Elaboración propia

6. Se termina de echar el agua restante de la mezcla, de manera lenta, para que se cree una mezcla uniforme.
7. En el caso se le adicione las perlitas de poliestireno expandido, se le añade en esta parte y que continúe la mezcla dentro de la mezcladora por un par de minutos más.

Figura 18 Combinación de los agregados, cemento y las perlitas de perlitas de poliestireno



Fuente: Elaboración propia

8. Continuar mezclando la mezcla total, hasta lograr obtener una mezcla homogénea, con una consistencia plástica.

Figura 19 Mezcla homogénea con una consistencia plástica



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

1. Seleccionar la resistencia promedio requerida. Al no contar con una desviación estándar, se optó por utilizar la resistencia promedio de igual manera que el diseño ACI.

$$f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} \quad f'cr = f'c + 84 ; \text{ en tal caso } f'cr = 294 \frac{kg}{cm^2}$$

Formula 18 Resistencia promedio requerida

2. Selección del asentamiento, de igual manera que en el diseño del ACI, se escoge el asentamiento de 3" a 4".
3. Selección del TMN, en este caso usamos el de $\frac{3}{4}$ ".
4. Selección de contenido de aire, seguimos con los parámetros del ACI, para un contenido de aire de 2.0%.
5. Determinación de la relación de finos óptima. Este punto el método de O'Reilly busca el mínimo porcentaje de vacíos, para garantizar un correcto recubrimiento de los refuerzos de acero. La siguiente tabla muestra la combinación del agregado grueso Piedra $\frac{1}{2}$ " y Arena de piedra pómez.

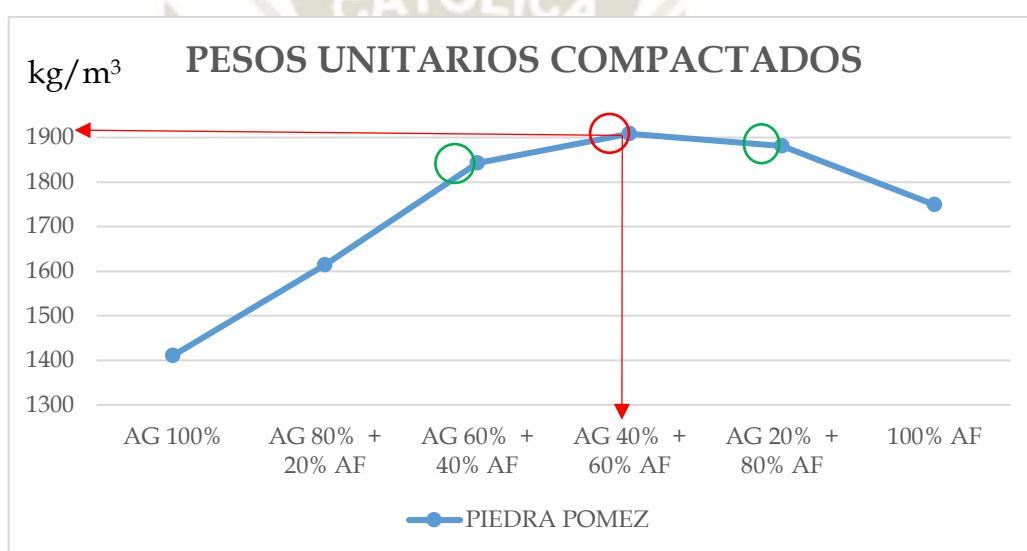


Gráfico 14 Curva de P.U. compactado de piedra chancada $\frac{1}{2}$ " y Arena de piedra pómez
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el punto rojo, es el punto que presenta mayor peso, es decir menor cantidad de vacíos; el método O'Reilly escogería esta combinación, pero en la presente investigación escogeremos el punto más alto y unas variantes de combinación (puntos verdes) este último paso para empezar a variar la densidad de la combinación y la densidad del concreto.

6. Con la relación de finos seleccionada, en este caso RF 0.60, es decir del volumen total de agregado de la mezcla 40% será agregado grueso y 60% será agregado fino.

7. La determinación del agua se realizará en primera instancia un diseño ACI, y empíricamente se halló la cantidad de agua necesaria que garantiza una correcta trabajabilidad, en este caso 250 litros/m³.
8. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño y aire.
9. Determinación de la relación de agregados, es decir del volumen faltante de la mezcla se distribuye tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.
10. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
11. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
12. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.
13. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

A continuación, se detalla un ejemplo del método utilizado en la presente investigación



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO
PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD CON
AGREGADOS NATURALES E INDUSTRIALES, APLICADA EN EL DISEÑO
DE UNA EDIFICACIÓN SOBRE UN SUELO CON BAJA CAPACIDAD
PORTANTE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

MÉTODO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS - O'REILLY

Se desea calcular las proporciones de los materiales integrantes de una mezcla de concreto a ser empleada en las vigas y columnas de un edificio de departamentos a ser construidos en la ciudad de Arequipa, con especificaciones: Resistencia de diseño especificada a 210 kgf/cm^2 a 28 días, con una consistencia plástica y tamaño máximo nominal del agregado grueso es de $\frac{3}{4}$ "

	Cemento	Agua	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico (g/cm^3)	2.85	1.00	2.59	2.67
Absorción (%)	-	-	3.05	3.09
Humedad (%)	-	-	0.30	0.30
Modulo finura	-	-	-	-
PE compactado (kg/m^3)	-	-	1410.35	1410.35
TMN	-	-	-	$\frac{3}{4}$ "

1. Determinación de la resistencia promedio

$$f_{cr} = f_c + 84 \quad f_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kgf/cm}^2$$

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

$$\text{TMN} = \frac{3}{4}"$$

3. Selección del asentamiento

Para una consistencia plástica, corresponde un asentamiento de 3" a 4"

4. Volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4", con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " el volumen unitario de agua necesario es de 216 l/m^3

5. Contenido de aire

El contenido de aire para el tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " es de 2.0 %

6. Relacion agua/cemento

Para una resistencia correspondiente a 294 kgf/cm^2 , corresponde una relación a/c de 0.56

7. Factor cemento

$$216/0.56 = 385.71 \text{ kg/m}^3 = 9.07 \text{ bolsas/m}^3$$

8. Selección de relación agregado fino

De nuestra curva utilizaremos la relación Ag. Fino de 0.60

9. Calculo de volúmenes absolutos

Cemento	385.71	2.85	0.135
Agua	216	1.00	0.216
Aire		2	0.020
Suma de volúmenes conocidos			0.371 m^3

10. Relacion de agregados

	Relacion finos	% de la unidad	Peso
Ag. Fino	0.6	0.38	975.69 kg
Ag. Grueso	0.400	0.25	671.41 kg

11. Valores de diseño

Cemento	385.710	kg/m^3
Agua	216.000	l/m^3
Ag. Fino seco	975.686	kg/m^3
Ag. Grueso seco	671.412	kg/m^3

12. Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo del:			
Ag. Fino	976	1.003	978.61 kg
Ag. Grueso	671	1.003	673.43 kg
Humedad superficial			
Ag. Fino	0.30	3.05	-2.75 l/m^3
Ag. Grueso	0.30	3.09	-2.79 l/m^3

13. Aporte de humedad

Agregado fino	976	-0.0275	-26.8 l/m^3
Agregado grueso	671.41	-0.0279	-18.7 l/m^3
Aporte de humedad de los agregados			-45.6 l/m^3
Agua efectiva		250	295.6 l/m^3

14. Agregados corregidos por humedad

Cemento	385.71 kg/m^3
Agua efectivo	295.56 kg/m^3
Ag. Fino húmedo	978.61 kg/m^3
Ag. Grueso húmedo	673.43 kg/m^3

15. Pesos por tanda de una bolsa de cemento

Cemento	385.71	1	42.50 kg/bolsa
Agua efectiva	295.56	0.77	32.57 l/bolsa
Ag. Fino húmedo	978.61	2.54	107.83 kg/bolsa
Ag. Grueso húmedo	673.43	1.75	74.20 kg/bolsa

3.3. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

Este conjunto de procedimientos que se realizan a las muestras representativas de concreto fresco nos permite verificar cuantitativamente si el concreto logra cumplir con las especificaciones y requerimientos planteados.

3.3.1. FLUIDEZ DE LA MEZCLA

La fluidez de la mezcla o el asentamiento verifica la consistencia de la mezcla de concreto fresco, según los parámetros diseñados se relaciona con el contenido de agua y en nuestro caso de concreto ligero con la absorción de los materiales, es una de las pruebas de calidad más utilizadas en la construcción.

NORMATIVA:

- NTP 339.035 titulada “Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams”.
- ASTM-C 143 titulada “Método de prueba estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico”.

PROCEDIMIENTO:

1. Se humedece todo los materiales a utilizar en el ensayo
2. Colocamos el cono de Abrams en una superficie plana para echar la mezcla dentro del cono en tres capas hasta que recubra el cono, cada capa con 25 golpes distribuido uniformemente penetrando ligeramente la capa anterior.
3. Enrazar la última capa, para levantar lentamente en forma vertical el cono sin superar 7 segundos.
4. Al finalizar el procedimiento se mide con una regla, invirtiendo el cono y tomando la distancia medida representa la diferencia entre la altura del cono y la altura al centro de la mezcla.

Figura 20 Medición del Slump del concreto



Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS:

TIPO DE ARENA	TIPO DE AGREGADO GRUESO	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA PÓMEZ	PIEDRA DE 1/2
	% DE ARENA	ASENTAMIENTO pulgadas	ASENTAMIENTO pulgadas	ASENTAMIENTO pulgadas
ARENA PÓMEZ	0.4	5	5 1/2	3
	0.6	4	4	2
	0.8	4	2	2
ARENA ESCORIA	0.4	5	3	6
	0.6	4	4	4
	0.8	2	4	2
ARENA CENIZA	0.4	4	5	4.5
	0.6	3	4	3
	0.8	1	2 1/2	4
ARENA GRUESA	0.4	4	3 1/2	5
	0.6	3	5	6
	0.8	3	5	3

Tabla 43 Cuadro resumen de asentamiento promedio por tipo de agregado

Fuente: Elaboración propia

Según el ensayo existe una tolerancia de asentamiento siendo de 2.5 cm para asentamientos mayores o iguales a 7.5 cm. Según nuestro diseño se considera un slump de 3" a 4".

En los siguientes gráficos podemos observar por cada combinación de piedra arenas descritas en la presente investigación el siguiente comportamiento, estas mezclas son con una relación a/c 0.6 para una resistencia de 210 kg/m³.

- Cuando utilizamos piedra escoria, como agregado grueso, podemos observar que al tener mayor contenido de piedra; es decir, con un porcentaje de 40 % de arenas y 60% de agregado grueso, el asentamiento es alto y la trabajabilidad mayor, y siendo directamente proporcional el asentamiento y el contenido de fino. Encontramos como la combinación que tiene menor asentamiento 1" es 80% de arena ceniza y 20% de piedra escoria se debe al alto contenido de ceniza y la absorción de ambos elementos.

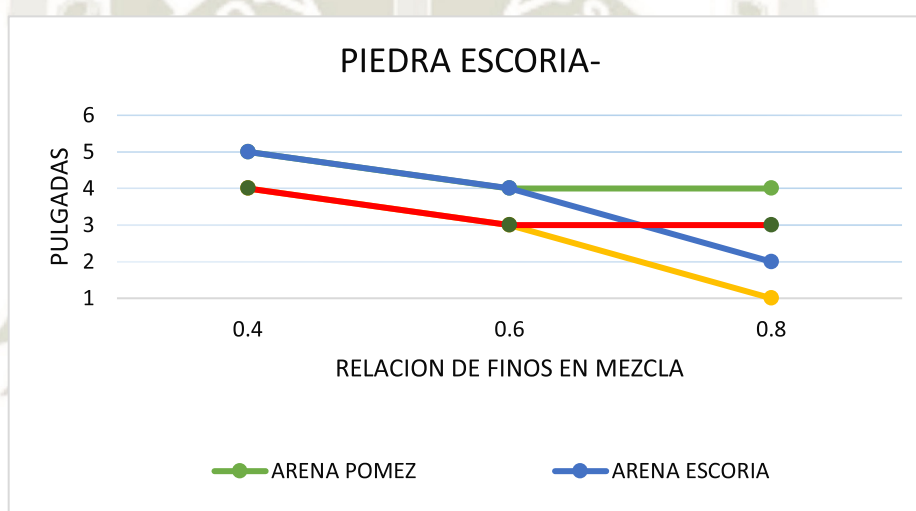


Gráfico 15 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra escoria con diferentes arenas y proporciones

Fuente: Elaboración propia

- Al utilizar piedra pómez verificamos un comportamiento con el asentamiento diferente entre los cuatro tipos de arenas, es decir un comportamiento indirecto proporcional con el % de en arenas escoria y gruesa y el asentamiento pues mientras más finos posee la mezcla mayor trabajabilidad contiene, sin embargo con las arenas ceniza y pómez presenta una relación directa debido a la absorción que tienen, sobre todo la absorción que tiene la pómez la mezcla requiere mayor cantidad de agua que posteriormente se hidrata el concreto.

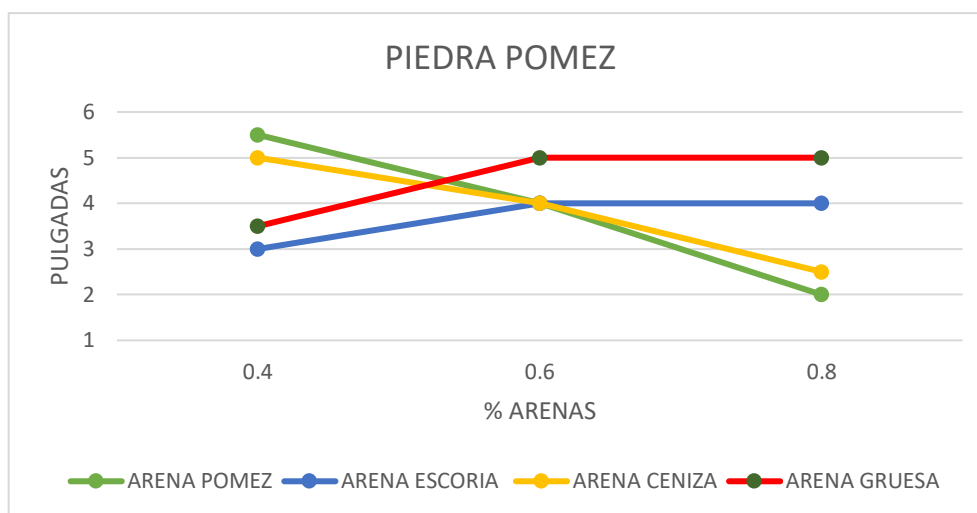


Gráfico 16 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra pómez con diferentes arenas y proporciones

Fuente: Elaboración propia

- En el caso de piedra $\frac{1}{2}$ siendo un agregado normal, al mezclarlo con arenas ligeras como la ceniza y la pómez nos muestra que a menor contenido de arenas presenta mayor asentamiento y trabajabilidad disminuyendo con el aumento de arenas por su absorción de agua, en el caso de escoria y gruesa trabaja, al contrario, como en la piedra pómez es decir a mayor contenido de finos el concreto se vuelve más trabajable.

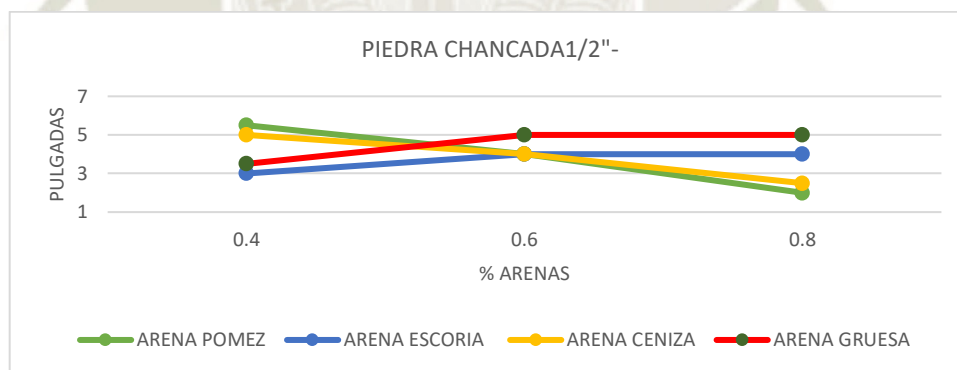


Gráfico 17 Comparación de Asentamiento entre diseños de piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " con diferentes arenas y proporciones

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las perlitas de poliestireno encontramos que a mayor asentamiento al incremento porcentaje de adición lo que llevo a controlar el agua que se adiciona a la mezcla y corregir la cantidad de cemento en la mezcla para mantener nuestros límites esto lograba que se mejorara en el asentamiento mostrando una buena trabajabilidad.

AG GRUESO	AG FINO	a/c	% PERLITA	ASENT. pulgadas
ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	0.60	0	4.0
		0.60	10	4.0
		0.60	15	4.0
		0.60	20	4.0
		0.60	25	5.0
		0.60	30	5.0
ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	0.5	0	4.0
		0.50	10	3.0
		0.50	15	3.0
		0.50	20	3.5
ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	0.5	0	4.0
		0.50	10	2.5
		0.50	15	3.0
		0.50	20	3.0

Tabla 44 Cuadro resumen de asentamiento promedio con % perlitas

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar el comportamiento de arena gruesa y piedra $\frac{1}{2}$ que mientras aumenta el porcentaje de perlas de poliestireno el asentamiento aumenta debido a que las perlas tienen poca absorción de agua, es decir el porcentaje es directamente proporcional, el mismo comportamiento casi se asemeja con los otros ejemplos extraídos como ejemplo.

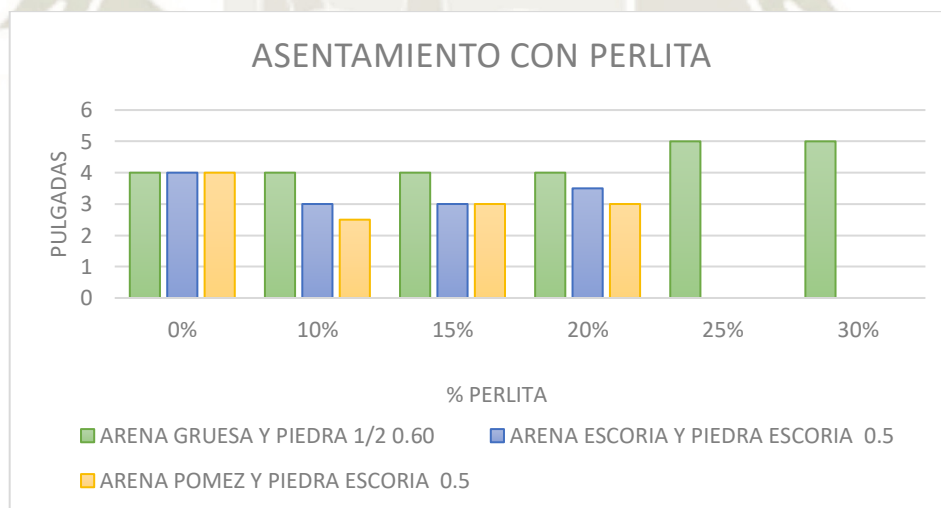


Tabla 45 Comparación de Asentamiento entre % de perlita de poliestireno

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. CONTENIDO DE AIRE

Este ensayo nos brinda un porcentaje de aire en la mezcla, siendo la sumatoria del aire atrapado y el aire incorporado, en la presente investigación nos encontramos con un valor de 0% en aire incorporado y el aire atrapado depende de las características físicas de los materiales y TMN del agregado. El método empleado

para la estimación del contenido de aire es por presión, donde iguala la presión de un volumen de aire y una presión conocida en una cámara hermética (Olla Washington) con el volumen de aire de la mezcla de concreto que no conocemos, por otro lado, también encontramos el método gravimétrico que mediante fórmulas donde se trabaja con densidad de masa y la densidad teórica podemos calcular la densidad obteniendo resultados similares al método de presión.

NORMATIVA:

- NTP. 339.083 titulada: “Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión”.
- ASTM C 231 titulada: “Método de prueba estándar para el contenido de aire de concreto recién mezclado por el método de presión”
- ASTM C 138-2015 “Peso unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto fresco”.

PROCEDIMIENTO

- Para todo ensayo se recomienda humedecer los materiales a utilizar.
- Incluimos la mezcla en tres capas dentro de la olla de Washington, cada capa será varillada con 25 golpes distribuidos uniformemente, adicionalmente con un martillo de goma en los costados 10 a 15 veces para una mejor compactación de las capas eliminando los vacíos que podría formarse.
- Enrazar la última capa, colocamos la parte superior de la olla ajustándola bien y procurando que los bordes estén limpios.
- Se introduce agua en su válvula de purga derecha, hasta que salga el agua que, por la válvula del lado izquierda, seguidamente empezamos a bombear el aire en la cámara hasta que la presión indique 0 % cerramos las llaves y

presiona la válvula de aire hasta que el manómetro se estabilice, tomamos lectura del contenido en porcentaje de aire.

Figura 21 Medición del contenido de aire por olla Washington



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

TIPO DE ARENA	AG. GRUESO	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA PÓMEZ	PIEDRA DE 1/2
	% DE ARENA	CONT. AIRE (%)	CONT. AIRE (%)	CONT. AIRE (%)
ARENA PÓMEZ	0.4	7.0	6	3.5
	0.6	7.0	8	4.5
	0.8	7.0	10	4.5
ARENA ESCORIA	0.4	7.5	8	4.5
	0.6	7.0	7	4.0
	0.8	7.0	6	4.0
ARENA CENIZA	0.4	6.0	11	3.5
	0.6	6.0	9	4.0
	0.8	7.0	8	4.0
ARENA GRUESA	0.4	7.0	7	2.5
	0.6	7.0	7	3.0
	0.8	7.0	6	3.0
PROMEDIO		7.0	8	4.0

Tabla 46 Cuadro resumen de contenido de aire promedio por tipo de agregado relación a/c 0.6

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior encontramos que según el tipo de agregado se relaciona el valor del contenido de aire, un ejemplo que se extrae es el de la piedra escoria con un contenido en promedio de 7% y en la piedra de ½ de 4%, en el caso de piedra pómez debido su porosidad encontramos valores altos en promedio de 8%, como se indicó en la teoría el valor depende de la características y granulometría del agregado.

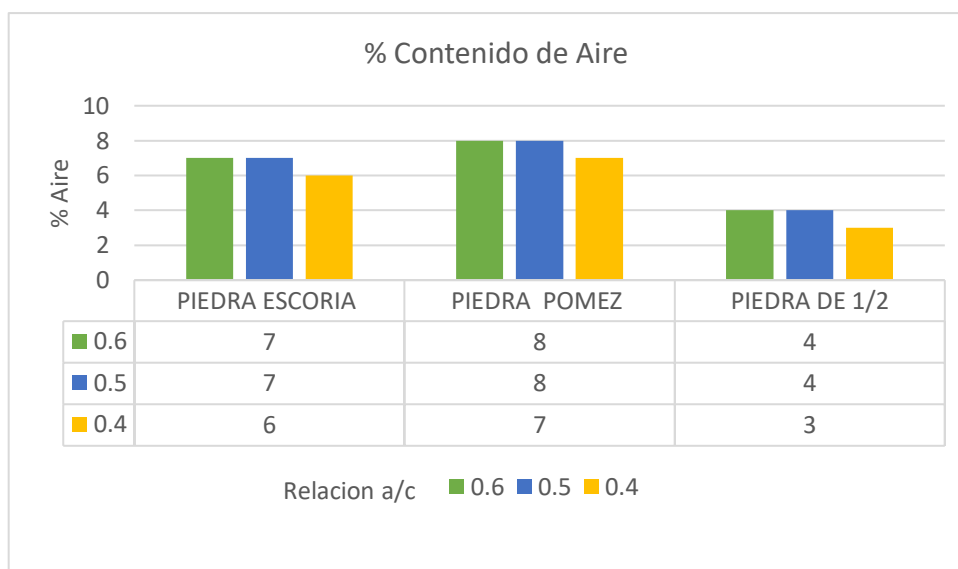


Gráfico 18 Contenido de aire vs relación a/c en cada tipo de agregado grueso: escoria pómez y piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que los valores son directamente proporcionales entre la relación a/c y el contenido de aire, es decir que este contenido ligeramente varía mientras aumenta la relación a/c, por otro lado, según el diseño ACI, el contenido de aire del a piedra ½ es 2.5%, encontrando valores de 3% en promedio algunas veces esto también se debe al agregado fino que se usa.

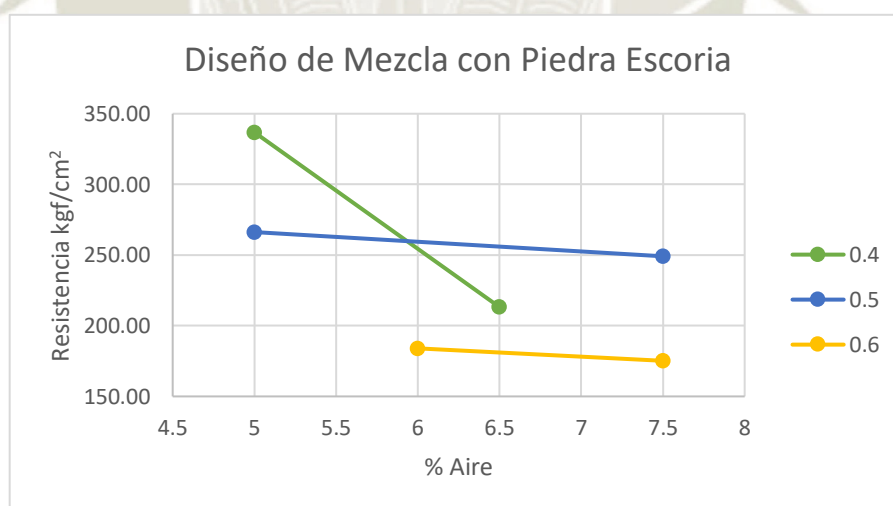


Gráfico 19 Comparación de resistencia a la compresión y contenido de aire del promedio de mezclas con contenido de Piedra Escoria
Fuente: Elaboración propia

En este gráfico los diseños de concreto ligero con agregado grueso escoria, tomando el valor menor y mayor de las muestras realizadas, manifiesta la relación inversa entre el nivel de resistencia y el contenido de aire, también indica que a

mayor relación a/c obtendremos mayor resistencias, con los otros agregados el efecto es similar a mayor contenido de aire se disminuye las resistencias y el efecto es igual en casa relación de a/c, lo cual lo podemos observar en el siguiente gráfico.

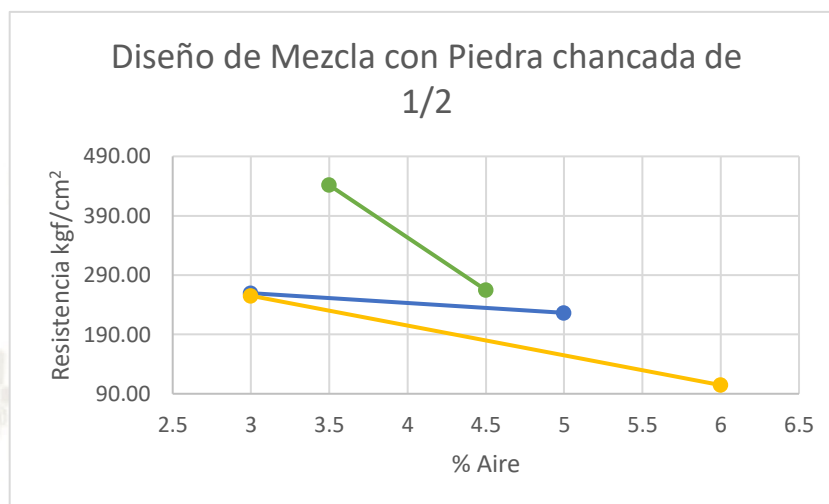


Gráfico 20 Comparación de resistencia a la compresión y contenido de aire del promedio de mezclas con contenido de Piedra chancada de 1/2"
Fuente: Elaboración propia

En el caso de nuestro agregado artificial, perlas de poliestireno, vemos que la arena gruesa y escoria tienen el mismo comportamiento como en el caso anterior sin adición, sin embargo, este contenido de aire aumenta con el porcentaje de perlita, al analizar el resultado del ensayo debido a la forma compacta de las perlitas al realizar el ensayo ellas lo consideran como vacío.

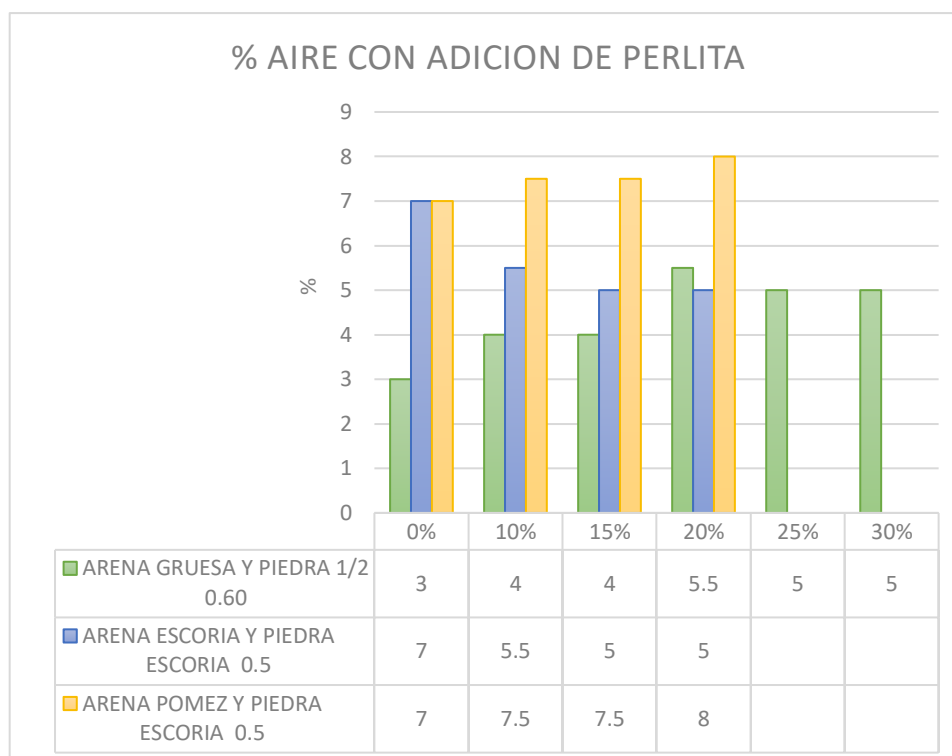


Gráfico 21 Comparación del contenido de aire en porcentajes de poliestireno

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. TEMPERATURA

La temperatura del concreto es uno de los factores que tienen un aporte calorífico en la mezcla e indica el calor que se libera por la hidratación del cemento y la energía del mezclado. Controlando la temperatura del concreto dentro de los límites aceptables, entre 11°C y 36°C, se puede evitar problemas inmediatos y futuros.

Según la ley de temperatura que rige al concreto nos indica que “Mientras más baja la temperatura del concreto fresco, será mejor para todas sus cualidades. El calor aumenta la demanda de agua y acelera el fraguado, por lo tanto, el concreto será más difícil de compactar y posiblemente su resistencia será más baja”. (RODRÍGUEZ CHICO, 2017).

NORMATIVA

- NTP 339.183 titulada: “CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes”.

- ASTM C 1064 titulada: “Método de Ensayo Normalizado de Temperatura de Concreto de Cemento Hidráulico recién Mezclado”.

PROCEDIMIENTO

- Humedecer los materiales a utilizar en el ensayo.
- Introducir el termómetro en la muestra de manera que el asesor de temperatura quede cubierto al menos 7.5 cm.
- Presionar el concreto alrededor del termómetro, para que en la superficie la temperatura ambiente no altere la lectura.
- Dejar el termómetro en la mezcla este como mínimo 2 minutos, hasta que la marca de la temperatura se estabilice.
- Leímos y anotamos la temperatura marcada cuando se estabilice la lectura.

Figura 22 Medición de la temperatura del concreto fresco



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

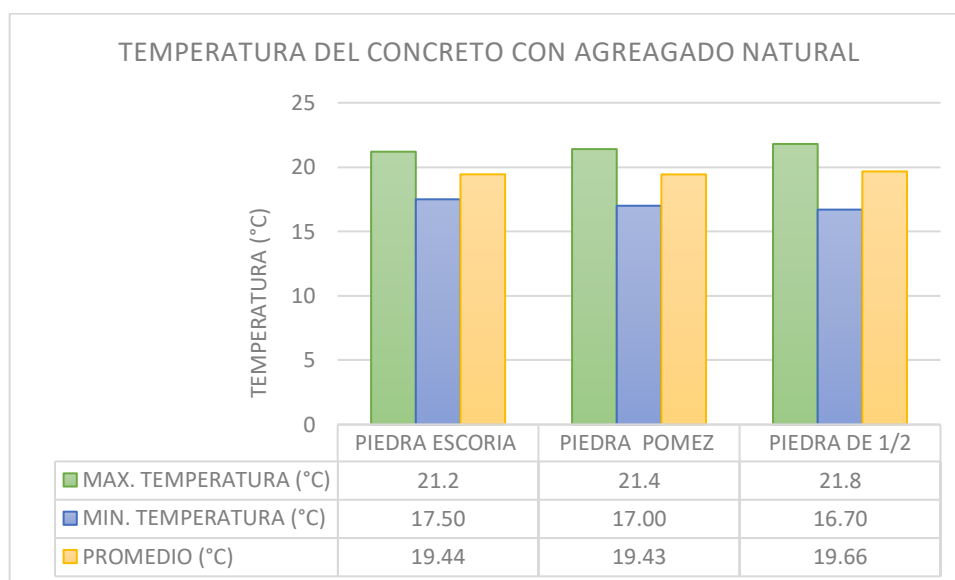


Gráfico 22 Contenido de aire vs relación a/c en cada tipo de agregado grueso: escoria pómez y piedra chancada de 1/2".

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica, donde se encuentra las combinaciones con agregados naturales, la temperatura promedio de los materiales es de 19.50 °C aproximadamente en las tres, según la norma nos encontramos dentro de los parámetros, 11°C a 36°C, casi todas las mezclas se encuentran en los rangos de 16°C a 22°C como se puede observar en el Anexo III y en el grafico anterior, para el caso de agregados artificiales como es la perlita, podemos encontrar los mismos rangos que en los naturales y también se encuentra dentro de parámetros de la norma, se aconseja que al medir la temperatura, verifique que la temperatura es constante y tenga un buen contacto con la mezcla.

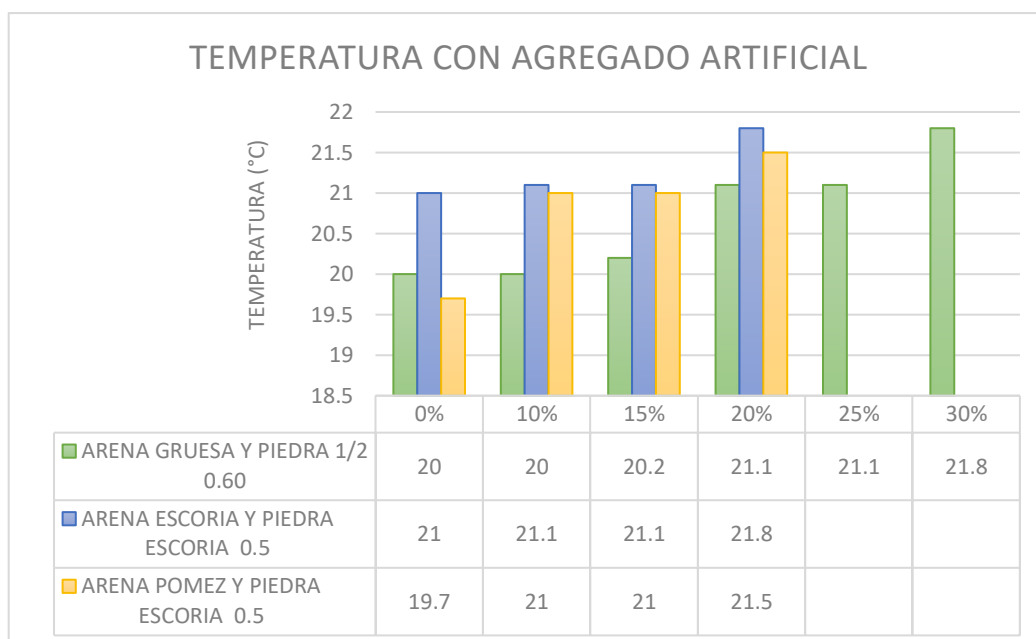


Gráfico 23 Comparación de la temperatura en mezclas con porcentajes de perlitas de poliestireno
Fuente: Elaboración propia

3.3.4. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO

Este método nos permite determinar la densidad de la mezcla de concreto en estado fresco, con los datos que brinda el ensayo encontramos el rendimiento para una mezcla de materiales de características conocidas.

NORMATIVA

- NTP. 339.046 titulada: CONCRETO. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cubico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.
- ASTM C138 titulada: “Método de prueba estándar para densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) de concreto”.

PESO UNITARIO DE LA MEZCLA

Gracias a este ensayo podemos determinar los pesos unitarios de los especímenes de concreto diseñados, el concreto estructural liviano posee una densidad in situ (peso unitario) en el orden de 1440 a 1840 kg/m³ en comparación con el concreto de peso normal que presenta un rango de 2240 a 2400 kg/m³ (National Ready Mixed Concrete Association).

PROCEDIMIENTO

- Se determina el peso W_r y las dimensiones para calcular el volumen del recipiente V_r a realizar el ensayo.
- Se procede a humedecer los materiales que utilizaremos para el desarrollo del ensayo.
- Se coloca la mezcla en el recipiente en tres capas, cada una con 25 golpes varillándolas uniformemente con una barra lisa con punta semiesférica. Adicionalmente cada capa se debe golpear suavemente con un martillo de goma de 10 a 15 veces para eliminar los vacíos y burbujas atrapadas generadas al varillado en la mezcla.
- Enraizar la última capa con la varilla hasta que sea uniforme y limpiar los bordes con la parte externa del recipiente.
- Luego se pesa el recipiente con la mezcla obteniendo W_t
- Para el cálculo del peso unitario se utiliza las siguientes fórmulas:

$$PU = \frac{(W_t - W_r)}{V_r}$$

Formula 19 Peso unitario de la mezcla de concreto

Donde:

$PU (kg/m^3)$: Peso Unitario

$W_t (kg)$: Peso total de la mezcla más el recipiente

$W_r (kg)$: Peso del recipiente

$V_r (m^3)$: Volumen del recipiente

Figura 23 Peso total de la mezcla Wt



Fuente: Elaboración propia

RENDIMIENTO

El rendimiento es una relación entre volumen real de una dosificación de concreto y el volumen diseñado obtenido durante la mezcla, para ello cuando al encontrar valores mayores a 1 significa un exceso de producción de concreto mientras que un valor menor a 1 representa una falta de producción de concreto para obtener lo requerido.

PROCEDIMIENTO

$$R = \frac{PU}{WT}$$

Formula 20 Rendimiento entre el volumen real y el volumen del diseño de la mezcla

Donde:

R : Rendimiento Relativo

PU (kg/m³): Peso Unitario Real

WT (kg/m³): Peso total de los componentes de la mezcla por la dosificación.

RESULTADOS

TIPO DE ARENA	TIPO DE AGREGADO GRUESO	PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA	PIEDRA PÓMEZ	PIEDRA CHANCADA DE ½"
	% DE ARENA	PU (kg/m³)	PU (kg/m³)	PU (kg/m³)
ARENA PÓMEZ	0.4	1962.2	1870.8	2193.5
	0.6	2020.8	1881.0	2113.8
	0.8	2100.6	1870.8	2115.0
ARENA ESCORIA	0.4	1965.0	1820.7	2156.6
	0.6	1972.9	1902.6	2078.1
	0.8	2002.2	1963.8	2039.1
ARENA CENIZA	0.4	1943.0	1628.6	2151.8
	0.6	1868.7	1759.9	2051.7
	0.8	1836.3	1764.1	1924.3
ARENA GRUESA	0.4	2066.3	1823.6	2226.8
	0.6	2099.8	1937.9	2253.6
	0.8	2120.5	2080.4	2320.2

Tabla 47 Cuadro resumen de peso unitario promedio por tipo de agregado natural

Fuente: Elaboración propia

En el presente cuadro, podemos verificar la variación de la densidad dependiendo del % de relación de agregados finos, por ejemplo, en la arena pómez en combinación con los distintos agregados gruesos presenta un similar comportamiento, es decir mientras mayor sea el porcentaje de la arena mayor será el peso unitario y un parecido comportamiento presenta la arena escoria y arena gruesa.

En el caso de la ceniza, en el cuadro se observa un comportamiento contrario a las otras arenas, mientras mayor cantidad de ceniza tenga la mezcla un 80% la densidad del concreto fresco es menor, esto se debe al menor peso específico que presenta el agregado fino a comparación del grueso, mientras mayor cantidad de esta ceniza presente el peso representativo del concreto será de la ceniza, también se observa con la combinación de la arena escoria y piedra de ½ se le atribuye la misma característica.

Aquí también observamos que la arena gruesa y piedra de 1/2, denominado concreto convencional, en la tabla presenta la mayor densidad en concreto fresco que las demás combinaciones.

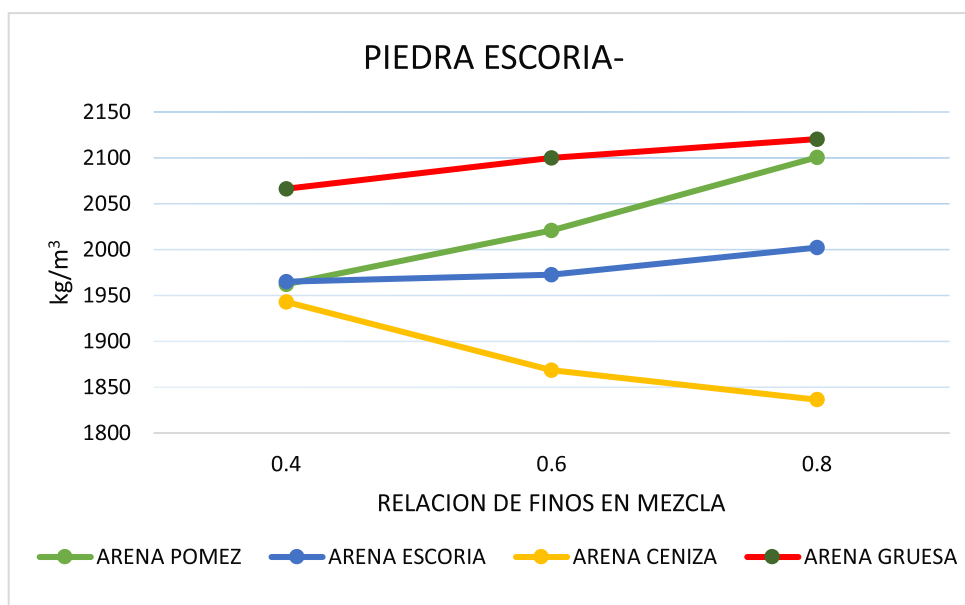


Gráfico 24 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra Escoria

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de las mezclas con piedra escoria, vemos el comportamiento mencionado de la arena ceniza se refleja y con esta presenta su menor densidad, y por otro lado logramos la combinación más pesada con la arena gruesa y piedra escoria.

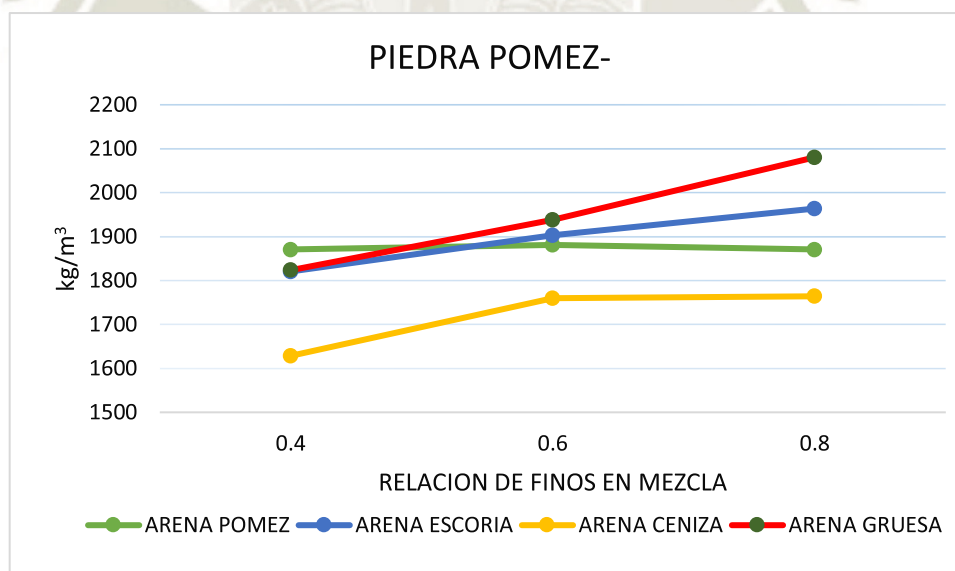


Gráfico 25 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra Pómez

Fuente: Elaboración propia

En la piedra pómez el comportamiento es casi similar con las cuatro arenas, debido a su bajo peso específico incluso logra cambiar la tendencia de ceniza, al igual que la piedra escoria la mayor densidad la encontramos al 80 % de arena gruesa y la más baja al 80% de ceniza, pero gracias a este agregado grueso obtenemos

nuestras menores densidades, lamentablemente las resistencias son muy bajas, considerando que en el diseño se planteó el techo fuerza (ACI 213R-03, 2003) pero no se consiguió alguna mejora cambiando las relaciones a/c.

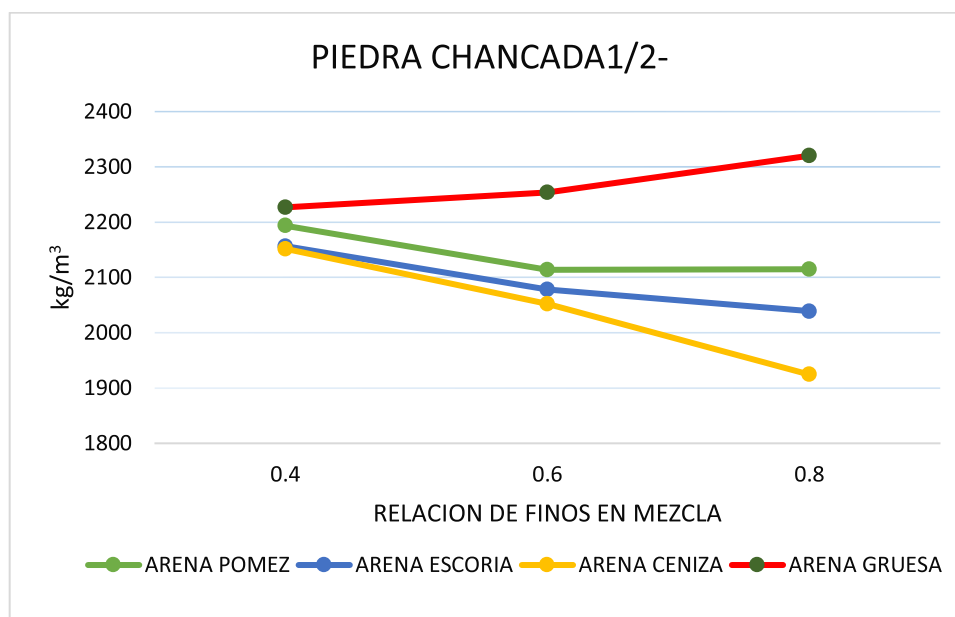


Gráfico 26 Comparación de peso unitario y relación de finos en las mezclas con contenido de Piedra 1/2"

Fuente: Elaboración propia

En la piedra de 1/2 las tendencias de las arenas, a comparación de los otros agregados ligero (escoria y pómez), van cambiando esto se debe a que la piedra de 1/2 ya no representa un agregado ligero y tendremos un peso específico mayor, aunque el porcentaje sea el 20% no logramos que las densidades bajen de 2000 kg/m³. Aquí podemos observar que se cumple en la combinación de arena gruesa y piedra de 1/2 los parámetros para ser ya denominado concreto normal.

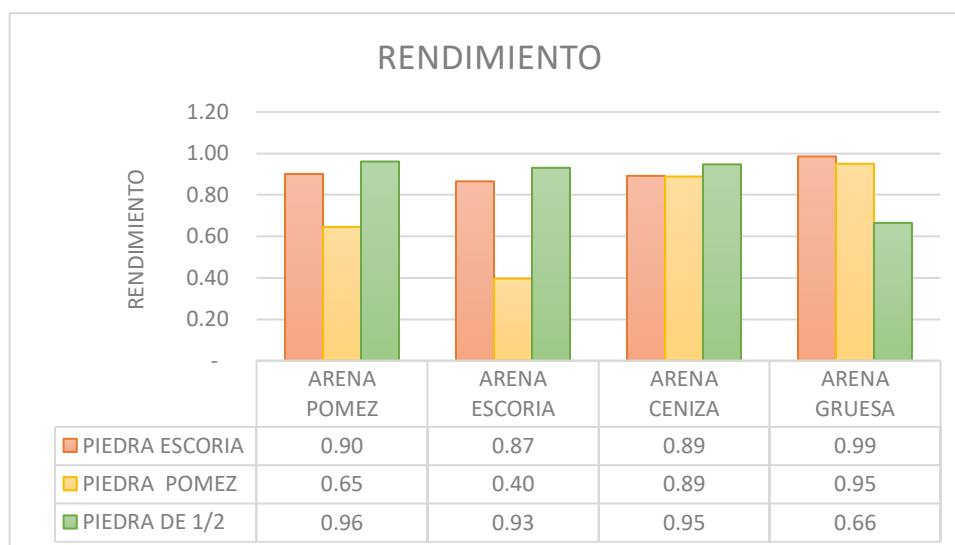


Gráfico 27 Comparación del rendimiento de las diferentes combinaciones de agregados naturales

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento de la piedra pómez es el más bajo con la arena pómez y la arena escoria son bajos es decir una falta de producción de mezcla de lo que se esperaba, como el cemento y la relación a/c son similares se concluye que este rendimiento relativo bajo se debe a las relaciones de arena pómez, escoria y piedra pómez.

En el caso de la adición de perlas de poliestireno a mayor porcentaje de adición de las perlas se obtiene menor densidad, en cualquier combinación de agregados observaremos el mismo comportamiento debido a la sustitución de agregado grueso por perlas de poliestireno. El inconveniente es que la necesidad de agua en la mezcla se reduce y la resistencia a la compresión no cumple con las expectativas deseadas.

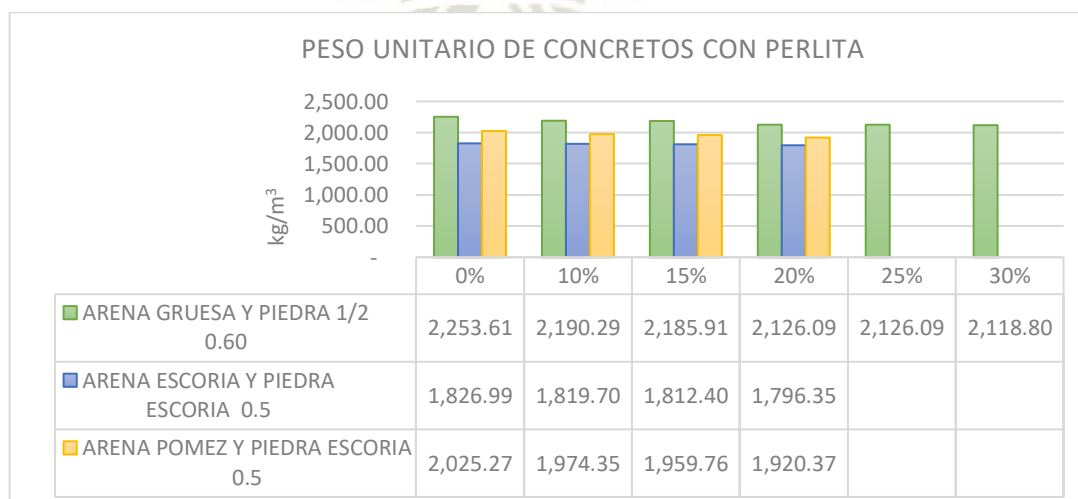


Gráfico 28 Comparación del peso unitario con porcentajes de perlitas de poliestireno

Fuente: Elaboración propia

En rendimientos tenemos rendimientos igual a 1 con nuestra muestra modelo de arena gruesa y piedra de $\frac{1}{2}$, mientras que los rendimientos menores se encuentran en las otras combinaciones, no llegando a la producción esperada.

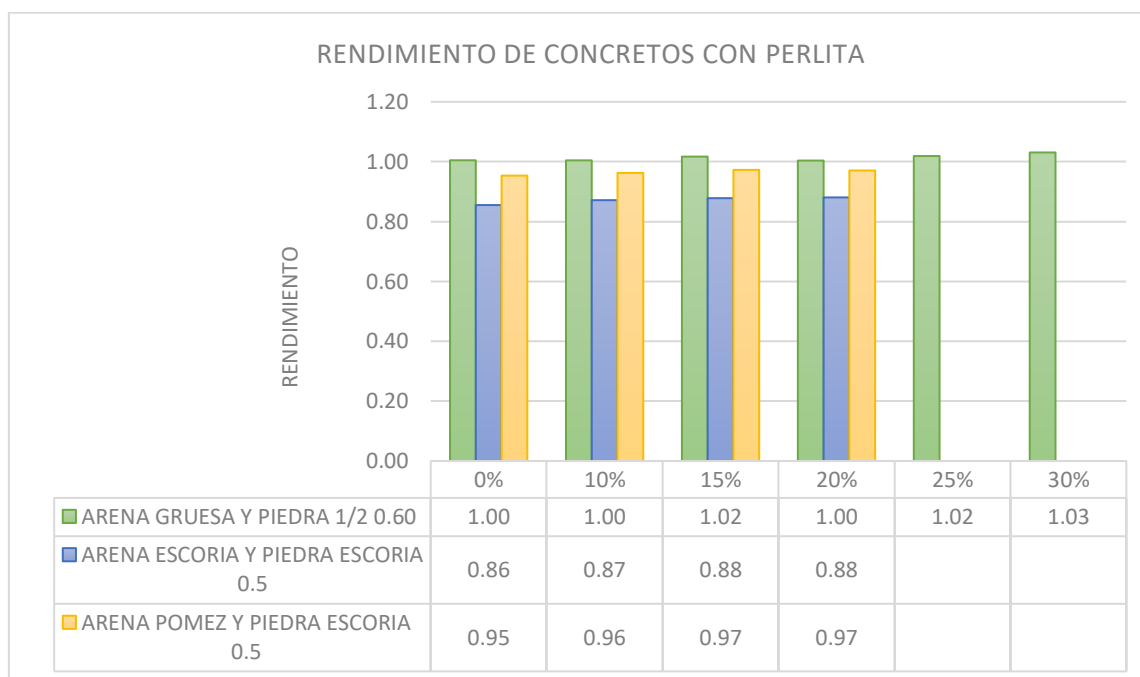


Gráfico 29 Comparación del rendimiento de las diferentes combinaciones de agregados naturales

Fuente: Elaboración propia

3.4. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

3.4.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La resistencia a la tracción se realizó siguiendo los parámetros del método brasileño, dado por la facilidad de la ejecución.

NORMATIVA:

- UNE 83-306-85, Ensayos de hormigón; rotura por tracción indirecta : (ensayo brasileño) norma española ; Instituto Español de Normalización.

PROCEDIMIENTO:

- Medir las dimensiones del testigo (Diámetro y altura).
- Se colocan los puntos de apoyo en la parte inferior y posterior del testigo, para garantizar que la fuerza se transfiera en un punto específico.

- Establecer los parámetros de la máquina de compresión, para obtener una fuerza que se someterá a la siguiente formula, para encontrar la resistencia a la tracción indirecta:

$$T = \frac{2 * P}{\pi * L * D}$$

Donde:

T (kgf/cm²) = resistencia a la tracción.

P (kgf) = fuerza máxima soportada por el testigo

L (cm) = Altura del testigo

D (cm) = Diámetro del testigo

RESULTADOS

Como se observa en el Anexo IV, el ensayo de tracción indirecta necesita superar el 10% del f'c requerido, es decir debe superar 21 kgf/cm², del total de ensayos realizados en los 73 diseños, el 74% de los diseños sometidos al ensayo de tracción indirecta superan el 10% requerido, de tal manera en tales diseños se da por aceptado el ensayo. Por otro lado, el ensayo de tracción indirecta no es un ensayo definitivo para determinar la calidad del diseño de mezcla, este criterio quedaría a cargo del Ing. Supervisor y Residente.

Los resultados se adjuntan en el Anexo IV, de la presente investigación.

3.4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes en lo que concierne a la calidad del concreto.

NORMATIVA

- NTP 339.034, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- ASTM C39, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.

PROCEDIMIENTO

- Las probetas deben ser identificadas y codificadas (Fecha vaciado, diseño de mezcla, edad de rotura).
- Las probetas deben ser sacadas de la poza de curado, y tomar las medidas necesarias (altura y diámetro).
- La tolerancia de tiempo permisible de retiro de la poza de curado depende de su rotura y se detalla:

Edad del ensayo	Tolerancia de tiempo permisible	
	Horas	%
24 horas	± 0.5	± 2.1
3 días	± 2.0	± 2.8
7 días	± 6.0	± 3.6
28 días	± 20.0	± 3.0
90 días	± 48.0	± 2.2

Tabla 48 Tiempo permisible de tolerancia para el ensayo de resistencia a la compresión

Fuente: NTP 339.034

CÁLCULOS

$$R_c = \frac{P}{A}$$

Formula 21 Resistencia a la compresión

Donde

R_c (kgf/cm²) = Resistencia a la compresión.

P (kgf) = Carga máxima total.

A (cm²) = Área de la superficie de carga.

RESULTADOS

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenido por las probetas de 10 x 20 cm, a la edad de 7, 14 y 28 días, para una resistencia mínima de 210 kgf/cm². En la primera iteración de las mezclas, se realizaron 36 vaceados con una relación agua/cemento de 0.60, posteriormente se realizaron vaceados adicionales con una relación agua/cemento de 0.50 y 0.40, de las mezclas que presentaban un buen comportamiento. Los datos de mezcla, cantidad de agregados, propiedades del

concreto en estado endurecido, se adjuntan en el Anexo IV, al final de esta investigación.

Se aplicó la teoría techo fuerza, donde se buscó variar la relación agua/cemento para verificar la diferencia en cuanto a su densidad y resistencia, para de esta forma obtener la resistencia deseada para uso estructural, siempre cuidando el costo del diseño de mezcla.



PIEDRA CHANCADA DE 1/2" COMO AGREGADO GRUESO BASE

Agregado fino	Código de diseño	Relacion finos (%)	f'c 7 días kgf/cm ²	f'c 14 días kgf/cm ²	f'c 28 días kgf/cm ²	Densidad kg/m ³
Arena escoria	P12-ESC-01	0.40	161.06	182.26	214.95	2012.98
	P12-ESC-02	0.60	92.32	143.34	199.94	1936.93
	P12-ESC-03	0.80	68.77	97.10	162.78	1917.03
Arena gruesa	P12-ARE-01	0.40	145.28	163.39	199.92	1965.74
	P12-ARE-02	0.60	165.07	192.26	227.16	1969.01
	P12-ARE-03	0.80	187.11	231.16	255.08	2015.58
Arena pómez	P12-PP-01	0.40	158.34	184.54	226.36	2035.70
	P12-PP-02	0.60	164.81	206.32	230.42	1975.88
	P12-PP-03	0.80	143.62	148.81	173.03	2023.60
Arena ceniza volcánica	P12-CE-01	0.40	125.83	136.87	182.24	1926.12
	P12-CE-02	0.60	89.57	120.09	141.23	1890.87
	P12-CE-03	0.80	68.92	90.55	104.58	1855.61

Tabla 49 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra chancada 1/2" con agregados finos y a/c=0.60
Fuente: Elaboración propia

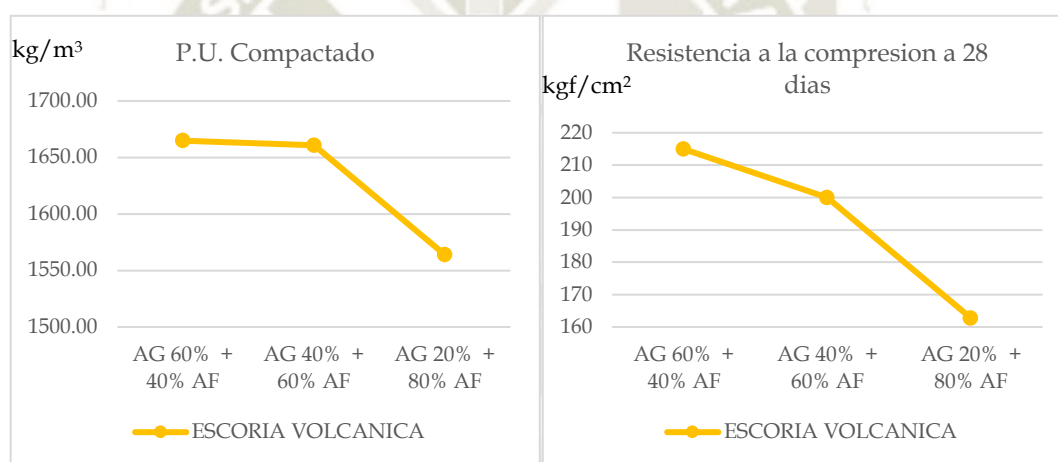


Gráfico 30 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y Arena escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.40, obteniendo una resistencia mayor de 210 kgf/cm².

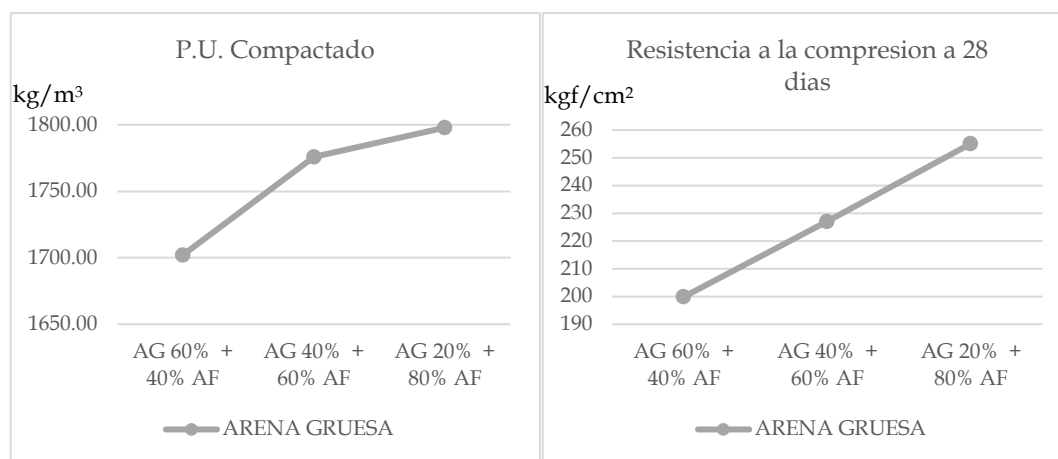


Gráfico 31 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y arena gruesa Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.80, obteniendo una resistencia mayor de 250 kgf/cm².

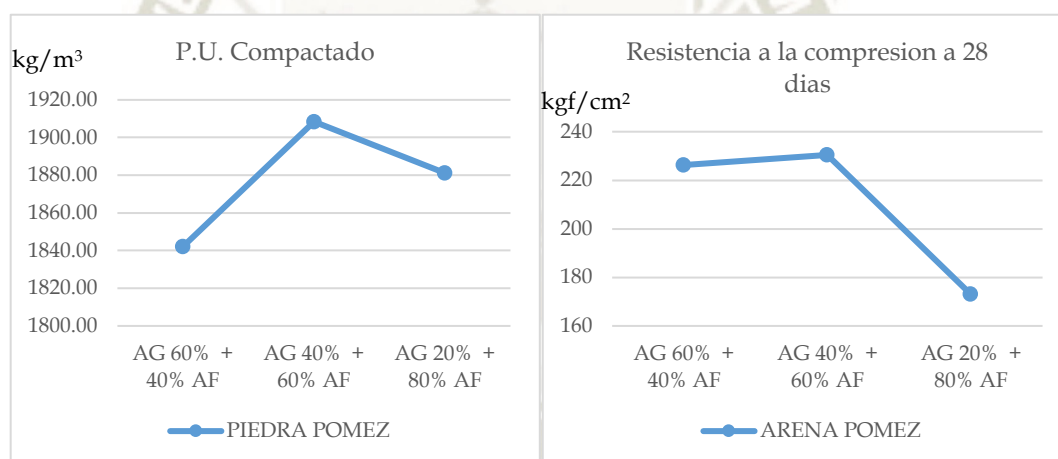


Gráfico 32 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y arena pómez Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.60, obteniendo una resistencia mayor de 220 kgf/cm². Al disminuir la cantidad de piedra chancada de 1/2" se denota la disminución de la resistencia a la compresión de igual forma.

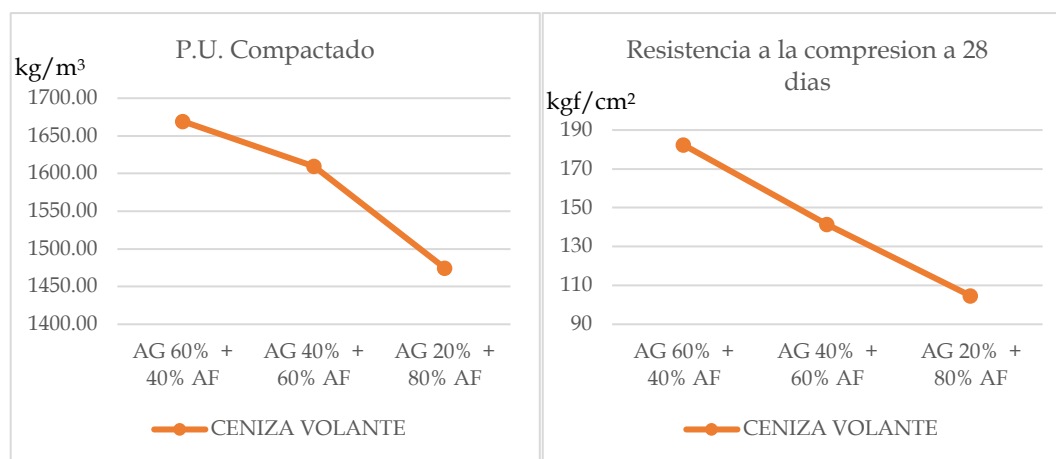


Gráfico 33 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra chancada 1/2" y ceniza volante Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.40, obteniendo una resistencia mayor de 170 kgf/cm².

PIEDRA ESCORIA VOLCÁNICA COMO AGREGADO GRUESO BASE

Agregado fino	Código de diseño	Relación finos (%)	f'c 7 días kgf/cm²	f'c 14 días kgf/cm²	f'c 28 días kgf/cm²	Densidad kg/m³
Arena escoria	ESC-ESC-01	0.40	102.10	153.03	184.01	1820.19
	ESC-ESC-02	0.60	139.67	145.50	168.47	1800.48
	ESC-ESC-03	0.80	111.54	138.66	182.24	1871.49
Arena gruesa	ESC-ARE-01	0.40	179.62	224.10	243.17	1796.36
	ESC-ARE-02	0.60	156.57	179.70	221.81	1831.45
	ESC-ARE-03	0.80	181.71	194.54	227.38	1928.03
Arena pómez	ESC-PP-01	0.40	119.24	149.81	201.96	1835.27
	ESC-PP-02	0.60	122.31	178.44	234.04	1871.89
	ESC-PP-03	0.80	123.53	159.83	201.55	1998.35
Arena ceniza volcánica	ESC-CE-01	0.40	117.10	168.36	175.19	1746.05
	ESC-CE-02	0.60	90.27	139.83	184.89	1824.23
	ESC-CE-03	0.80	77.69	94.71	110.12	1765.93

Tabla 50 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra escoria volcánica con agregados finos y a/c=0.60

Fuente: Elaboración propia

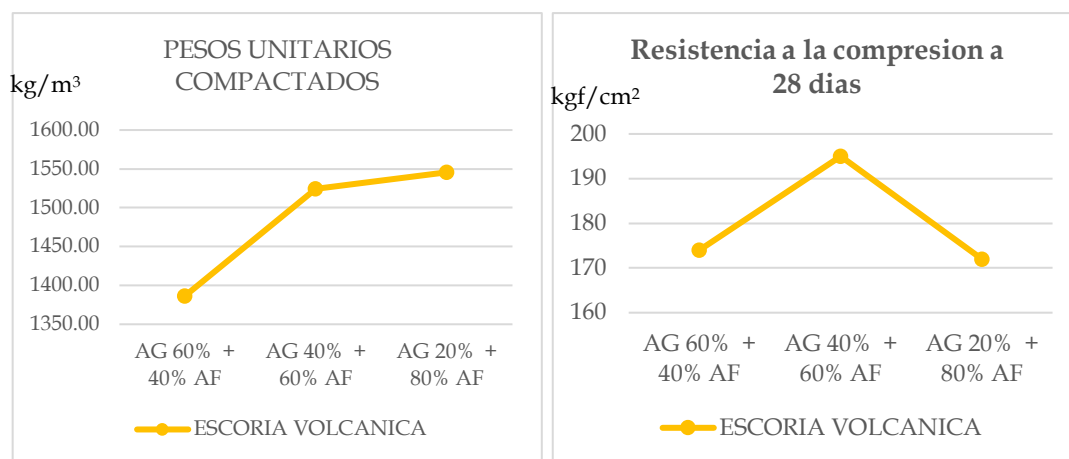


Gráfico 34 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y escoria volcánica
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión varía con respecto a la gráfica de los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.40, obteniendo una resistencia mayor de 180 kgf/cm².

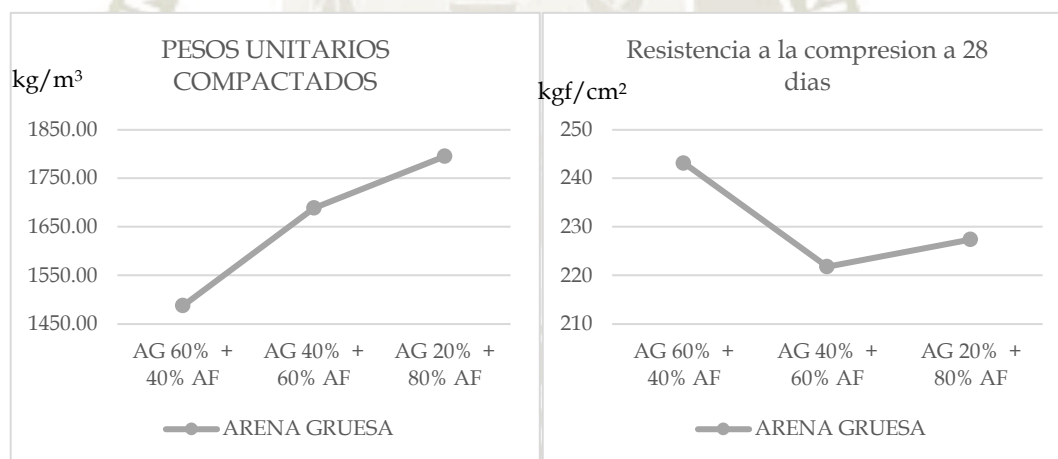


Gráfico 35 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión varía de manera inversa con respecto a la gráfica de los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.40, obteniendo una resistencia mayor de 240 kgf/cm².

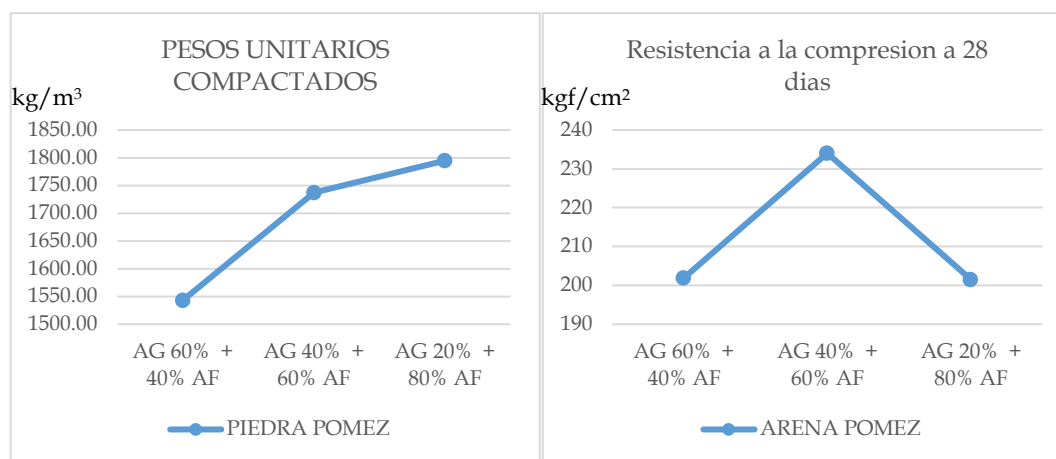


Gráfico 36 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y arena pómez
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión varía con respecto a la gráfica de los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.60, obteniendo una resistencia mayor de 230 kgf/cm².

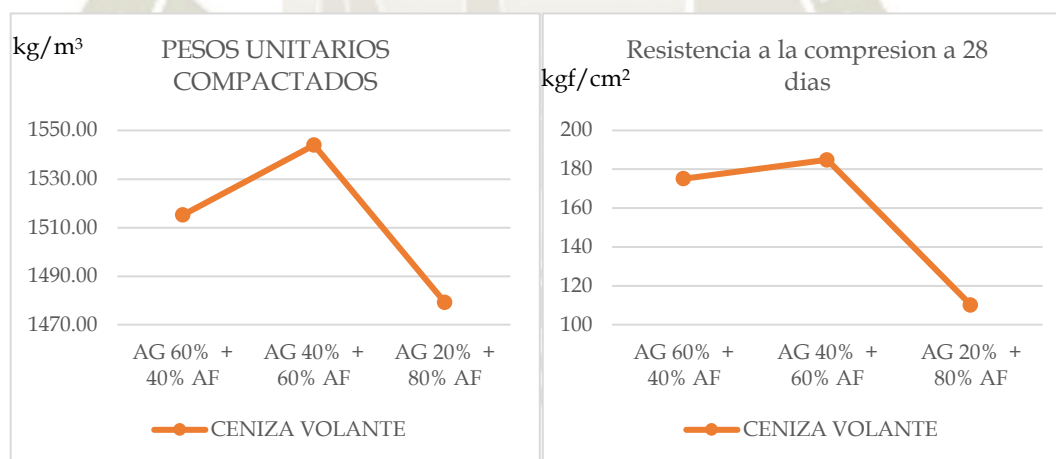


Gráfico 37 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra escoria volcánica y ceniza volcánica
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.60, obteniendo una resistencia mayor de 180 kgf/cm².

PIEDRA PÓMEZ COMO AGREGADO GRUESO BASE

Agregado fino	Código de diseño	Relacion finos (%)	f'c 7 días kgf/cm ²	f'c 14 días kgf/cm ²	f'c 28 días kgf/cm ²	Densidad kg/m ³
Arena escoria	PP-ESC-01	0.40	78.35	92.20	110.51	1871.74
	PP-ESC-02	0.60	73.41	88.79	104.50	1829.84
	PP-ESC-03	0.80	72.38	79.38	97.24	1787.94
Arena gruesa	PP-ARE-01	0.40	66.79	71.62	84.25	1680.92
	PP-ARE-02	0.60	74.95	75.41	108.37	1754.50
	PP-ARE-03	0.80	90.21	121.41	135.99	1828.07
Arena pómez	PP-PP-01	0.40	49.52	56.17	66.02	1833.43
	PP-PP-02	0.60	84.02	89.55	96.33	1839.68
	PP-PP-03	0.80	109.08	126.05	136.70	1876.19
Arena ceniza volcánica	PP-CE-01	0.40	48.33	54.54	66.45	1477.44
	PP-CE-02	0.60	43.83	92.88	129.63	1637.99
	PP-CE-03	0.80	49.91	71.07	88.74	1480.58

Tabla 51 Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto de piedra pómez con agregados finos y a/c=0.60 Fuente: Elaboración propia

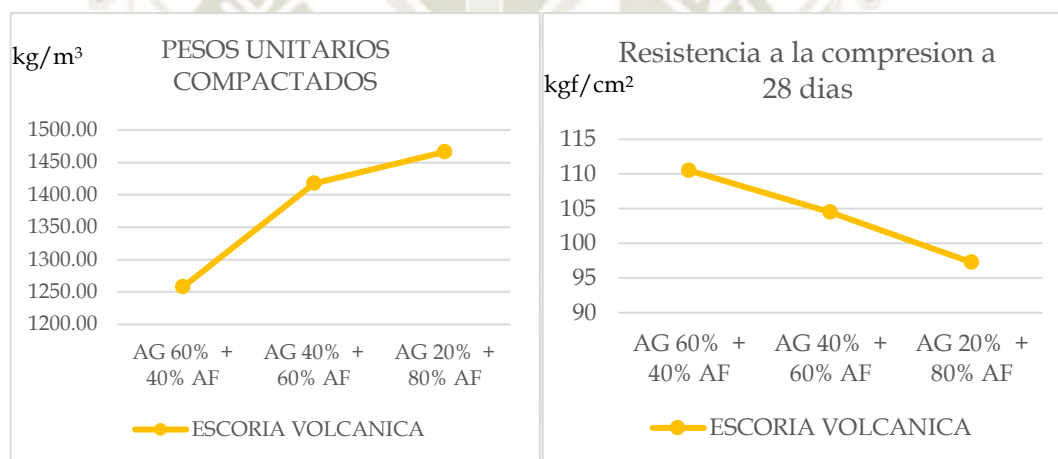


Gráfico 38 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena de escoria volcánica Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión varía de manera inversa con respecto a la gráfica de los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.40, obteniendo una resistencia mayor de 110 kgf/cm².

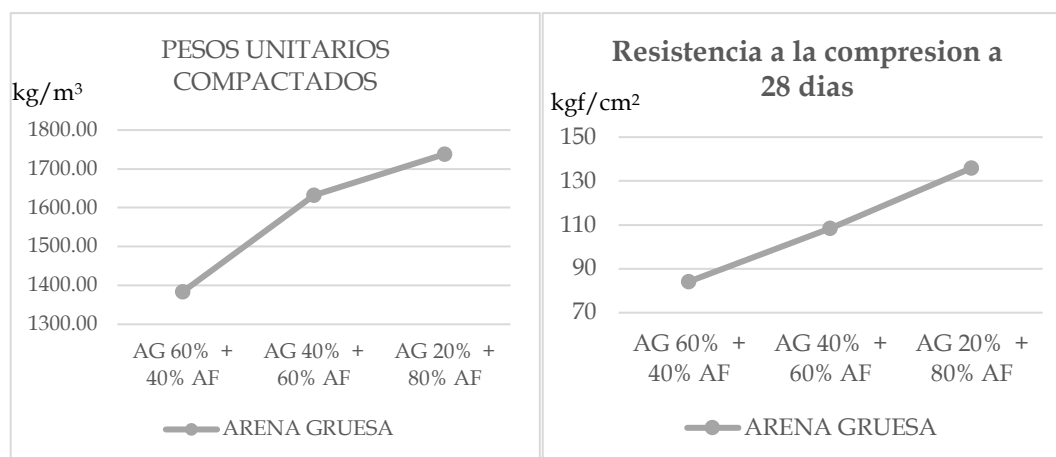


Gráfico 39 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.80, obteniendo una resistencia mayor de 130 kgf/cm².

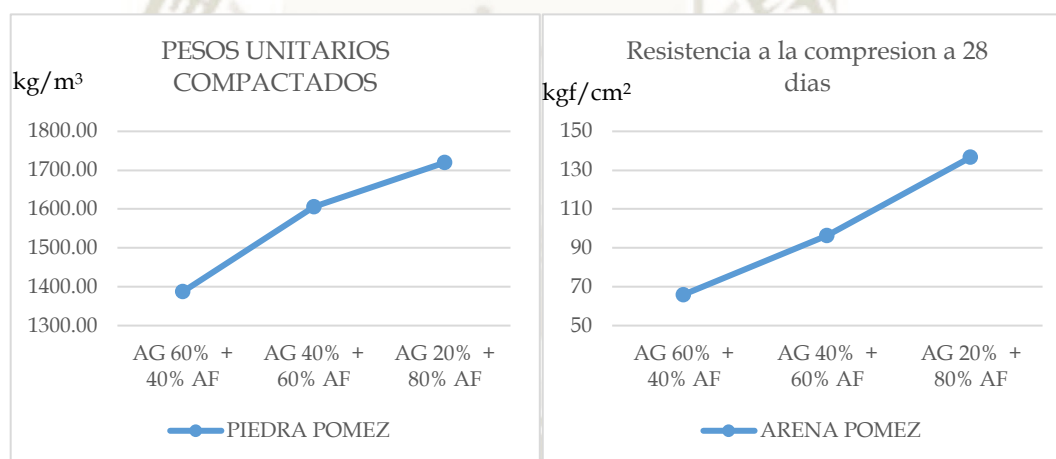


Gráfico 40 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión guarda relación con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.80, obteniendo una resistencia mayor de 130 kgf/cm².

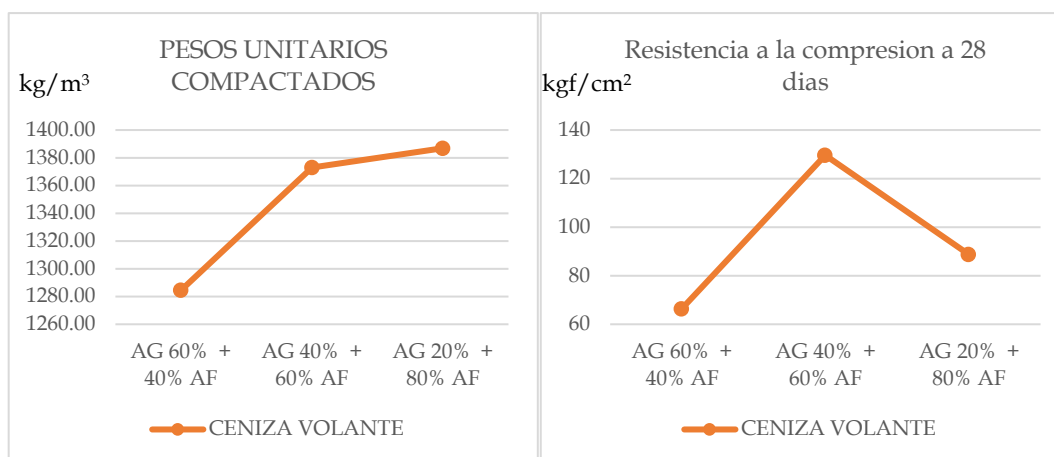


Gráfico 41 Relación de P.U. compactado y resistencia a la compresión de piedra pómez y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión varía con los pesos unitarios compactados sometidos a una variación de relación de finos (RF); siendo el punto más alto la RF 0.60, obteniendo una resistencia mayor de 120 kgf/cm².

De estos primeros diseños, se analizarán los diseños que presenten mayor resistencia y menor densidad de equilibrio, de tal manera se realizaron los vacados con una relación a/c de 0.5 y 0.4, para encontrar la relación a/c adecuada.

Para el agregado grueso de 1/2", se escogió la arena gruesa con una RF de 0.60, la arena de ceniza volcánica con una RF de 0.40 y 0.60 (Se escogieron dos relaciones de finos, puesto que sus resultados de compresión son parecidos); se escogieron estos diseños puesto que presentan mayor resistencia de compresión y menor densidad; de tal forma se procedió a realizar los diseños con una relación agua/cemento (a/c), de 0.50 y 0.40.

DISEÑO	07-0.60	07-0.50	07-0.40
Tipo Ag. Fino	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2
Método de diseño	Relacion	Relacion	Relacion
Relac. Finos (%)	0.6	0.6	0.60
a/c	0.6	0.5	0.40
Resis. 7 días kgf/cm²	165.07	217.7	357.96
Resis. 14 días kgf/cm²	192.26	278.08	421.37
Resis. 28 días kgf/cm²	227.16	315.36	441.52
Tracción Ind.			
PU kg/m³	2159.25	2167.8	2179.20

Tabla 52 Variación del diseño 07 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	12-0.60	12-0.50	12-0.40
Tipo Ag. Fino	CENIZA	CENIZA	CENIZA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2
Método de diseño	Relacion	Relacion	Relacion
Relac. Finos (%)	0.4	0.4	0.40
a/c	0.60	0.50	0.40
Resis. 7 días kgf/cm ²	125.83	190.21	223.03
Resis. 14 días kgf/cm ²	136.87	207.95	277.71
Resis. 28 días kgf/cm ²	182.24	259.56	306.43
Tracción Ind.			
PU kg/m ³	2065.81	2073.8	2021.39

Tabla 53 Variación del diseño 12 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	13-0.60	13-0.50	13-0.40
Tipo Ag. Fino	CENIZA	CENIZA	CENIZA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2
Método de diseño	Relacion	Relacion	Relacion
Relac. Finos (%)	0.60	0.60	0.60
a/c	0.60	0.50	0.40
Resis. 7 días kgf/cm ²	89.57	149.52	206.21
Resis. 14 días kgf/cm ²	120.09	180.1	210.14
Resis. 28 días kgf/cm ²	141.23	195.9	264.86
Tracción Ind.			
PU kg/m ³	1928.12	1941.23	1942.87

Tabla 54 Variación del diseño 13 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

Para el agregado grueso de la escoria volcánica, se escogió la arena gruesa con una RF de 0.60, la arena de ceniza volcánica con una RF de 0.40 y 0.60 (Se escogieron dos relaciones de finos, puesto que sus resultados de compresión son parecidos); se escogieron estos diseños puesto que presentan mayor resistencia de compresión y menor densidad; de tal forma se procedió a realizar los diseños con una relación agua/cemento (a/c), de 0.50 y 0.40.

DISEÑO	16	48	49
COD	ESC-ESC-02	16.ESC-ESC-02	16.ESC-ESC-02
Tipo Ag. Fino	ARENA ESCORIA	ARENA ESCORIA	ARENA ESCORIA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.60	0.60	0.60
a/c	0.60	0.50	0.40
Resis. 7 días	139.67	196.5	197.32
Resis. 14 días	184.39	234.68	229.04
Resis. 28 días	195.46	267.03	259.18
PU	1750.8	1770.5	1870.00

Tabla 55 Variación del diseño 16 con relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	ESC-PP-02	22.ESC-PP-02
Tipo Ag. Fino	ARENA PÓMEZ	ARENA PÓMEZ
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.60	0.6
a/c	0.60	0.5
Resis. 7 días kgf/cm ²	122.31	174.73
Resis. 14 días kgf/cm ²	178.44	209
Resis. 28 días kgf/cm ²	234.04	238.36
PU kg/m ³	1990.65	1924.73

Tabla 56 Variación del diseño 22 con relación de agua/cemento de 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	PP-ESC-01	21.PP-ESC-01
Tipo Ag. Fino	ARENA PÓMEZ	ARENA PÓMEZ
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.40	0.4
a/c	0.60	0.5
Resis. 7 días kgf/cm ²	119.24	188.6
Resis. 14 días kgf/cm ²	149.81	235.26
Resis. 28 días kgf/cm ²	201.96	258.85
Tracción Ind.		
PU kg/m ³	1911.31	1958.47

Tabla 57 Variación del diseño 21 con relación de agua/cemento de 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	ESC-CE-01	24.ESC-CE-01
Tipo Ag. Fino	CENIZA	CENIZA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.40	0.4
a/c	0.60	0.5
Resis. 7 días kgf/cm ²	117.10	166.74
Resis. 14 días kgf/cm ²	168.36	170.49
Resis. 28 días kgf/cm ²	175.19	219.49
PU kg/m ³	1866.32	1872.11

Tabla 58 Variación del diseño 24 con relación de agua/cemento de 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	ESC-ESC-01	15.ESC-ESC-01
Tipo Ag. Fino	ARENA ESCORIA	ARENA ESCORIA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.40	0.4
a/c	0.60	0.5
Resis. 7 días kgf/cm ²	102.10	184.91
Resis. 14 días kgf/cm ²	153.03	198.64
Resis. 28 días kgf/cm ²	184.01	249.14
PU kg/m ³	1859.11	1873.59

Tabla 59 Variación del diseño 15 con relación de agua/cemento de 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	ESC-CE-02	25.ESC-CE-01	25.ESC-CE-02
Tipo Ag. Fino	CENIZA	CENIZA	CENIZA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.60	0.6	0.6
a/c	0.60	0.50	0.40
Resis. 7 días kgf/cm ²	90.27	112.84	184.7
Resis. 14 días kgf/cm ²	139.83	174.78	199.02
Resis. 28 días kgf/cm ²	184.89	194.13	213.2
PU kg/m ³	1829.44	1841.72	1858

Tabla 60 Variación del diseño 25 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	ESC-ARE-02	19.ESC-ARE-01	19.ESC-ARE-02
Tipo Ag. Fino	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.60	0.6	0.6
a/c	0.40	0.50	0.60
Resis. 7 días kgf/cm ²	302.73	171.04	156.57
Resis. 14 días kgf/cm ²	306.91	176.97	179.7
Resis. 28 días kgf/cm ²	336.84	236.26	221.81
Tracción Ind.			
PU kg/m ³	2056.10	1938.72	1994.76

Tabla 61 Variación del diseño 19 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO	18.ESC-ARE-02	18.ESC-ARE-01	ESC-ARE-01
Tipo Ag. Fino	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.40	0.4	0.4
a/c	0.40	0.50	0.60
Resis. 7 días kgf/cm ²	273.89	193.29	179.62
Resis. 14 días kgf/cm ²	288.70	270.03	224.1
Resis. 28 días kgf/cm ²	322.45	275.82	243.17
PU kg/m ³	2018.98	1932.33	1951.46

Tabla 62 Variación del diseño 18 con relaciones de agua/cemento de 0.4 y 0.5
Fuente: Elaboración propia

DISEÑOS CON ADICIÓN DE PERLITAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

DISEÑO	10%	10%	15%	20%	25%	30%
COD	P12-ARE-02	P12-ARE-02	P12-ARE-02	P12-ARE-02	P12-ARE-02	P12-ARE-02
Tipo Ag. Fino	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA	ARENA GRUESA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2	PIEDRA 1/2
Relac. Finos	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
PERLITA (g)	0	5.86	8.78	11.71	14.64	17.56658
a/c	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
PU (kg/m³)	2256.53	2193.13	2188.75	2128.85	2128.85	2121.55
AIRE (%)	3	4	4	5.5	5	5
Resis. 7 días (kgf/cm²)	165.07	132.25	132.45	120.2	110.2	105.2
Resis. 14 días (kgf/cm²)	192.26	149.88	135.2	125.2	115.21	97.13
Resis. 28 días (kgf/cm²)	227.16	193.45	149.13	130.2	120.79	106.27
PU (kg/m³)	2159.25	2113.27	2062.02	2089.41	2085.52	2017.88

Tabla 63 Diseño de concreto con adición de perlitas de poliestireno expandido, de 10% a 30%

Fuente: Elaboración propia

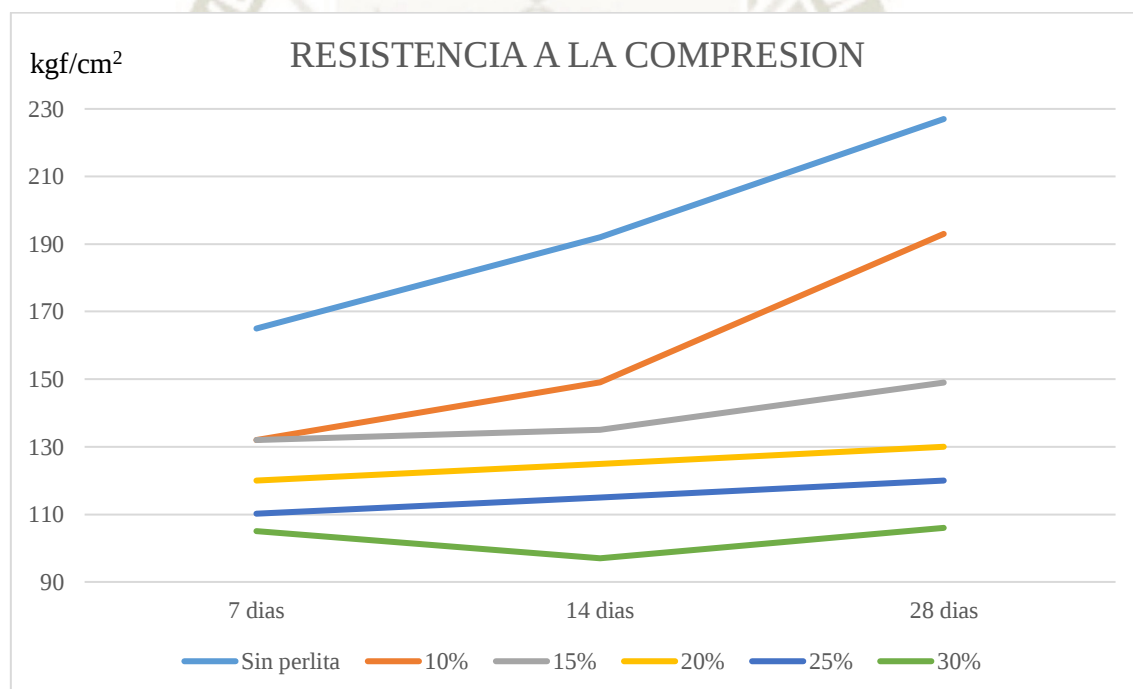


Gráfico 42 Resistencia a la compresión de los diseños con adición de perlitas de poliestireno de 10% a 30%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla y grafica anteriores, se puede observar el comportamiento del concreto con la adición de perlitas en porcentaje desde 10% a 30%, en un aumento de 5%. Logrando de tal manera disminuir

CRITERIO DE SELECCIÓN DE DISEÑOS

En el caso de los diseños que se propondrán como concretos de baja densidad para uso estructural, se siguió el siguiente criterio

1. Verificar que cumplan con una densidad de equilibrio menor que 1900 kg/m^3 .
2. La resistencia mínima que sea mayor a 210 kgf/cm^2 .
3. Verificar la trabajabilidad y la consistencia de la mezcla de diseño.
4. Si se da el caso que dos relaciones agua cemento nos brinden resistencias parecidas o cercanas, se utilizara la mayor relación a/c, para minimizar el uso de cemento y de tal manera el costo global de la mezcla.

A continuación, se detalla la selección del concreto de baja densidad con uso estructural utilizado en la aplicación de la edificación.

DISEÑO	16	48	49
COD	ESC-ESC-02	16.ESC-ESC-02	16.ESC-ESC-02
Tipo Ag. Fino	ARENA ESCORIA	ARENA ESCORIA	ARENA ESCORIA
Tipo Ag. Grueso	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA
Relac. Finos (%)	0.60	0.60	0.60
a/c	0.60	0.50	0.40
Resis. 7 días	139.67	196.5	197.32
Resis. 14 días	184.39	234.68	229.04
Resis. 28 días	195.46	267.03	259.18
PU	1750.8	1770.5	1870.00

Tabla 64 Selección final del concreto de baja densidad con uso estructural

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los diseños varían la relación a/c, con una relación de 0.5 y 0.4, a 28 días presentan resistencias cercanas, finalmente se escoge el diseño con relación a/c de 0.5, puesto que utilizara menor cantidad de cemento en el diseño final. De esta manera utilizaremos el diseño N° 48 o 16.ESC-ESC-02, para el diseño de la edificación.

3.4.3. DENSIDAD

El concreto de baja densidad debe obtener como máximo una densidad de 1900 kg/m^3 , la misma que se encuentra relacionada con la dosificación, contenido de aire y agua de mezcla y densidad del agregado ligero, según la norma ASTM C 567 (Standard test method for determining Density of structural lightweight concrete), define algunos tipos de densidades:

- **Densidad seca en el horno:** La densidad aparente después del secado durante 24 horas.
- **Densidad saturada:** Aproximadamente igual a densidad fresca más 100 a 120 kg/m³
- **Densidad de equilibrio:** indica que la diferencia entre la densidad seca al horno es aproximadamente 50 kg/m³, se logra esta densidad en una temperatura de 23 ± 2 °C durante un tiempo suficiente para alcanzar una masa constante, es alcanzada algunas veces en 90 días.

NORMATIVA

- ASTM C 567 titulada: “Método Normalizado de Ensayo para la Determinación de la Densidad de Concreto Estructural Liviano”
- ASTM C 642 titulada: “Método para la densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido”.

3.4.3.1. DENSIDAD DE EQUILIBRIO

- Sacamos los especímenes al séptimo día de curado y posteriormente sumergimos en agua a 23 ± 2°C durante 24 horas. Medimos la masa aparente mientras esta suspendidos y registramos la medida C.
- Sacamos el agua visible con un paño hasta dejar la muestra saturada con la superficie seca, registramos la masa como “B”.
- Secamos el espécimen hasta que la masa permanezca constante tomando la medida “A” la masa del cilindro seco.
- Para determinar la densidad de equilibrio es necesario aplicar la siguiente formula:

$$Em = \frac{A * 997}{B - C}$$

Formula 22 Rendimiento relativo de la densidad de equilibrio

Donde:

Em (kg/m³) : Rendimiento Relativo

A (kg): Masa de espécimen de concreto seco, cuando la masa permanece constante.

B (kg): Masa de espécimen saturado con superficie seca.

C (kg): Masa aparente del espécimen sumergido.

- Otras fórmulas que nos permite calcular la densidad aparente gracias a la densidad seca al horno, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$Em = Oc + 50 \text{ kg}$$

Formula 23 Rendimiento relativo alternativo para la densidad de equilibrio

Donde:

Em (kg/m³) : Rendimiento Relativo

Oc (kg/m³): Densidad Seca al horno

3.4.3.2. DENSIDAD SECA AL HORNO

- Después de 24 horas, sacamos el espécimen de concreto del molde donde medimos la masa aparente mientras están suspendidos y completamente sumergidos en agua y registre como “G”.
- Secamos el agua con un paño, determinamos la masa y registramos como “F”, la masa de los cilindros saturados con superficie seca.
- Colocamos los cilindros en el horno de secado 110 ± 5°C durante 72 horas y determinamos la masa como “D”.

$$Oc = \frac{D * 997}{F - G}$$

Formula 24 Densidad seca al horno del concreto de baja densidad

Donde:

- Oc (kg/m³): Densidad Seca al horno
- Em (kg/m³) : Rendimiento Relativo

- D (kg): Masa de espécimen de concreto seco, cuando la masa permanece constante.
- F (kg): Masa de espécimen saturado con superficie seca.
- G (kg): Masa aparente del espécimen sumergido.
- Cuanto conozcamos las cantidades de agregados, cemento y agua utilizada además del volumen preparado calculamos la ecuación con la siguiente ecuación:

$$O_c = \frac{M_{df} + M_{dc} + 1.2 * M_{ct}}{V}$$

Formula 25 Densidad seca al horno alternativa del concreto de baja densidad

. Donde:

O_c (kg/m³): Densidad Seca al horno.

M_{df} (kg): Masa de agregado fino.

M_{dc} (kg): Masa de agregado grueso.

M_{dt} (kg): Masa de agregado cemento.

1.2: Factor de la masa de cemento más el agua químicamente combinada

V (m³): Volumen de concreto mezclado.

CÁLCULOS

En los gráficos tenemos las densidades descritas en el procedimiento en donde verificamos que la densidad menor es la seca al horno, esta es resultado de la segunda fórmula presentada en el procedimiento, debido a que es conocida las proporciones de mezcla, la densidad de equilibrio es 50 kg/m³ mayor a la densidad seca al horno, tenemos una tercera densidad donde el valor representa a la seca por un día después del curado.

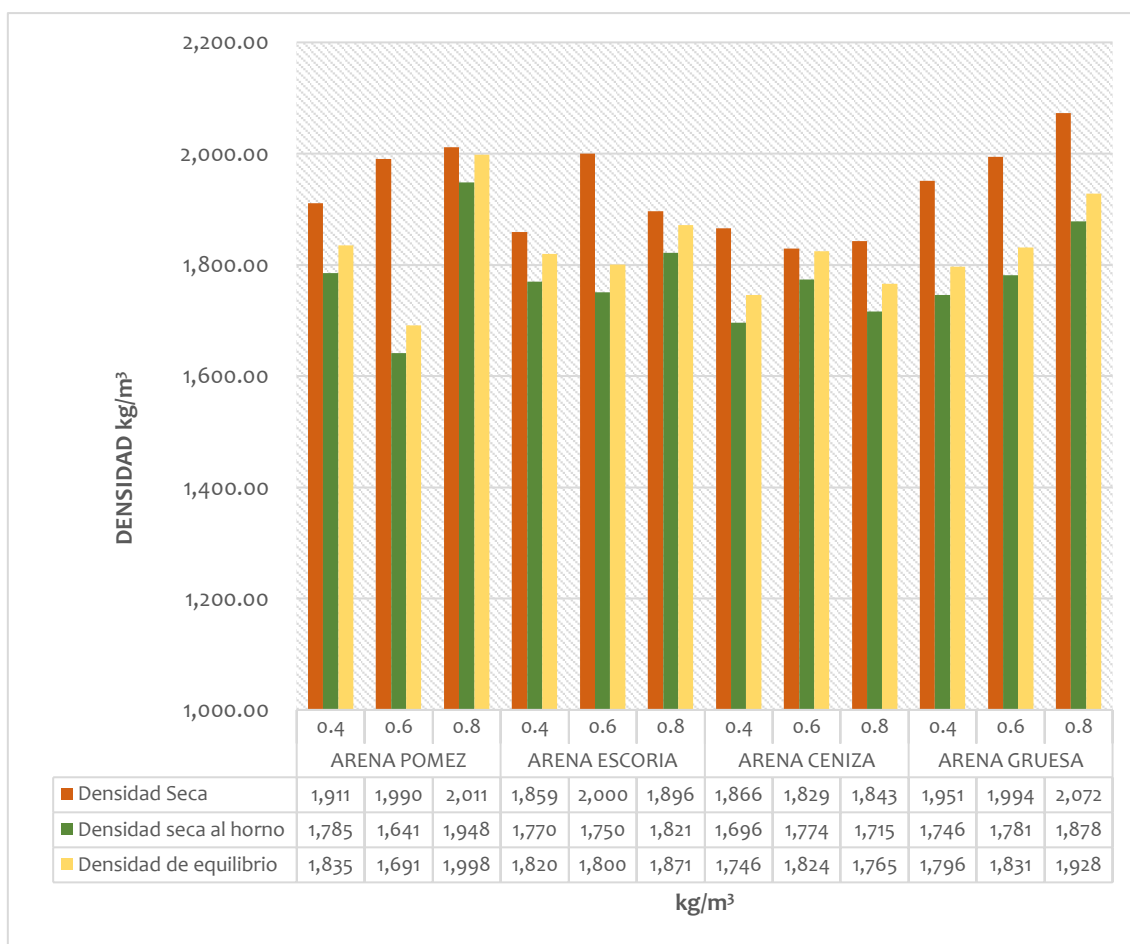


Gráfico 43 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra escoria.

Fuente: Elaboración propia

La menor densidad en las combinaciones de piedra escoria es la de arena Ceniza con piedra escoria en una relación de 40:60 respectivamente, la más alta se da con la aren pómez y piedra escoria con 1998 kg/m^3 y una relación 80:20 respectivamente verificando las que se consideran concreto ligero 18 concretos de todas las combinaciones presentadas en el gráfico.

DENSIDADES DE PIEDRA POMEZ

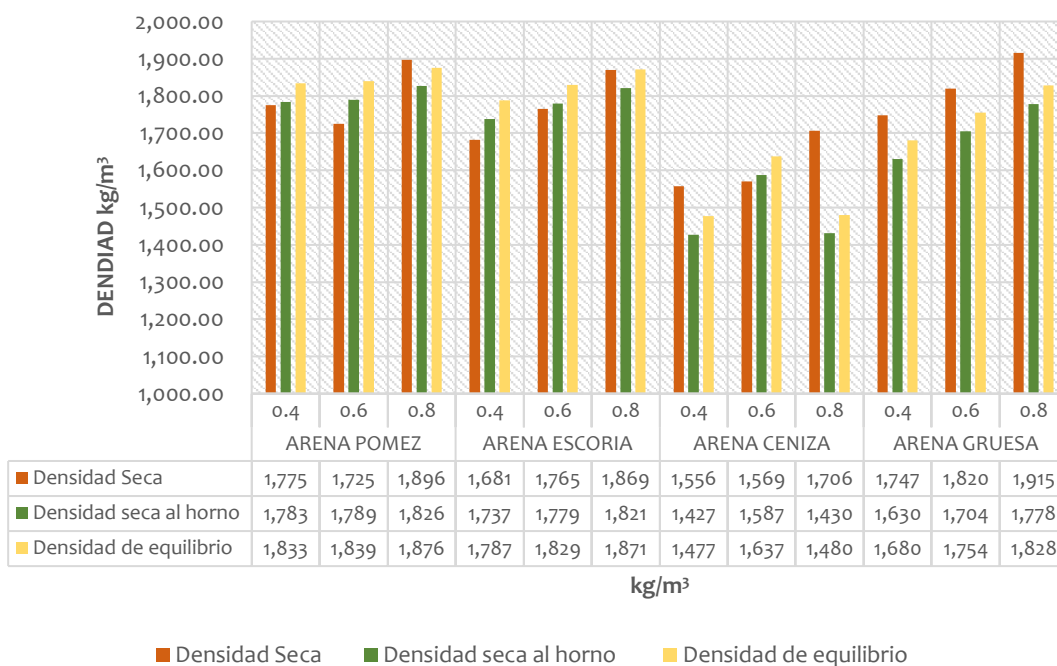


Gráfico 44 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra pómez.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las combinaciones con piedra pómez la que presenta menor densidad es la de arena ceniza y piedra pómez en relación 40:80 respectivamente la misma que con la piedra escoria y en la siguiente grafica de piedra de ½ quedando dentro de las consideraciones de concreto ligero.

DENSIDADES DE PIEDRA CHANCADA DE 1/2"

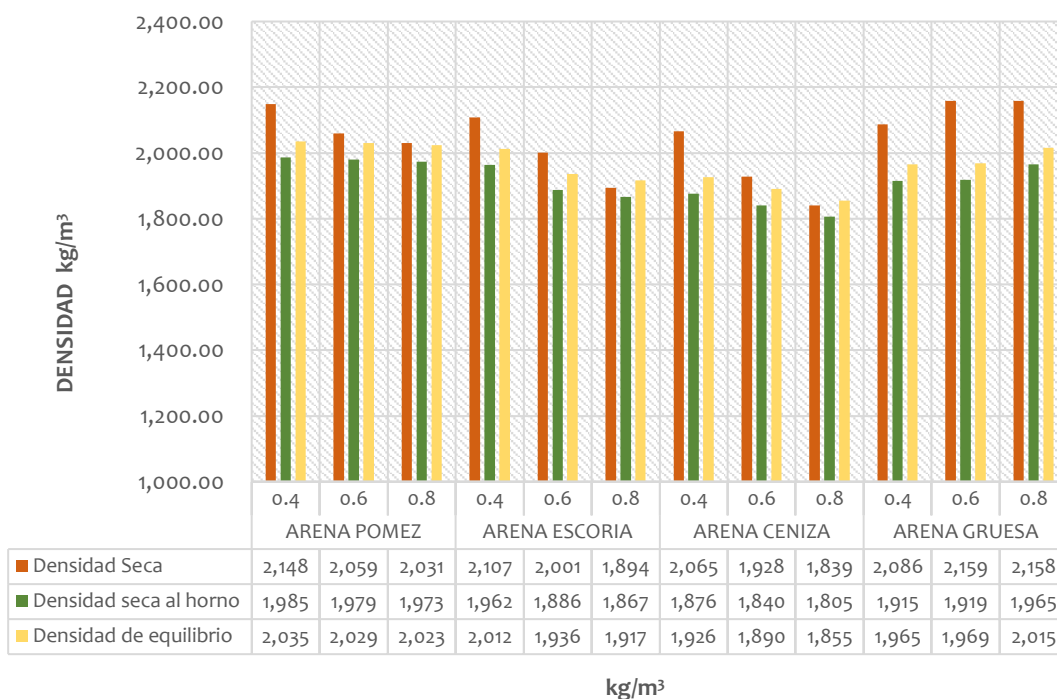


Gráfico 45 Densidades seca, seca al horno y de equilibrio de las diferentes arenas con la piedra chancada de 1/2"

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los concreto con adiciones de perlita de igual manera se considera estas tres densidades para la verificación con los tres diseños tomados, se puede ver que a medida que aumenta el contenido d agregado artificial las densidades van en descenso, logrando aligerar el concreto por cada 5% de adición de las perlas en 50 kg/m^3 en densidad, esto nos permite sacar una proporción para determinar la cantidad de perlitas necesarias para bajar la densidad de un concreto para lograr que cumpla con las especificaciones de concreto ligero.

DENSIDADES DE AG. INDUSTRIAL

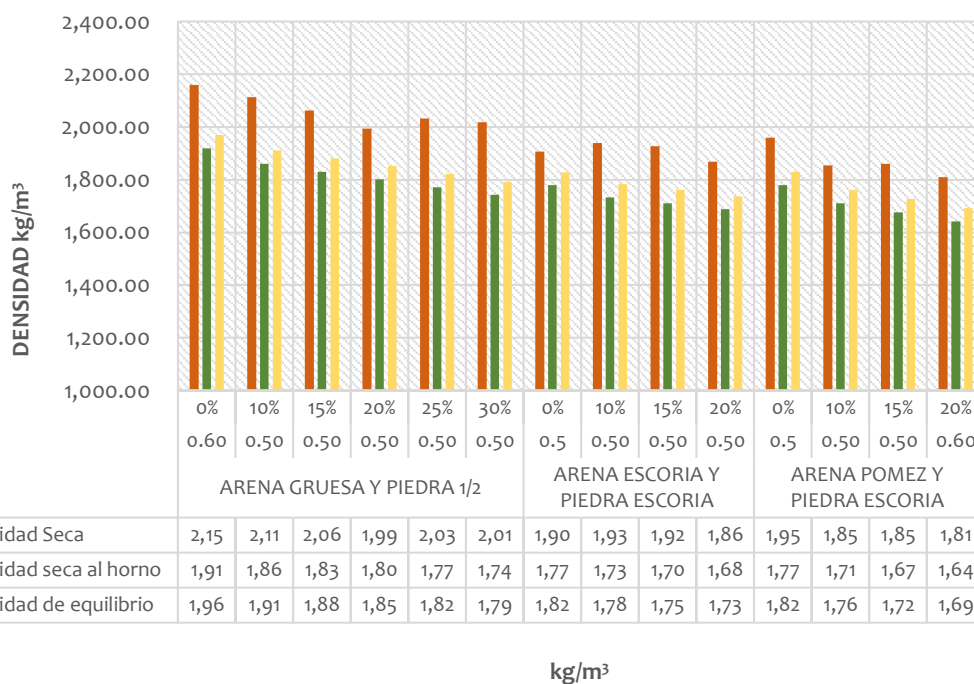


Gráfico 46 Densidades de concretos con adiciones de perlitas de poliestireno

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado realizamos un seguimiento del proceso de la variación de la densidad durante los primeros 14 días para ello se tomó en cuenta la toma de pesos: vaciado o peso unitario, fraguado, 2 días, 7 días y 14 días mostrados en los siguientes gráficos por ejemplo, se observa como la densidad aun pasado los 14 días sigue bajando debido a la absorción y retención de agua por los agregados utilizados lo que ayuda a un curado interno del concreto, como una característica ya mencionada, es por ello que en concreto ligeros se busca hallar una densidad de equilibrio lo que permite considerar ya una densidad constante, se ha podido demostrar que algunos concretos livianos siguen bajando su densidad incluso después de los 90 días, para conseguir esa densidad se procedió a secar os especímenes de concreto en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas para determinar una densidad completamente seca sin humedad presente en el espécimen de concreto.

DENSIDADES PIEDRA 1/2 - ARENA GRUESA



Gráfico 47 Evolución en la densidad del diseño de piedra chancada de 1/2" y arena gruesa a/c 0.6 y adiciones de perlita

Fuente: Elaboración propia

DENSIDADES P.ESCORIA- ARENA ESCORIA

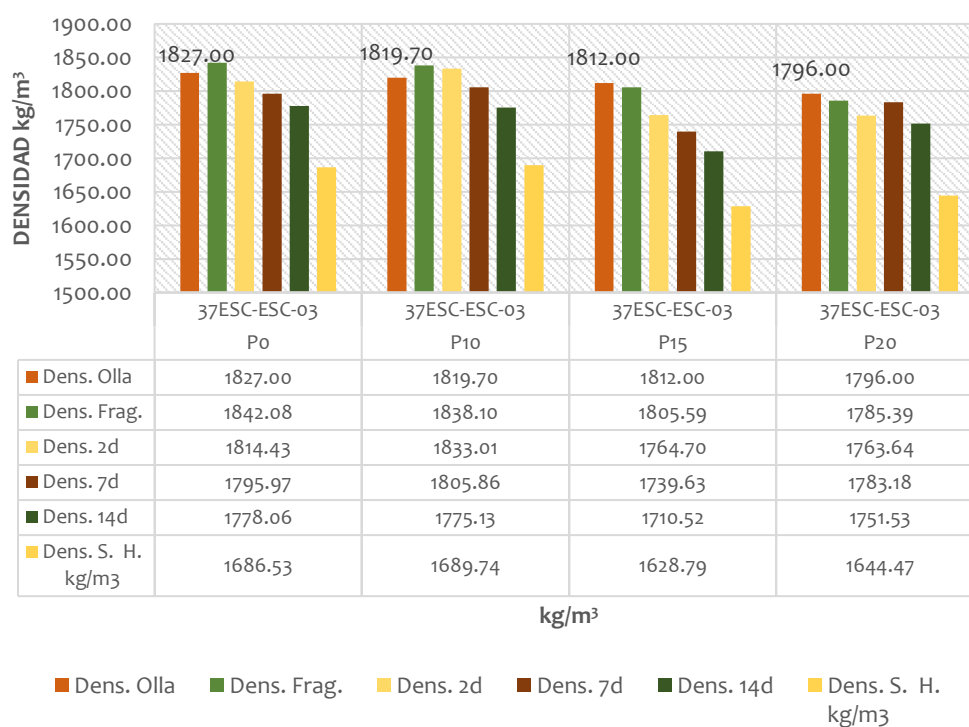


Gráfico 48 Evolución en la densidad del diseño de piedra de escoria y arena escoria a/c 0.5 y adiciones de perlita

Fuente: Elaboración propia

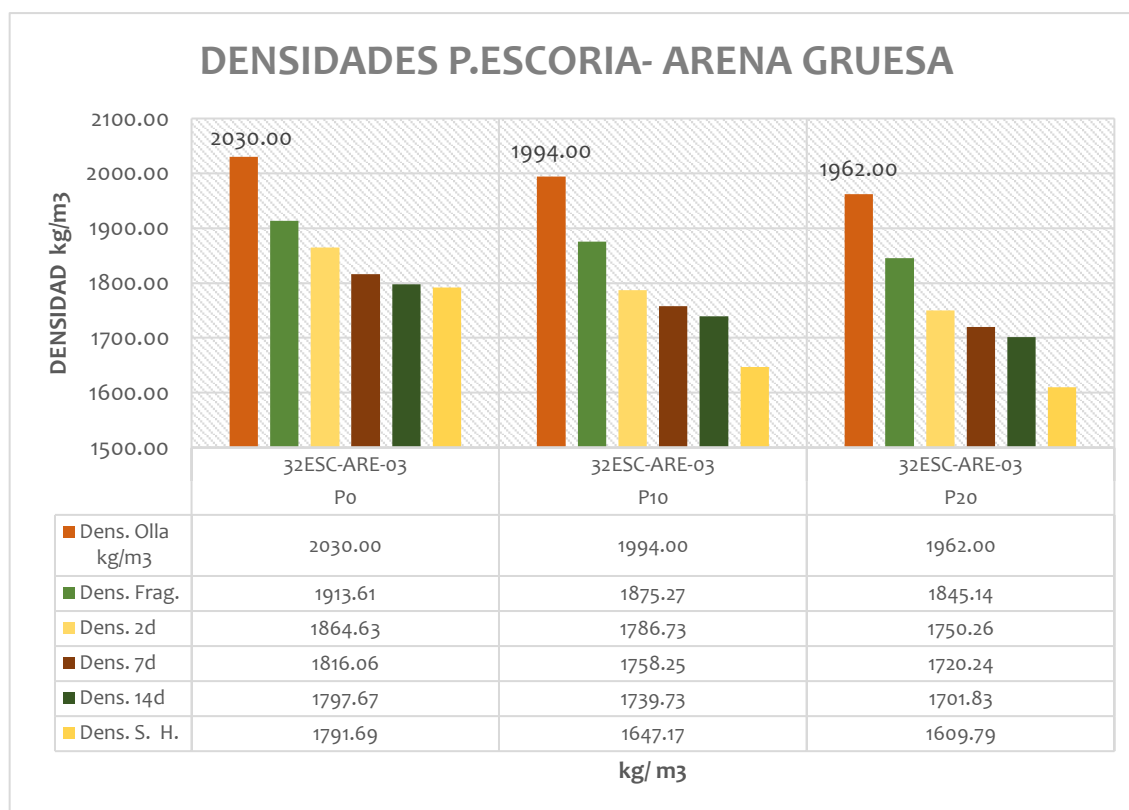


Gráfico 49 Evolución en la densidad del diseño de piedra de escoria y arena gruesa a/c 0.5 y adiciones de perlita

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. ABSORCIÓN

La absorción representa el movimiento capilar por los poros, quienes se encuentran esta abiertos al medio ambiente, este valor nos da por medio de la diferencia de concreto seco y el espécimen seco superficialmente.

NORMATIVA

- ASTM C 642 titulada: “Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto”.

PROCEDIMIENTO

- Para ello tomados los valores de espécimen de concreto secado al horno con una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y el espécimen seco superficialmente saturado esto nos permite desarrollar la siguiente formula:

$$\text{Abs} = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

Formula 26 Absorción del concreto en estado endurecido

. Donde:

- Abs (%): Absorción de concreto.
- Ws (kg): Peso superficialmente seco del espécimen de concreto.
- Wd (kg): Peso seco del espécimen de concreto

CÁLCULOS

Con los valores determinados para las densidades podemos hallar la absorción del concreto ligero, este valor es prácticamente mayor que el concreto convencional además que la abs8.89% en el concreto normal (el denominado Perlita 0%, P0) comparando con un concreto con perlita al 30 %, P30, que tiene un 11.34 % ambos con componentes de piedra de ½ y agregado grueso, con agregados naturales en el siguiente gráfico con piedra escoria y arena pómez con 0% de perlita, P0, donde se tiene una alta absorción de 10.1% y esta aumenta a medida que se le incluye el porcentaje de perlita. Este aumento en la absorción se puede apreciar en la resistencia como podemos ver en el último grafico donde observamos que la absorción es indirectamente proporcional a la resistencia a la compresión.

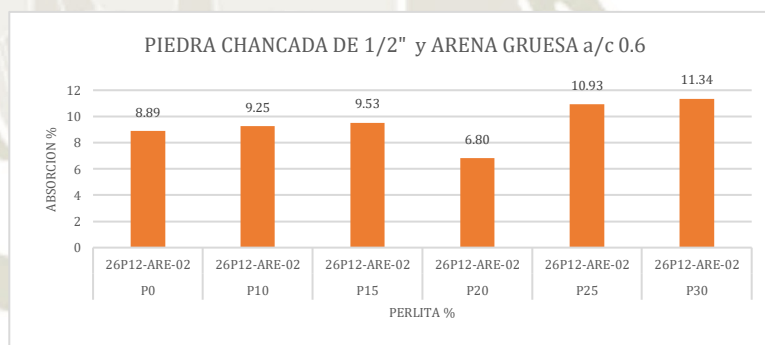


Gráfico 50 Comparación de porcentaje de perlita agregada y absorción del concreto con piedra ½ y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

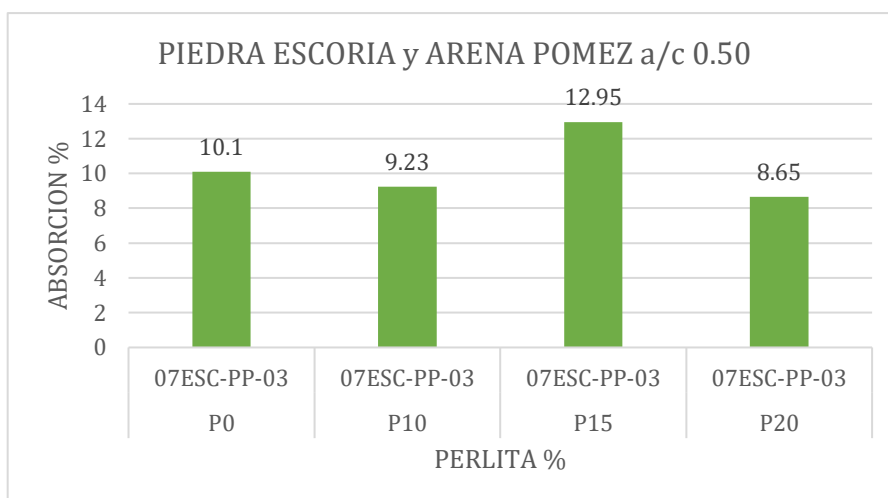


Gráfico 51 Comparación de porcentaje de perlita agregada y absorción del concreto con piedra escoria y arena pómez

Fuente: Elaboración propia

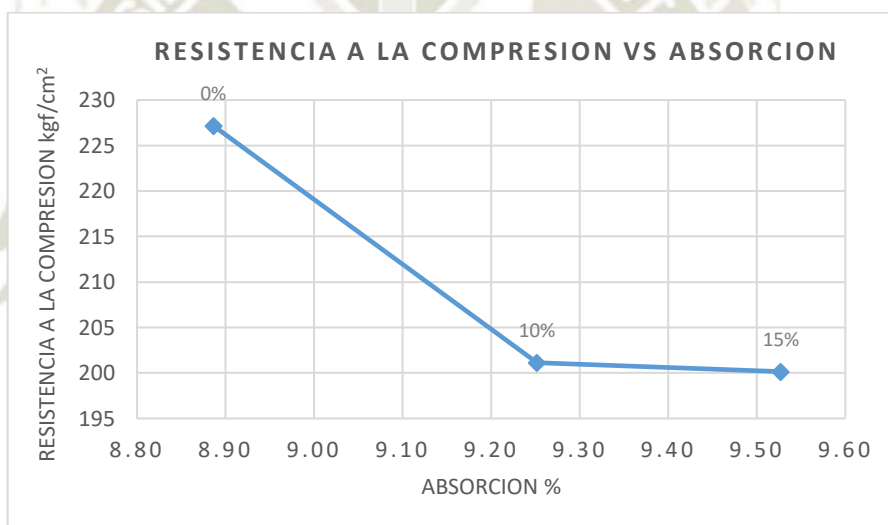


Gráfico 52 Comparación de absorción y resistencia en concretos con arena gruesa y piedra chancada de 1/2" y porcentaje de perlita

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. PROPUESTAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Con los resultados de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se procede a proponer diseños de mezclas de concreto de baja densidad para uso estructural y no estructural.

4.1.1. USO ESTRUCTURAL

Para un uso estructural, se plantea los siguientes diseños:

Diseño	Ag. Fino	Ag. grueso	Perlita %	RF %	a/c	Resistencia a 28 días kgf/cm ²	Densidad kg/m ³
24.ESC-CE-01	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	-	0.4	0.5	219	1776.89
22.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.5	238	1864.16
15.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	-	0.4	0.5	249	1849.50
16.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.5	267	1718.50
21.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	10	0.4	0.5	258	1828.79

Tabla 65 Propuestas de concreto de baja densidad para uso estructural

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 64, el concreto que ofrece mayor resistencia y menor densidad, es el diseño **16.ESC-ESC-01**, que será utilizado en el capítulo de aplicación de esta investigación.

Con agregados industriales, el diseño que presenta mayor resistencia y menor densidad es el diseño **21.ESC-PP-01**, con un porcentaje de 10% de reemplazo de agregado grueso.

4.1.2. USO NO ESTRUCTURAL

Diseño	Ag. Fino	Ag. grueso	Perlita %	RF %	a/c	Resistencia a 28 días kgf/cm ²	Densidad kg/m ³
PP-CE-02	CENIZA	PIEDRA PÓMEZ	*	0.6	0.6	129.63	1637.99
ESC-CE-02	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.6	184.89	1824.23

Tabla 66 Propuestas de concreto de baja densidad para uso no estructural

Fuente: Elaboración propia

Para una resistencia mínima de 100 kgf/cm^2 , se propone el uso del diseño **PP-CE-02**, que presenta la resistencia requerida y menor densidad; este concreto puede ser utilizado en vaceado de un falso piso.

Para una resistencia mínima de 175 kgf/cm^2 , se propone el uso del diseño **ESC-CE-02**, que presenta la resistencia requerida y menor densidad; este concreto puede ser utilizado en los últimos pisos, que ya no requieran la resistencia del concreto de los pisos inferiores.

4.2. COMPARACIÓN DE COSTOS

Debido al comportamiento y las propiedades de nuestros diseños, se escogieron 5 diseños de concretos con agregados naturales para una resistencia de 210 kgf/cm^2 , 1 diseño de concreto para una resistencia de 175 kgf/cm^2 , 1 diseño de 100 kgf/cm^2 y 1 diseño con adición de perlita de 210 kgf/cm^2 ellos resaltan por su baja densidad cumpliendo con los requisitos mencionados, podemos observar que al precio varía debido al contenido de cemento que poseen para alcanzar la resistencia a compresión, pero se puede tener en cuenta debido a su peso liviano comparado con los convencionales que se requerirá menos personal, a continuación se desarrolla el costo de cada diseño y comparaciones gráficas.

En el concreto convencional desarrollado en la presente investigación se tomó el costo del agregado dado por la Revista “Constructivo” de Octubre - Noviembre 2018 (BLACKSA(K&BCOP), 2018) que se detalla a continuación, todos los precios se encuentran sin IGV.

DISEÑO DE CONCRETO					
$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN	UND	PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
		m ³ /m ³			
CEMENTO:	YURA IP	9.88	bls.	17.8	175.861
AGREGADO FINO:	ARENA GRUESA	0.47	m ³ /m ³	50.85	23.90
AGREGADO GRUESO:	PIEDRA 1/2	0.61	m ³ /m ³	55.08	33.60
AGUA (En litros/bol.)		0.189	m ³ /m ³	7.6	1.44
TOTAL					234.80

Tabla 67 Cálculo del costo de un concreto convencional $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Revista “Constructivo” (BLACKSA(K&BCOP), 2018)

DISEÑO DE CONCRETO					
$f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT. (S./m ³)	TOTAL (S./.)
		m ³ /m ³	UND		
CEMENTO:	YURA IP	8.6	bls.	17.8	153.08
AGREGADO FINO:	ARENA GRUESA	0.490	m ³ /m ³	50.85	24.92
AGREGADO GRUESO:	PIEDRA 1/2	0.630	m ³ /m ³	55.08	34.70
AGUA (En litros/bol.)		0.186	m ³ /m ³	7.6	1.41

TOTAL
214.11
Tabla 68 Calculo del costo de un concreto convencional $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$
Fuente: Revista “Constructivo” (BLACKSA(K&BCOP), 2018)

Para el costo de un concreto de baja densidad en la investigación para determinar el costo del agregado utilizado; nuestro cálculo considerara los siguientes criterios el transporte y la extracción en la cantera, pues el agregado se encuentra en forma natural para llegar a ser explotado, para ello nos ayudamos de los precios unitarios de obras próximas a la zona donde se ubicara la vivienda como es “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL EJE DE INTEGRACIÓN VIAL NORTE ENTRE LA INTERSECCIÓN AV. LAS TORRES – VÍA PE-34A, HASTA LA INTERSECCIÓN AV. ITALIA – AV AVIACIÓN, EN LOS DISTRITOS DE YURA Y CERO COLORADO, PROVINCIA DE AREQUIPA – REGIÓN AREQUIPA” en donde extraeremos del análisis de costos unitarios la partida de 07.02 **TRANSPORTE DE MATERIAL D $\geq$ 1.00 KM** y la partida (010451010101-0203002-01) **EXTRACCION CANTERA (sin explosivos)** que se muestra a continuación.

Partida	07.02	TRANSPORTE DE MATERIAL D>=1.00 KM					
Rendimiento	m³km/DIA	MO.	1,000.0	EQ.	1,000.0	Costo unitario directo por : m³km	1.97
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Equipos							
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0080	245.84	1.97	

Tabla 69 Análisis de Precios unitario de Transporte de Material Granular D >=1 KM

Fuente: “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL EJE DE INTEGRACIÓN VIAL NORTE ENTRE LA INTERSECCIÓN AV. LAS TORRES – VÍA PE-34A, HASTA LA INTERSECCIÓN AV. ITALIA – AV AVIACIÓN, EN LOS DISTRITOS DE YURA Y CERO COLORADO, PROVINCIA DE AREQUIPA – REGIÓN AREQUIPA” (Gobierno Regional de Arequipa, 2017)

Partida	(010451010101-0203002-01) EXTRACCIÓN CANTERA (sin explosivos)						
Rendimiento	m³/DIA	MO.400.00	EQ.400.00	Costo unitario directo por : m³		7.51	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
01010100020003	CAPATAZ A	hh		0.2000	0.0040	27.31	0.11
0101010004	OFICIAL	hh		1.0000	0.0200	17.03	0.34
						0.45	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			5.0000	0.45	0.02
03011800020001	TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP	hm		1.0000	0.0200	352.18	7.04
						7.07	

Tabla 70 Análisis de Precios unitario de Extracción Cantera (sin explosivos)

Fuente: “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL EJE DE INTEGRACIÓN VIAL NORTE ENTRE LA INTERSECCIÓN AV. LAS TORRES – VÍA PE-34A, HASTA LA INTERSECCIÓN AV. ITALIA – AV AVIACIÓN, EN LOS DISTRITOS DE YURA Y CERO COLORADO, PROVINCIA DE AREQUIPA – REGIÓN AREQUIPA” (Gobierno Regional de Arequipa, 2017)

Para ello realizaremos un cuadro donde indique la cantidad de kilómetros de la cantera a la obra que se determinó en la presente investigación.

			DISTANCIA km	S/. /km.m³	TOTAL s/./m³
CENIZA	PROFAM	YURA	12.5	1.97	24.62
ESCORIA	PROFAM	YURA	15.5	1.97	30.53
POMEZ	PROFAM	CHIGUATA	26	1.97	51.22

Tabla 71 Costo de transporte del material de cantera a obras

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado a estos precios se les tiene que agregar la extracción de materia de cantera para ello se considera un esponjamiento del material sienta un 15% para

agregado fino y un 13% para agregado grueso por metro cubico de material consideramos tanto en el transporte como en la extracción, dándonos un costo total de:

DESCRIPCIÓN		EXTRACCIÓN S./m ³	TRANSPORTE S./m ³	COSTO S./m ³	ESPONJAMIENTO	costo S./m ³
CENIZA	YURA	7.51	24.625	32.135	15%	36.96
ESCORIA	YURA	7.51	30.535	38.045	15%	43.75
POMEZ	CHIGUATA	7.51	51.22	58.73	15%	67.54
PIEDRA ESCORIA	YURA	7.51	30.535	38.045	13%	42.99
PIEDRA POMEZ	CHIGUATA	7.51	51.22	58.73	13%	66.36

Tabla 72 Costo de transporte y extracción del material de cantera a obra

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que estos precios varían debido a la demanda y rendimiento de las maquinarias para su extracción, es así que los costos por agregado nos permiten determinar los costos por metro cubico de cada diseño escogido tales como 100kgf/cm², 175kgf/cm² y 210 kgf/cm² que se presentan en las tablas a continuación.

DISEÑO CÓDIGO ESC-CE-02					
f'c = 175 kgf/cm ²					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN	UND	PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./.)
		m ³ /m ³			
CEMENTO:	YURA IP	9.804	bls.	17.8	174.51
AGREGADO FINO:	CENIZA	0.342	m ³ /m ³	36.96	12.65
AGREGADO GRUESO:	PIEDRA ESCORIA	0.226	m ³ /m ³	42.99	9.71
AGUA (En litros/bol.)		0.321	m ³ /m ³	7.6	2.44
TOTAL					198.73

Tabla 73 Calculo del costo de un concreto de baja densidad f'c = 175kgf/cm²

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO - CÓDIGO PP-CE-02					
f'c = 100 kgf/cm ²					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN	UND	PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./.)
		m ³ /m ³			
CEMENTO:	YURA IP	9.804	bls.	17.8	174.51
AGREGADO FINO:	CENIZA	0.342	m ³ /m ³	36.96	12.65
AGREGADO GRUESO:	PIEDRA POMEZ	0.360	m ³ /m ³	66.36	23.87
AGUA (En litros/bol.)		0.321	m ³ /m ³	7.6	2.44
TOTAL					213.47

Tabla 74 Calculo del costo de un concreto de baja densidad f'c = 100 kgf/cm²

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO - CÓDIGO 24.ESC-CE-01				
$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$				
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)				
COMPONENTES DEL CONCRETO	PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
	m ³ /m ³	UND		
CEMENTO: YURA IP	11.765	bls.	17.8	209.41
AGREGADO FINO: CENIZA	0.216	m ³ /m ³	36.96	8.00
AGREGADO GRUESO: PIEDRA ESCORIA	0.321	m ³ /m ³	42.99	13.82
AGUA (En litros/bol.)	0.334	m ³ /m ³	7.6	2.54
TOTAL				233.77

Tabla 75 Calculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO - CÓDIGO 22.ESC-PP-01				
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)				
COMPONENTES DEL CONCRETO	PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
	m ³ /m ³	UND		
CEMENTO: YURA IP	11.765	bls.	17.8	209.41
AGREGADO FINO: ARENA POMEZ	0.321	m ³ /m ³	66.36	21.33
AGREGADO GRUESO: PIEDRA ESCORIA	0.214	m ³ /m ³	42.99	9.21
AGUA (En litros/bol.)	0.324	m ³ /m ³	7.6	2.46
TOTAL				242.41

Tabla 76 Calculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO - CÓDIGO 15.ESC-ESC-01				
$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$				
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)				
COMPONENTES DEL CONCRETO	PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
	m ³ /m ³	UND		
CEMENTO: YURA	11.765	bls.	17.8	209.41
AGREGADO FINO: ARENA ESCORIA	0.223	m ³ /m ³	43.75	9.77
AGREGADO GRUESO: PIEDRA ESCORIA	0.333	m ³ /m ³	42.99	14.33
AGUA (En litros/bol.)	0.361	m ³ /m ³	7.6	2.74
TOTAL				236.26

Tabla 77 Calculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO - CÓDIGO 16.ESC-ESC.02					
$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
		m ³ /m ³	UND		
CEMENTO:	YURA	11.765	bls.	17.8	209.41
AGREGADO FINO:	ARENA ESCORIA	0.323	m ³ /m ³	43.75	14.13
AGREGADO GRUESO:	PIEDRA ESCORIA	0.214	m ³ /m ³	42.99	9.21
AGUA (En litros/bol.)		0.351	m ³ /m ³	7.6	2.67
TOTAL					235.42

Tabla 78 Calculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO CÓDIGO 21.ESC-PP-01					
$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$					
RESULTADO - PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO (Corregidas por Relación de agregados)					
COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIÓN VOLUMEN		PRECIO UNIT.(S./m ³)	TOTAL (S./)
		m ³ /m ³	UND		
CEMENTO	YURA IP	11.765	bls.	17.8	209.41
AGREGADO FINO	ARENA POMEZ	0.214	m ³ /m ³	53.19	53.19
AGREGADO GRUESO	PIEDRA ESCORIA	0.289	m ³ /m ³	32.505	32.505
AGUA (En litros/bol.)		0.338	m ³ /m ³	7.8	7.8
PERLITA	10%	0.032	m ³ /m ³	25	0.80
TOTAL					232.85

Tabla 79 Calculo del costo de un concreto de baja densidad $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de perlita 10%

Fuente: Elaboración Propia

Para su comparación de los costos elaboraremos los siguientes gráficos que permiten observar e interpretar de mejor manera los resultados, los concretos denominados convencionales se encuentran al extremo izquierdo de la gráfica.

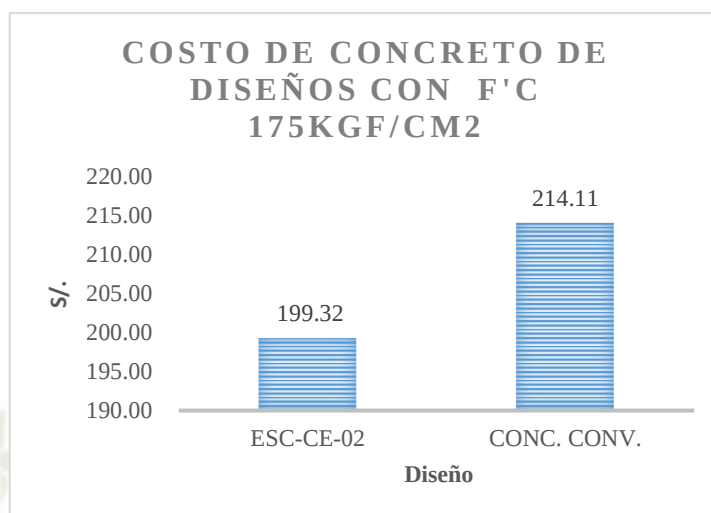


Gráfico 53 Comparación de costos de concreto por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

El costo del concreto de baja densidad 175 kgf/cm^2 es más económico, brindado un precio por metro cubico de S./199.32, en comparación la diferencia entre ambos concretos analizados es de 14 soles por cada metro cubico de concreto, para ello en las siguientes graficas verificaremos en que componente de diseño de concreto difiere el costo.

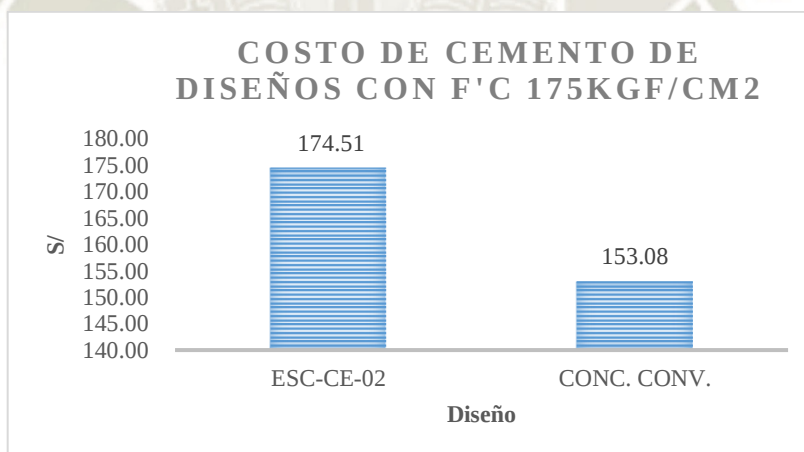


Gráfico 54 Comparación de costos de cemento por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

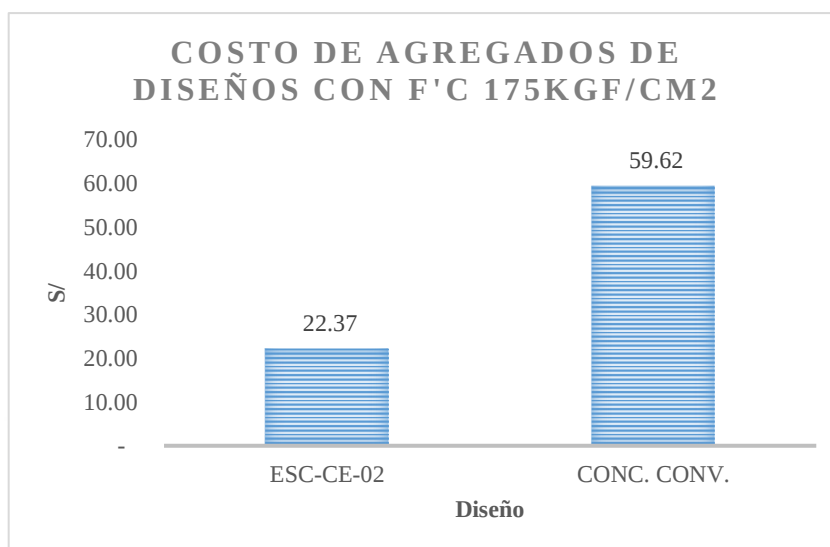


Gráfico 55 Comparación de costos de agregado por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

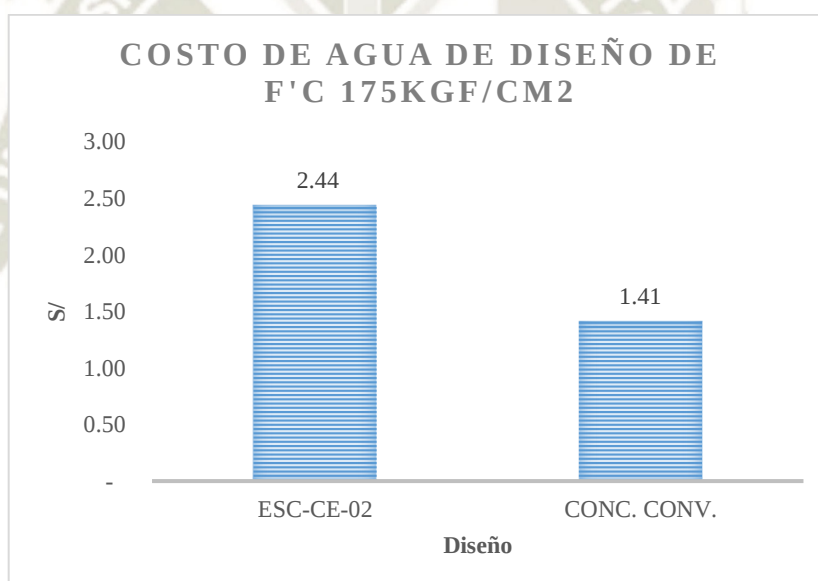


Gráfico 56 Comparación de costos de agua por diseño $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos podemos verificar que la diferencia en cemento y agua es mayor en el concreto de baja densidad; mientras que el precio de los agregados del concreto de baja densidad es menor que el convencional, esta diferencia de cemento adicional es de S/.21.43 a favor del concreto convencional, sin embargo el concreto de baja densidad tiene un costo menor de agregados de S/. 37.25, lo que permite disminuir el costo del concreto de baja densidad.

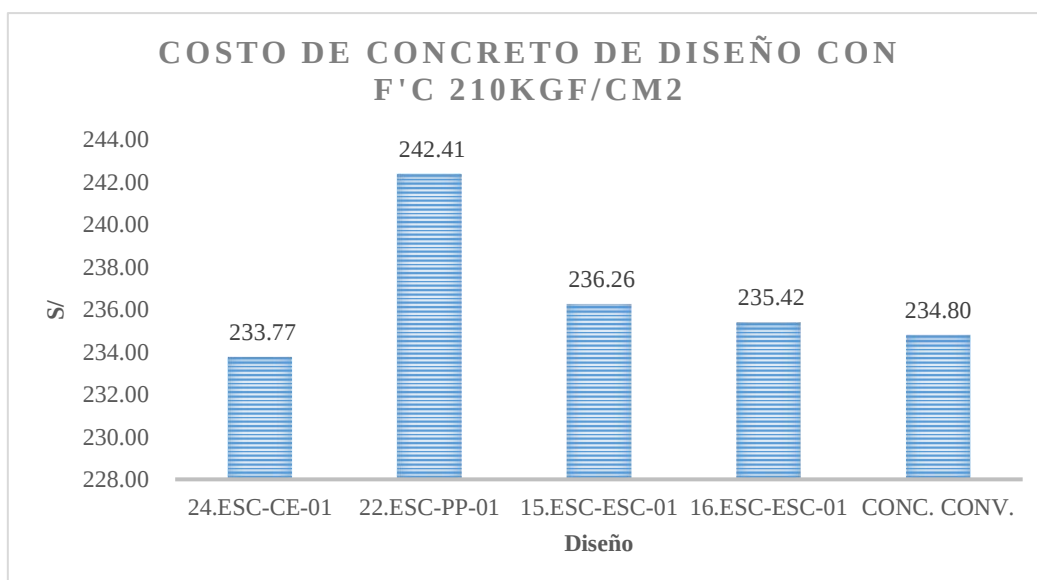


Gráfico 57 Comparación de costos de concreto por diseño $f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de concretos con resistencias a la compresión de 210 kgf/cm^2 se escogió cuatro diseños para su comparación con nuestro concreto base o convencional extraído de la revista “Constructivo”, debido a la necesidad de llegar a la resistencia del diseño, de igual manera al igual que en el concreto 175 kgf/cm^2 , el contenido de cemento aumenta y por ende el precio. Podemos ver que la combinación de arena de ceniza y piedra escoria con el código 24.ESC-CE-01, se aproxima más al concreto convencional, arena gruesa y piedra de 1/2, otro diseño que continua con una diferencia mínima es el diseño con combinación entre piedra escoria y arena escoria, con el código 16.ESC-ESC-01. El concreto con mayor diferencia al convencional es el concreto ligero con código 22.ESC-PP-01, arena pómez y piedra escoria.

Es importante resaltar el menor precio en agregados de concretos de baja densidad, compensando su incremento en contenido de cemento (diferencia S/.33.55 por metro cubico) muchas veces para tratar de igualar su precio con un concreto convencional, como podemos observar en las siguientes gráficas, la diferencia de agregado a favor del concreto de baja densidad es de aproximadamente S/.35.68 por metro cubico.

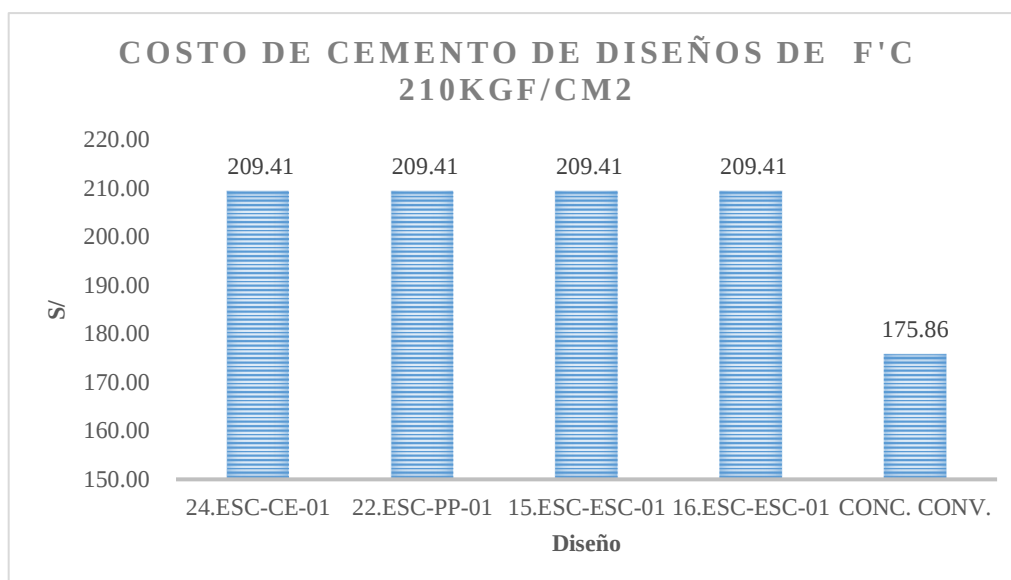


Gráfico 58 Comparación de costos de cemento por diseño $f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

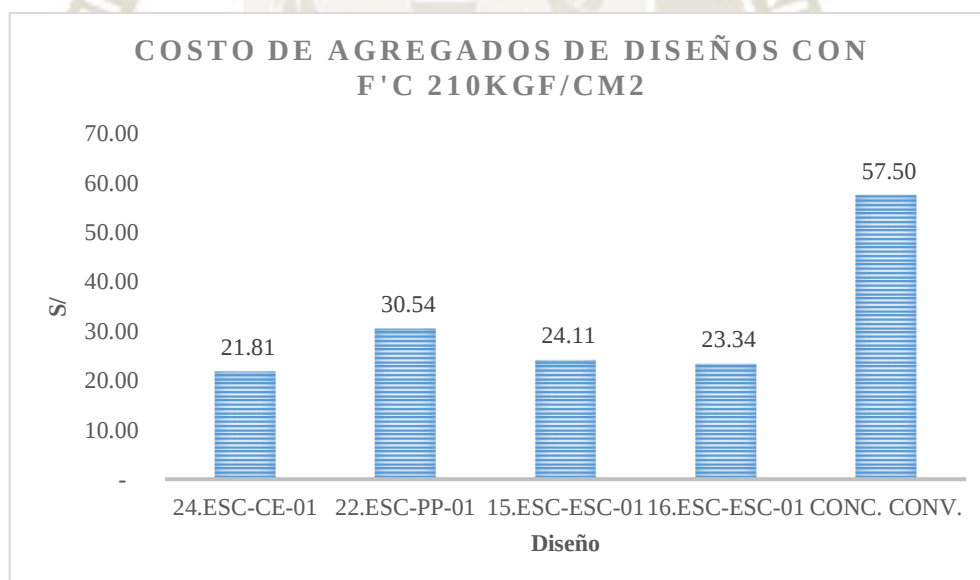


Gráfico 59 Comparación de costos de agregado por diseño $f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

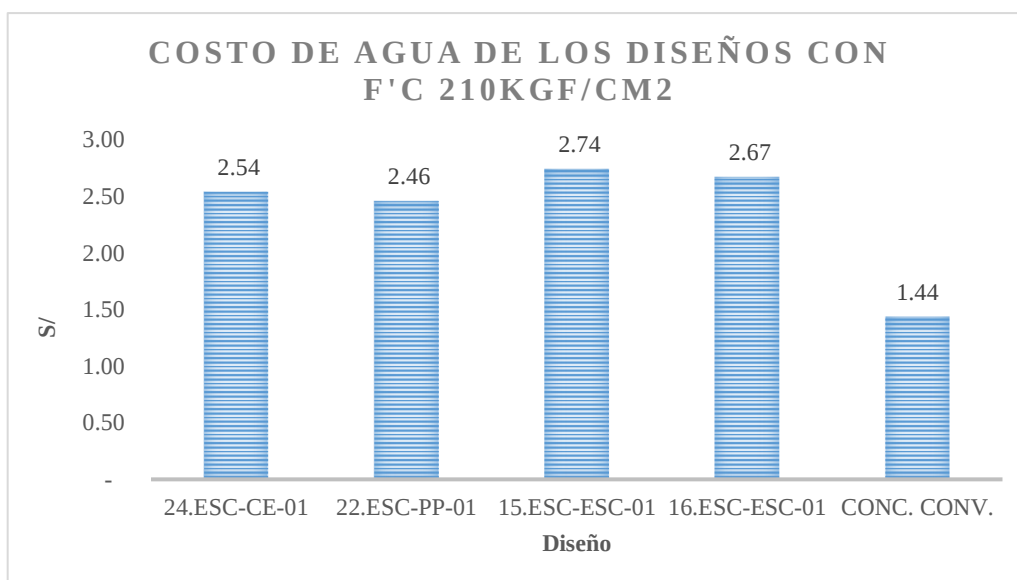


Gráfico 60 Comparación de costos de agua por diseño $f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

Aunque el costo de concreto puede ser mayor por el contenido de cemento presente, por otro lado, en una partida específica por ejemplo la de concreto para vigas, columnas o losas, puede llegar a tener menor precio, pues la mano de obra que requiere es menor ya que el esfuerzo para levantar o transportar los materiales no va ser el mismo que con agregados de peso normal, al requerir menos personal el costo de partida disminuye, para esta comparación se utilizó los datos de la revista “Constructivo”, para ello las comparaciones se realizó con el diseño de concreto de baja densidad con Arena escoria y piedra escoria el cual su costo es de S/.235.42 por sus características y su resistencia a la compresión alcanzada que permite y el mismo material Escoria, que facilita el proceso constructivo y extracción del mismo.

DISEÑO	24.ESC-CE-01	22.ESC-PP-01	15.ESC-ESC-01	16ESC-ESC-01	CONC. CONV.
COSTO S/.	233.77	242.41	236.26	235.42	234.80
RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c kgf/cm²	219.49	258.85	249.14	267	210
DENSIDAD kg/m³	1726.89	1814.15	1799.5	1778.5	2200
INDICE $I = F'C * C/D$	1.84	1.70	1.71	1.57	2.46

Tabla 80 Comparación entre densidad, resistencia a la compresión y costos, escogiendo el diseño de ESCORIA rf 0.6

Fuente: Elaboración Propia

Según la revista mencionada el precio unitario de la partida concreto en vigas se dio de S/. 371.46 por metro cubico, tomando como cuadrilla 0.2 Capataz, 2. Operarios, 1oficial y 10 peones, como se detalla a continuación.

OBRA:		ITEM:		002	
CONCRETO EN VIGAS					
PARTIDA:		F'C=210kgf/cm ²			
UNIDAD DE					
MEDIDA:		m ³			
ECUACION A					
USAR:		0.2CP+2.0 Op+1Of+10Pe			
RENDIMIENTO:				18	m ³ /día
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU \$.	PARCIAL \$.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.2	0.09	25.82	2.30
OFICIAL	HH	1	0.44	16.31	7.25
OPERADOR	HH	2	0.89	19.86	17.65
OPERARIO	HH	2	0.89	19.86	17.65
PEON	HH	10	4.44	14.66	65.16
COSTO DE MANO DE OBRA					110.01
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	1.000	5.00		5.50
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP	HM	1.000	0.44	31.50	14.00
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP	HM	1.000	0.44	11.76	5.23
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					24.73
MATERIALES					
ARENA GRUESA	M3		0.47	50.85	23.90
ACEITE M 300	GL		0.01	41.17	0.21
AGUA	M3		0.19	7.60	1.44
PIEDRA CHANCADA DE 1/2	M3		0.610	55.08	33.60
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)	BL		9.880	17.80	175.86
GASOLINA 84 OCTAVOR	GL		0.200	8.40	1.68
GRASA POTE 200GR	UN		0.010	3.81	0.04
COSTO DE MATERIALES					236.72
COSTO TOTAL					371.46

Tabla 81 Precios unitarios de partida concreto en vigas

Fuente: Revista "Constructivo" en el Suplemento Técnico

(BLACKSA(K&BCOP), 2018) Ahora para el cálculo con concreto ligero se toma como datos bases los tomados de la revista, pero para el nuevo cálculo se propone una disminución de personal, de 10 peones se disminuye a 8 peones debido a que este personal es el que contribuye con el traslado del material por lo que al disminuir el peso será menor el esfuerzo que incurra en la partida, por lo cual se procede a hacer ese cálculo comparando los pesos de material liviano y convencional, dándonos como resultado al 8 peones.

OBRA:		ITEM:		002	
PARTIDA:		CONCRETO DE BAJA DENSIDAD EN VIGAS F'C=210kgf/cm ²			
UNIDAD DE MEDIDA:		m ³		RENDIMIENTO: 18 m ³ /día	
ECUACION A USAR:		0.2CP+2.0 Op+1Of+8Pe			
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.2	0.09	25.82	2.30
OFICIAL	HH	1	0.44	16.31	7.25
OPERADOR	HH	2	0.89	19.86	17.65
OPERARIO	HH	2	0.89	19.86	17.65
PEON	HH	8	3.56	14.66	52.12
COSTO DE MANO DE OBRA					96.98
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	1.000	5.00		4.85
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP	HM	1.000	0.44	31.50	14.00
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP	HM	1.000	0.44	11.76	5.23
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					24.08
MATERIALES					
ARENA ESCORIA	M3		0.32	43.75	14.13
ACEITE M 300	GL		0.01	41.17	0.21
AGUA	M3		0.35	7.60	2.67
PIEDRA ESCORIA	M3		0.214	42.99	9.21
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)	BL		11.765	17.80	209.41
GASOLINA 84 OCTAVOR	GL		0.200	8.40	1.68
GRASA POTE 200GR	UN		0.010	3.81	0.04
COSTO DE MATERIALES					237.35
COSTO TOTAL					358.40

Tabla 82 Precios unitarios de partida concreto en vigas con concreto de baja densidad

Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar que se los costos de los últimos cuadros difieren en S/. 13.06, favoreciendo al costo de concreto de baja densidad lo que permite un ahorro en la elaboración de vigas. Para consolidar esta conclusión se procede a realizar la misma comparación en la partida de columnas según la revista “Constructivo” y los valores que nos brinda nuestro diseño de concreto de baja densidad, tomando en consideración la disminución del personal.

OBRA:		ITEM:		002	
PARTIDA:		CONCRETO EN COLUMNAS			
UNIDAD DE		F'C=210kgf/cm²			
MEDIDA:		m³		RENDIMIENTO: 9 m³/día	
ECUACION A					
USAR:		0.2CP+2.0 Op+1Of+12Pe			
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.2	0.18	25.82	4.59
OFICIAL	HH	1	0.89	16.31	14.50
OPERADOR	HH	2	1.78	19.86	35.31
OPERARIO	HH	2	1.78	19.86	35.31
PEON	HH	12	10.67	14.66	156.37
COSTO DE MANO DE OBRA					246.07
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	1.000	5.00		12.30
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP	HM	1.000	0.89	31.50	28.00
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP	HM	1.000	0.89	11.76	10.45
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					50.76
MATERIALES					
ARENA GRUESA	M3		0.47	50.85	23.90
ACEITE M 300	GL		0.01	41.17	0.33
AGUA	M3		0.19	7.60	1.44
PIEDRA CHANCADA DE 1/2	M3		0.610	55.08	33.60
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)	BL		9.880	17.80	175.86
GASOLINA 84 OCTAVOR	GL		0.360	8.40	3.02
GRASA POTE 200GR	UN		0.010	3.81	0.04
COSTO DE MATERIALES					238.19
COSTO TOTAL					535.02

Tabla 83 Precios unitarios de partida concreto en columnas con concreto

Fuente: Revista "Constructivo" en el Suplemento Técnico

OBRA:		ITEM:		002	
PARTIDA:		CONCRETO DE BAJA DENSIDAD EN			
UNIDAD DE		COLUMNAS F'C=210kgf/cm ²			
MEDIDA:		m ³		RENDIMIENTO:	9 m ³ /día
ECUACION A					
USAR:		0.2CP+2.0 Op+1Of+12Pe			
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.2	0.18	25.82	4.59
OFICIAL	HH	1	0.89	16.31	14.50
OPERADOR	HH	2	1.78	19.86	35.31
OPERARIO	HH	2	1.78	19.86	35.31
PEON	HH	10	8.89	14.66	130.31
COSTO DE MANO DE OBRA					220.01
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	1.000	5.00		11.00
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP	HM	1.000	0.89	31.50	28.00
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP	HM	1.000	0.89	11.76	10.45
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					49.45
MATERIALES					
ARENA ESCORIA	M3		0.32	43.75	14.13
ACEITE M 300	GL		0.01	41.17	0.33
AGUA	M3		0.19	7.60	1.44
PIEDRA ESCORIA	M3		0.214	42.99	9.21
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)	BL		11.765	17.80	209.41
GASOLINA 84 OCTAVOR	GL		0.360	8.40	3.02
GRASA POTE 200GR	UN		0.010	3.81	0.04
COSTO DE MATERIALES					237.58
COSTO TOTAL					507.05

Tabla 84 Precios unitarios de partida concreto en columnas con concreto de baja densidad

Fuente: Elaboración Propia

Con una diferencia de S/.27.97 comparando el concreto convencional y el concreto de baja densidad en la partida de concreto para columnas, analizando nos llevaría en un ahorro de 5.3% en la partida por metro cubico de concreto para columnas y en vigas un ahorro de 3.5% de concreto por metro cubico, concluyendo el ahorro que nos permite al transporte y elaboración de concreto permite disminuir los costos generados por el incremento de cemento del diseño.

Otra comparación que se puede realizar entre los diseños obtenidos es en los costos de una losa aligerada de la revista “Constructivo” y de concreto de baja densidad, la disminución de precios en un 2.6 %, también disminuyendo la cantidad de personal debido a la mayor facilidad de transporte y de mezcla del material.

OBRA:		CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS			ITEM:	002	
PARTIDA:		F'C=210kgf/cm²					
UNIDAD DE							
MEDIDA:		m³		RENDIMIENTO:	23 m3/día		
ECUACION A		0.3CP+3.0					
USAR:		Op+2.0Of+12Pe					
DESCRIPCION		UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/.	PARCIAL S/.	
MANO DE OBRA							
CAPATAZ		HH	0.3	0.10	25.82	2.69	
OFICIAL		HH	2	0.70	16.31	11.35	
OPERADOR		HH	2	0.70	19.86	13.82	
OPERARIO		HH	3	1.04	19.86	20.72	
PEON		HH	12	4.17	14.66	61.19	
COSTO DE MANO DE OBRA						109.77	
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	1.000	5.00		5.49	
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP							
		HM	1.000	0.35	31.50	10.96	
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP							
		HM	1.000	0.35	11.76	4.09	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						20.54	
MATERIALES							
ARENA GRUESA		M3		0.47	50.85	23.90	
ACEITE M 300		GL		0.00	41.17	0.16	
AGUA		M3		0.19	7.60	1.44	
PIEDRA CHANCADA DE 1/2		M3		0.610	55.08	33.60	
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)		BL		9.880	17.80	175.86	
GASOLINA 84 OCTAVOR		GL		0.180	8.40	1.51	
GRASA POTE 200GR		UN		0.008	3.81	0.03	
COSTO DE MATERIALES						236.51	
COSTO TOTAL						366.81	

Tabla 85 Precios unitarios de partida concreto en losas aligeradas con concreto

Fuente: Revista “Constructivo” en el Suplemento Técnico

OBRA:		ITEM:		002	
CONCRETO DE BAJA DENSIDAD EN LOSAS ALIGERADAS		F'C=210kgf/cm ²			
PARTIDA:					
UNIDAD DE MEDIDA:		m ³			
ECUACION A USAR:		0.3CP+3.0 Op+2.0Of+10Pe			
RENDIMIENTO:		23		m ³ /día	
DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PU \$/.	PARCIAL \$/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.3	0.10	25.82	2.69
OFICIAL	HH	2	0.70	16.31	11.35
OPERADOR	HH	2	0.70	19.86	13.82
OPERARIO	HH	3	1.04	19.86	20.72
PEON	HH	10	3.48	14.66	50.99
COSTO DE MANO DE OBRA					99.57
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	1.000	5.00		4.98
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 16P3 20-35HP	HM	1.000	0.35	31.50	10.96
VIBRADOR DE CONCRETO GASOLINA 5HP	HM	1.000	0.35	11.76	4.09
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					20.03
MATERIALES					
ARENA GRUESA	m ³		0.32	43.75	14.13
ACEITE M 300	GL		0.01	41.17	0.33
AGUA	M3		0.19	7.60	1.44
PIEDRA CHANCADA DE 1/2	M3		0.214	42.990	9.21
CEMNETO PORTLAND TIPO IP (B42.5kg)	BL		11.765	17.80	209.41
GASOLINA 84 OCTAVOR	GL		0.360	8.40	3.02
GRASA POTE 200GR	UN		0.010	3.81	0.04
COSTO DE MATERIALES					237.58
COSTO TOTAL					357.18

Tabla 86 Precios unitarios de partida concreto en losas aligeradas con concreto de baja densidad

Fuente: Elaboración Propia

Como se indicó el concreto de baja densidad representa un menor costo al convencional debido a su peso, un fácil transporte y colocado que incrementa o disminuye la necesidad de personal, sobre todo en el personal de apoyo como los peones los cuales se les disminuirá el peso a cargar.

4.3. APLICACIÓN PARA LOS DISEÑOS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

El concreto ligero se ha desarrollado en obras civiles en países como Noruega y Estados Unidos a comparación de América Latina, se ha utilizado por ejemplo en edificios, puentes obras marinas y elementos prefabricados, un representante de obras civil en concreto ligero es el puente Benicia- Martínez está ubicado en San Francisco con una longitud de 2.5 km elaborado con ceniza volante metacaolín y agregado liviano las dovelas del puente. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconi Pincay , 2007)

Figura 24 Vista panorámica del puente Benicia – Martínez



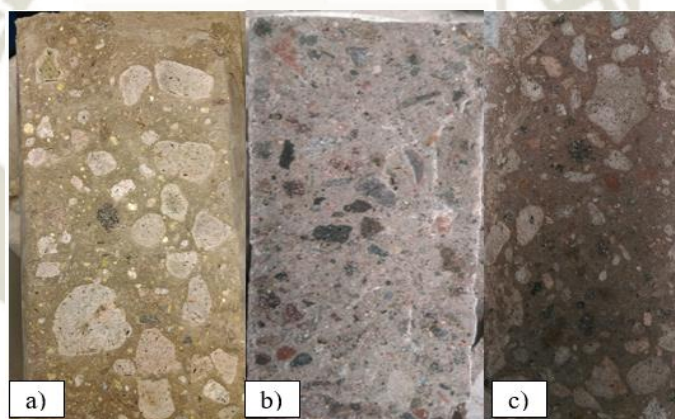
Fuente: <https://en.wikipedia.org>

En la actualidad, normalmente el concreto ligero es utilizado en la construcción de coberturas livianas, aislamientos térmicos y acústicos, rellenos, elementos de amortiguación de impactos y en obras civiles en los países donde el concreto de alta resistencia liviano se ha desarrollado con mayor fuerza, esto gracias a sus ventajas como presentar una disminución del acero estructural y disminuye el tamaño de la cimentación debido a cargas disminuidas y una resistencia y un aislamiento mejores contra el fuego, el calor y sonido. Un ejemplo en el Perú es en la cubierta de la cobertura del aeropuerto Jorge Chávez y el revestimiento de tubería de planta criogénica en la Planta de Licuefacción de Gas natural Pampa Melchorita en Lima. (Concreto Premezclado UNICON)

En nuestra ciudad, muy poca veces logramos ver al concreto de baja densidad en estructuras de concreto armado, comúnmente lo encontramos en sobrepisos ligeros o en la sobrecargas de los últimos niveles de los edificios cuya aplicación se limita a un uso no estructural, para ello se realizan las mezclas de concreto con perlitas de poliestireno o con piedra pómez.

En la presente investigación se propone el uso de otros materiales presente en nuestra ciudad de Arequipa para la elaboración de concretos ligeros, al realizar nuestros ensayos podemos observar el color típico de concreto que cambia ligeramente al uso de pómez o ceniza, esto lleva a en algunos casos a mejorar el aspecto de la vivienda, pues no todas las viviendas aplican pintura en sus fachadas o muros logran un color diferente al gris de un concreto convencional, ello lo podemos apreciar en la imagen siguiente.

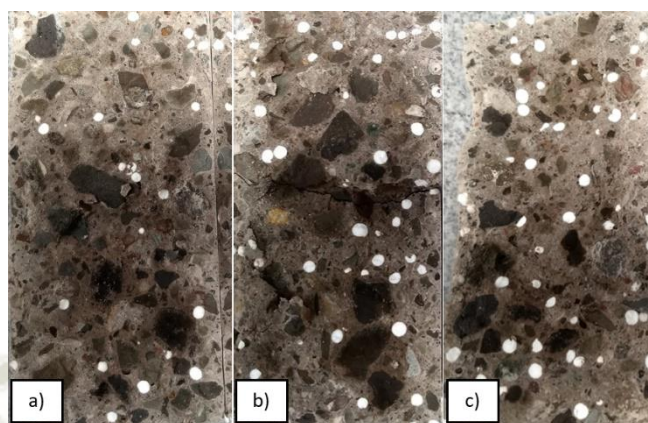
Figura 25 Color característico de concretos con a) Arena ceniza, amarillo b) Arena gruesa, gris c) Arena Pómez, rojizo



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, con sus propiedades mecánicas se buscó diseñar una mezcla de concreto para obtener resistencias de 210 kgf/cm^2 sin aditivos con agregados livianos, para la aplicación en elementos estructurales, vigas y columnas de la ciudad proponiendo un fácil manejo en las zonas donde prima la auto construcción y es difícil el control del aditivo evitando segregación por el abuso de este.

Figura 26 Proporción de la perlita dentro del concreto a)10% b)15% y c) 20%



Fuente: Elaboración propia

4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

Podemos enumerar ventajas del concreto de baja densidad ya mencionadas en la presente investigación debido a sus propiedades tanto en el diseño como el proceso constructivo, por lo que se facilitara en un cuadro:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Disminución de su peso propio, se obtiene menores cargas en cimentación. - Posee propiedades de aislantes térmico y acústico. - Permite el uso en rellenos de pisos de azoteas, cubiertas gracias a su bajo peso. - Facilidad de manejo, colocación y transporte como resultado de su peso reducido. - Disminución de la carga sísmica - Durabilidad al hielo y deshielo debido a su contenido mayor de aire. - Bajo costo debido a la obtención de sus agregados que permiten un ahorro.	- Para llegar a resistencias altas requiere mayores cantidades de cemento o uso de aditivos que permitan reforzar su resistencia a la compresión - La trabajabilidad disminuye a medida que se agregan agregados ligeros. - Mayor contenido de agua debido a la absorción que presentan los agregados

Tabla 87 Ventajas y Desventajas de concreto de baja densidad

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V

5. APLICACIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

5.1. OBJETIVOS

Se busca diseñar una vivienda familiar en albañilería y concreto ligeros en zonas que tengan suelos de baja capacidad portante, la zona de aplicación de la presente investigación se encuentra en la asociación de vivienda pro familia (PROFAM), en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, región de Arequipa; que presenta suelos de baja densidad con una composición de piroclastos y cenizas volcánicas, característica de estos suelos es que tiene una capacidad portante de 0.50 kg/cm^2 , constituidos por tobas volcánicas de color blanco amarillento. (INDECI, 2001).

Figura 27 Zona de aplicación PROFAM



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 27, en este tipo de autoconstrucción, se utiliza dos tipos de agregado fino, lo cual influirá directamente sobre la resistencia de la mezcla.

5.2. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Como se mencionó en los alcances y delimitaciones de la investigación, la capacidad portante del suelo se obtendrá de estudios realizados en la zona de aplicación, el estudio base que usaremos será el de “Mapa de peligros y lineamientos para el plan de usos del suelo de la ciudad de Arequipa”, publicado por INDECI en el año 2001, nos indica que se presenta un suelo de depósitos de piroclásticos, con un color representativo blanco amarillento y con un aspecto liviano que indica que el suelo posee una capacidad portante. Según el artículo “Microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa”, nos indica un valor de capacidad portante de 0.5 kgf/cm^2 , mientras que la investigación titulada “Geología y estratigrafía del cuaternario y zonificación geotécnica-sísmica del área urbana de Arequipa” una capacidad de 1 kgf/cm^2 .

Por lo expuesto se propuso un panorama medianamente desfavorable para la zona por lo que se propuso trabajar con una capacidad portante de 1.00 kgf/cm^2 en la zona.

Del estudio realizado por INDECI se puede extraer los datos para la zona de aplicación “PROFAM”, donde indica las siguientes características:

Características físicas	Superficie	108.5 Has.
	N° de viviendas	4140
Factores de geodinámica interna	Suelos de baja densidad, composición de piroclastos y cenizas volcánicas.	
Factores de geodinámica externa	Escorrentía de aguas pluviales, inundación por desborde de quebradas adyacentes.	
Peligro	PELIGROSO	

Tabla 88 Identificación del sector de PROFAM
Fuente: (INDECI, 2001)

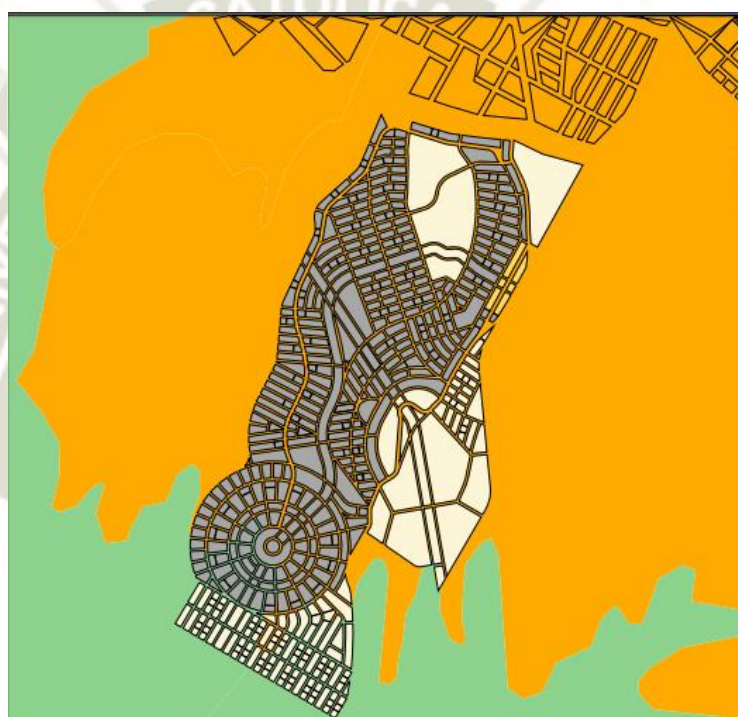
5.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO:

5.3.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Lugar	:	Asociación pro-familia PROFAM
Distrito	:	Yura
Provincia	:	Arequipa
Región	:	Arequipa

5.3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Figura 28 Ubicación geográfica de PROFAM



Fuente: (INDECI, 2001)

5.4. ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN PROFAM

La construcción en la zona de aplicación, PROFAM; es netamente una autoconstrucción apoyada entre los vecinos, como se puede observar en la Figura 29, el trabajo es comunitario. De este vaceado se extrajo especímenes de concreto que fueron sometidos a pruebas de compresión axial a 7, 14 y 28 días.

En la siguiente tabla se detalla algunos datos sobre la vivienda de donde se extrajo los especímenes.

Zona	PROFAM Zona 3
Propietaria	Paulina Cornejo Mamani
Maestro de obra	Juan Ancuneira Zamallana

Tabla 89 Datos de la vivienda
Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Autoconstrucción de PROFAM



Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Elaboración de los especímenes de concreto de la zona de aplicación



Fuente: Elaboración propia

El resultado de los ensayos de compresión realizadas, se detallan a continuación:

Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
PROFAM	7	10.20	10.20	10.00	10.13	20.20	20.30	20.40	20.30	80.65	3471	2120.14	4097	50.80
PROFAM	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.20	20.20	20.13	80.12	3463	2146.86	4303	53.71
PROFAM	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.30	20.40	20.50	20.40	79.59	3504	2158.11	5222	65.61
												2141.70		56.71
PROFAM	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.20	20.20	20.30	20.23	78.54	3514	2211.28	5500	70.03
PROFAM	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.00	20.20	20.10	20.10	80.65	3347	2064.74	5487	68.04
PROFAM	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.30	20.20	20.50	20.33	79.06	3458	2150.98	5478	69.29
												2142.33		69.12
PROFAM	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.20	20.30	20.20	20.23	79.06	3510	2194.11	6574	83.15
PROFAM	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.20	20.10	20.10	80.12	3410	2117.51	6674	83.30
PROFAM	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.30	20.30	20.40	20.33	79.59	3310	2045.31	6498	81.64
												2118.98		82.70

Tabla 90 Resultados de ensayo a compresión de los especímenes extraídos de PROFAM

Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Rotura de la probeta extraída de la zona de aplicación PROFAM



Fuente: Elaboración propia

5.5. ELECCIÓN DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD ESTRUCTURAL

El diseño de mezcla escogido para la aplicación, como se detalló en el punto de concreto de baja densidad para uso estructural será el diseño **16.ESC-ESC-01**, cuyas propiedades y dosificación se detallan en las siguientes tablas:

Diseño	Ag. Fino	Ag. grueso	% de Perlita	RF	a/c	Resistencia a 7 días	Resistencia a 14 días	Resistencia a 28 días	Densidad Kg/m ³
16.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.5	196.50 kgf/cm ²	234.68 kgf/cm ²	267.03 kgf/cm ²	1718.50

Tabla 91 Propiedades del diseño de mezcla escogido para la aplicación estructural
Fuente: Elaboración propia

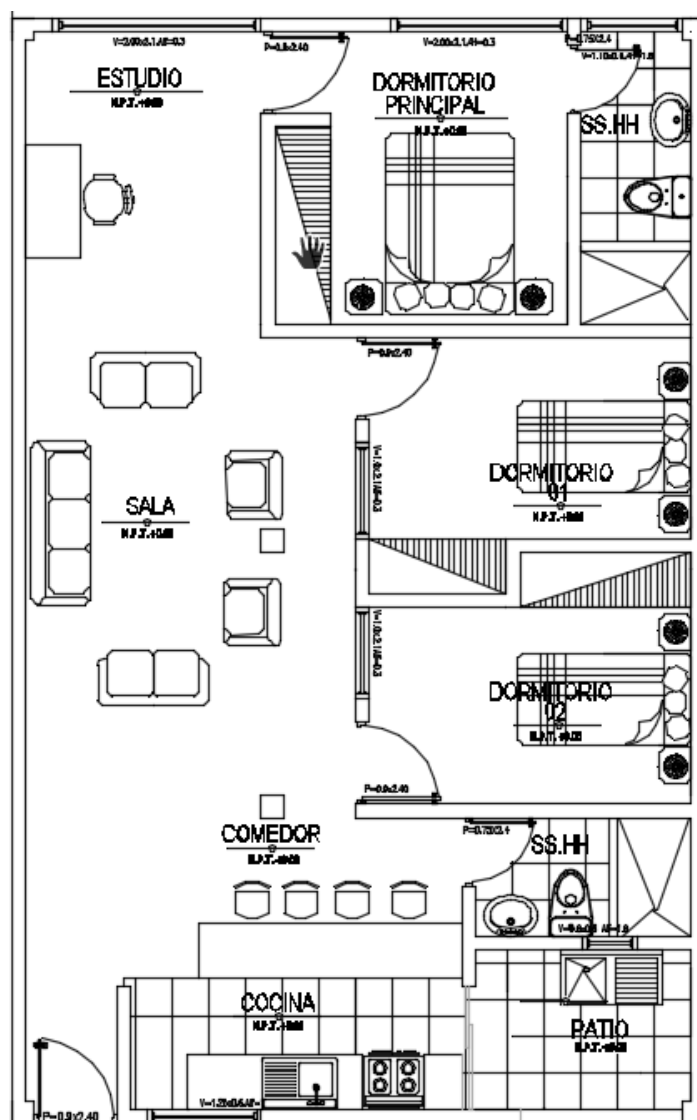
Componentes del concreto		Peso por m ³	Peso por bolsa de cemento
Cemento	Yura IP	500 kg	42.5 kg
Ag. Fino	Escoria volcánica	801 kg	68.1 kg
Ag. Grueso	Escoria volcánica	484 kg	41.2 kg
Agua		351 kg	30.0 kg

Tabla 92 Dosificación del diseño de mezcla escogido para la aplicación estructural
Fuente: Elaboración propia

5.6. APLICACIÓN A UNA EDIFICACIÓN

Presentamos el diseño de una vivienda multifamiliar con una fachada de 7.56 m, donde se propone una vivienda multifamiliar de 03 Niveles con plantas típicas que consisten de la siguiente distribución: 01 dormitorio principal, 02 Dormitorios pequeños, 01 sala, 01comedor, 01 estudio, 01 cocina y 01 baño, la cual se puede observar en la siguiente imagen del plano arquitectónico, este se encuentra en el anexo donde se podrá apreciar con mayor detalle.

Figura 32 Plano Arquitectónico vivienda multifamiliar



Fuente: Elaboración propia

5.6.1. CRITERIOS DE DISEÑO

5.6.1.1. NORMATIVA

Se tomó un pre-dimensionamiento de los muros para el análisis de la vivienda, donde según el análisis estructural se va afinando para que cumpla con todas las condiciones necesarias indicadas en la norma, para ello se hizo uso de dos normativas peruanas:

- Norma Técnica E070 titulada “Albañilería”
- Norma Técnica E030 titulada “Diseño Sismorresistente”
- Norma Técnica E060 titulada “Concreto Armado”

5.6.1.2. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO

- Aspectos generales del diseño

$$U = 1.4CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25CM + 1.25CV \pm CS_x$$

$$U = 1.25CM + 1.25CV \pm CS_y$$

$$U = 0.9CM \pm CS_x$$

$$U = 0.9CM \pm CS_y$$

Dónde:

- CM (ton): Carga Muerta
- CV(ton): Carga Viva
- CS_x(ton): Carga proveniente del sismo paralela al eje X
- CS_y(ton): Carga proveniente del sismo paralela al eje Y
- Factores de reducción de resistencia**

De la Norma E.060 de Concreto Armado se tomarán los siguientes factores de resistencia:

FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA – NORMA PERUANA	
SOLICITACIÓN	FACTOR DE REDUCCIÓN
Flexión	0.90
Tracción y Tracción + Flexión	0.90
Cortante	0.85
Torsión	0.85
Cortante y Torsión	0.85
Compresión y flexo-compresión:	
Elementos con Espirales	0.75
Elementos con Estribos	0.70
Aplastamiento en el concreto	0.70
Concreto simple	0.65

Tabla 93 Factores de reducción de resistencia

Fuente: Norma E. 060 de Concreto Armado

5.6.1.3. CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN: GENERALIDADES

Las estructuras brindarán:

- Simplicidad.
- Simetría.
- Uniformidad.
- Resistencia y rigidez bidireccional.
- Resistencia y rigidez torsional.
- Comportamiento de diafragma en cada nivel.
- Una cimentación adecuada.

5.6.1.4. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO ESTRUCTURAL

El procedimiento empleado para el diseño estructural de la vivienda Multifamiliar radica en cuatro pasos principales:

- **Modelaje estructural:** Definición de ejes estructurales, distribución de elementos verticales (columnas y placas), distribución de vigas y losas, definición del estado de cargas (CM, CV, CS y ES).
- **Análisis estructural por computadora:** Emplear programas comerciales para el análisis estructural.
- **Interpretación de resultados con fines de diseño:** Aplicar conceptos de análisis y diseño estructural.
- **Diseño estructural:** Realizado en base a las normas E-060 de Concreto Armado y E-030 de Diseño Sismorresistente, traducidos finalmente en planos de estructuras desarrollados en CAD.

5.6.1.5. MATERIALES

CONCRETO

El concreto considerado tiene como características:

- Resistencia a la compresión:

$$f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad: (Concreto Ligero)

$$E = 15100 * \sqrt{f'c} * 0.85 = 15100\sqrt{210} * 0.85$$

$$E = 184765 \text{ kgf/cm}^2$$

- Módulo de Poisson (μ):

$$\mu = 0.15$$

- Módulo de Corte (G):

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \mu)}$$

$$G = 80332.63 \text{ kgf/cm}^2$$

- Peso específico:

$$\gamma = 1900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

ACERO

El acero considerado es de Grado 60.

- Esfuerzo a la fluencia:

$$fy = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad:

$$E = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$$

- Peso específico:

$$\gamma = 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

ALBAÑILERÍA

Ladrillo King Kong Tipo IV Mecanizado

- Dimensiones:

$$24 * 14 * 9\text{cm}$$

- $f'm$:

$$65 \text{ kg/cm}^2$$

- Junta:

$$1.5 \text{ cm}$$

- Peso específico:

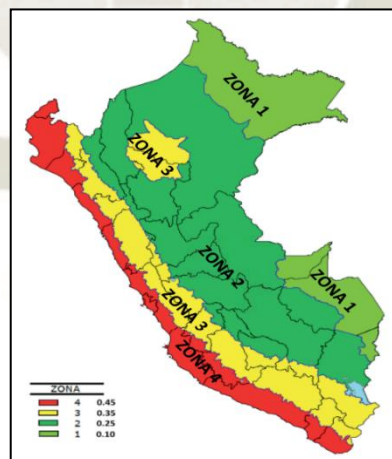
$$\gamma = 1900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

5.6.2. ANÁLISIS SÍSMICO

ZONA

La ubicación de la vivienda multifamiliar se encuentra ubicada en la asociación Pro Familia (PROFAM) manzana “F” lote 2, en el distritito de Yura, en ciudad de Arequipa, departamento Arequipa por lo que de acuerdo con la norma E-060 – DSR aprobado por decreto supremo N°011-2006 y modificada con decreto supremo N°002-2014-Vivienda se encuentra ubicado en la zona 03 del mapa sísmico:

Figura 33 Mapa de zonificación sísmica



Fuente: Norma E. 030 de “Diseño Sismorresistente”

Por lo que, para el presente proyecto, le corresponde el factor de zona:

$$Z = 0.35g$$

Valor que es interpretado como la aceleración máxima horizontal del suelo rígido con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años.

CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN Y FACTOR DE USO

La edificación es una vivienda multifamiliar por lo que se considera que es una edificación común, a la que le corresponde un factor de uso de:

$$U = 1.00$$

CATEGORÍA Y SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural utilizado para la Vivienda Multifamiliar es de Albañilería Confinada.

SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA R

Los edificios se conforman estructuralmente con muros de albañilería confinada por lo que el coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica es:

$$R_0 = 3.00$$

$$I_a = 1.00$$

$$I_p = 1.00$$

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

$$R = 3.00 \times 1.00 \times 1.00$$

$$R = 3.00$$

PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN

$$T = \frac{h_n}{60}$$

Formula 27 Periodo Fundamental de vibración

Expresión válida para edificios constituidos por muros de albañilería.

$$h_n = 7.80m$$

$$T = \frac{7.80}{60} = 0.13 \text{ segundos}$$

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA C

Al ser el período de la estructura $T = 0.13$ segundos, menor que el período del suelo $T_p = 0.6$ segundos, el factor de amplificación sísmica es:

$$C = 2.50$$

COEFICIENTE SÍSMICO

$$C_s = \frac{ZUSC}{R}$$

Formula 28 Coeficiente Sísmica

$$C_s = \frac{(0.35)(1.0)(1.15)(2.5)}{3.00} = 0.335$$

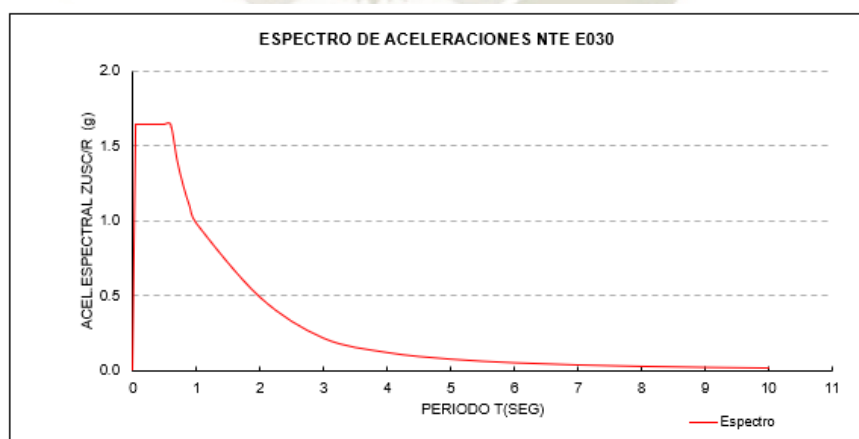
FUERZA BASAL

$$V = C_s * P$$

$$V = 0.335P$$

ESPECTRO DE DISEÑO

Figura 34 Espectro de Diseño Dirección X y Y



Fuente: Norma E. 030 de "Diseño Sismorresistente"

Figura 35 Tabla de valores que conforman el Espectro de Diseño

T	C	ZUSC	ZUSC/R	Sa
0	0.000	0.000	0.0000	0.000
0.05	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.06	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.07	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.08	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.09	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.1	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.2	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.3	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.4	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.5	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.6	2.500	1.006	0.1677	1.645
0.7	2.143	0.863	0.1438	1.410
0.8	1.875	0.755	0.1258	1.234
0.9	1.667	0.671	0.1118	1.097
1	1.500	0.604	0.1006	0.987
2	0.750	0.302	0.0503	0.494
3	0.333	0.134	0.0224	0.219
4	0.188	0.075	0.0126	0.123
5	0.120	0.048	0.0081	0.079
6	0.083	0.034	0.0056	0.055
7	0.061	0.025	0.0041	0.040
8	0.047	0.019	0.0031	0.031
9	0.037	0.015	0.0025	0.024
10	0.030	0.012	0.0020	0.020

Fuente: Norma E. 030 de "Diseño Sismorresistente"

Tal como lo establece la Norma E-030; se verifica que el cortante en la base de la estructura sea como mínimo el 80% del cortante que se obtendría en el análisis estático. Si no es el caso, se amplifica la carga sísmica proporcionalmente a esta relación.

Para este caso los desplazamientos del último nivel y los desplazamientos relativos, se verán gráficos en el anexo de la presente investigación, (Drifts) de entrepiso en el sentido X y en el sentido Y son:

$$\text{Drift X} = 0.001$$

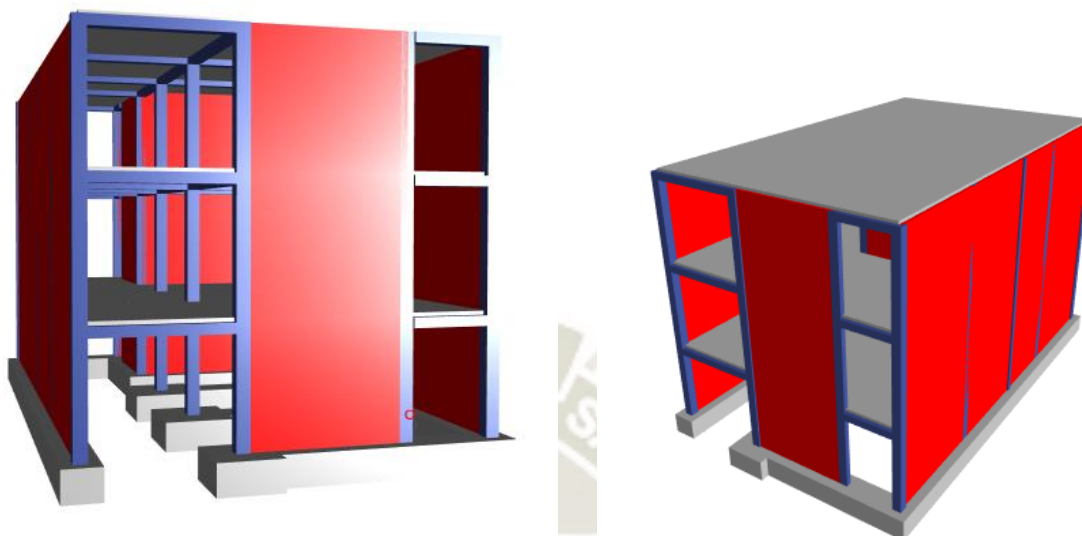
$$\text{Drift Y} = 0.001$$

Estos valores cumplen con el límite de la norma que para Estructuras de Albañilería confinada permiten un máximo de 0.005.

5.6.2.1. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

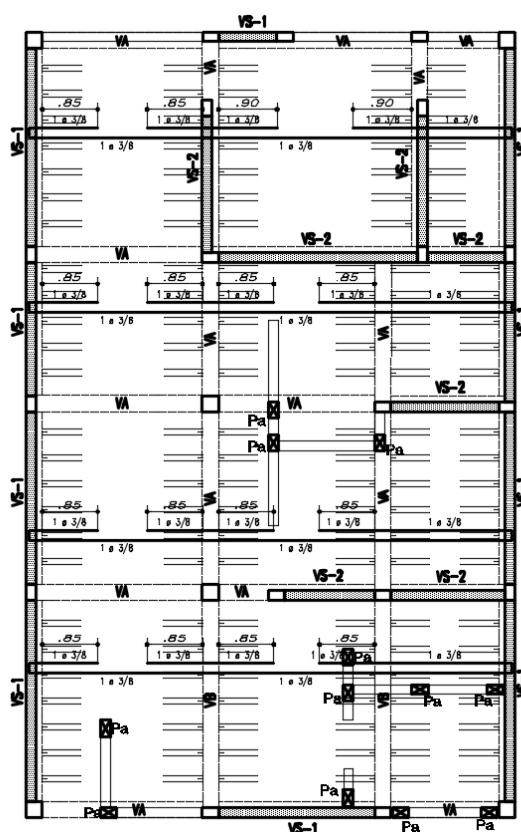
MODELO ESTRUCTURAL

Figura 36 Modelo Estructural 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Esquema de estructuración en planta típica



Fuente: Elaboración propia

CARGAS

Las cargas por asignar a la estructura de acuerdo con la Norma Técnica peruana E-020 vigente son:

- Carga Muerta (CM)
- Carga Viva (CV)
- Carga de Sismo en ambas direcciones (CSX y CSY)

Carga Muerta (CM):

Para el metrado de las cargas muertas, se considera el peso real de los materiales que lo conforma y de los que deberá soportar la edificación, calculados en base al peso unitario de cada material.

Carga Viva o Sobrecarga (CV):

La carga viva está conformada por todas aquellas cargas que son aleatorias en la estructura. Incluye la carga producida por la ocupación del edificio, mobiliario, entre otros, de acuerdo con la norma E.020 “Cargas” será 0.20 ton/m^2 , por ser una vivienda y en la azotea de 0.10 ton/m^2

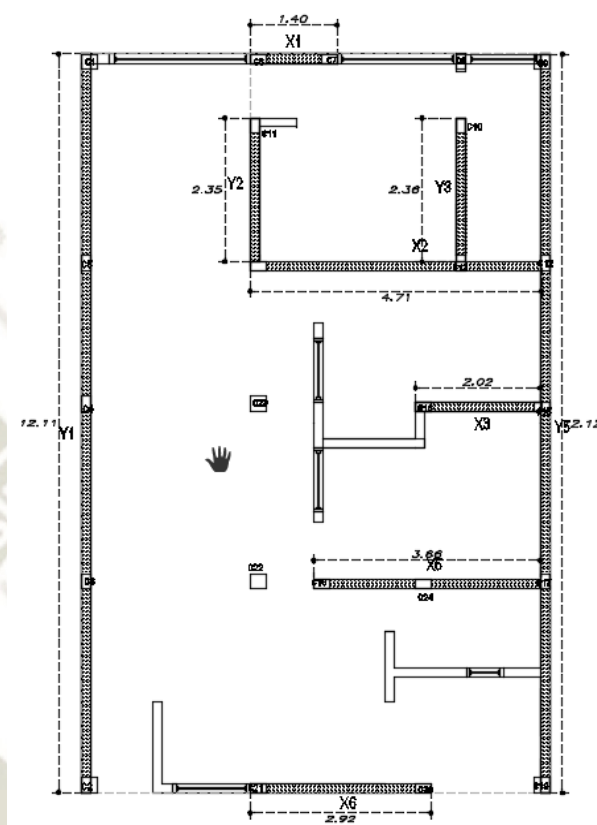
5.6.3. DISEÑO DE ALBAÑILERÍA

Para el diseño es necesario primero determinar cuáles serán nuestro muros portantes, es decir aquellos muros continuos a lo largo de todos los niveles de la vivienda diseñada y así estos pueda transmitir las fuerzas o cargas a la cimentación, es por ello que se buscar verificamos su aporte al suelo con el cambio de concreto ligero en la estructura.

Al ser una vivienda con una planta típica en los tres niveles diseñados, definir los muros portantes continuos y que su medida no sea menor a 1.20 m de longitud para poderlos considerara, hallando así en la dirección X la cantidad de 5 muros

y en la dirección Y un total de 4 muros como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 38 Plano de Ubicación de muros portantes de la planta típica



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el ancho mínimo de los muros dividimos la altura que tendrán entre 20, el valor resultante tiene que ser menor al espesor efectivo de ellos, efectuando esta división se obtiene así 0.12 m, colocando un espesor de 0.14 m cumpliendo que sea mayor a 0.12.

La ecuación empleada $\frac{h}{20} < t$ Dando como resultado $\frac{2.4m}{20} = 0.12m < 0.14m$ o 0.24m, dimensiones del espesor efectivo de sogá y cabeza de las unidades de albañilería respectivamente.

A continuación según la norma calculamos la densidad de muros para ello se utiliza los datos mencionados de la vivienda como el lugar donde se construirá, es decir el distrito de Yura, ello nos permite determinar factor $Z=0.35$, el uso de esta nos brinda el factor $U=1$, el tipo de suelo, da el factor $S=1.15$, donde la norma E 0.30 indica suelos de capacidad portante de $0.5kg/cm^2$ a $1kg/cm^2$ estando dentro de este tipo el suelo de PROFAM, y el número de pisos que se desarrollara en la

vivienda N=3 pisos (NORMA E.030, 2017), logrando así verificar la densidad de muros que cumpla.

$$\frac{\text{Area de Corte de los muros reforzados}}{\text{Area de la planta típica}} = \sum \frac{L_t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Formula 29 Verificación de las dimensiones del muro

Donde

- L_t (m)= Longitud y espesor del muro
- Z= Factor de zona
- U = Factor de uso
- S = Factor de suelo
- N = Número de pisos
- A_p = Área del terreno construido

Para este cálculo se necesita las dimensiones de los muros tanto en la dirección y en la dirección x de lo cual encontramos dos valores que se comparan, ello se presenta en los siguientes cuadros.

El área de la planta típica es 91.65 m²

ZONA	Z	0.350
USO	U	1.000
SUELO	S	1.150
NUMERO DE PISOS	N	3.000
Z.U.S.N.		56.000

COEFICIENTE	0.0216
-------------	--------

Tabla 94 Cálculos para determinar la densidad de los muros

Fuente: Elaboración propia

NOMENCLATURA	LONGITUD l (m)	ESPESOR t (m)	LT (m ²)
X1	1.400	0.140	0.196
X2	4.710	0.140	0.659
X3	2.020	0.140	0.283
X5	3.660	0.140	0.512
X6	2.920	0.140	0.409
X-X	SUMATORIA de LT		2.059
	LT/Ap		0.0225

Tabla 95 Características de los muros en dirección X

Fuente: Elaboración propia

NOMENCLATURA	LONGITUD l (m)	ESPESOR t (m)	LT (m ²)
Y1	12.10	0.140	1.694
Y2	2.26	0.140	0.316
Y3	2.26	0.140	0.316
Y5	12.10	0.140	1.694
	SUMATORIA de LT		4.021
Y-Y	LT/Ap		0.0439

Tabla 96 Características de los muros en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

Dando como resultado los siguientes valores y al comparar con el valor entregado por la norma resulta que cumple con la condición como se puede apreciar en lo siguiente.

X-X	0.0225	>=	0.0216
Y-Y	0.0439	>=	0.0216

Tabla 97 Verificación de la Densidad de Muros en direcciones X-X - Y-Y

Fuente: Propia

Otra verificación que se tiene que se realiza es el análisis por carga de gravedad o aplastamiento para ello definimos algunas especificaciones del diseño.

Sobrecarga:	0.2 ton/m ²
Sobrecarga Azotea:	0.1 ton/m ²
Aligerado Unireccional e = 0.2	0.2 ton/m ²
Acabados:	0.1 ton/m ²
Viga Solera :	0.25 m
Peso Específico del Concreto:	1.9 ton/m ²
Peso Específico del Muro:	1.9 ton/m ²
f'm	650 ton/m ²

Tabla 98 Propiedades de la Vivienda Diseñada
Fuente: Propia

Para ello se debe verificar el cumplimiento de la siguiente formula presente en la Norma E070. Donde los muros cumplen con la siguiente formula que en el cuadro indica “OK”

$$\sigma = \frac{P_m}{L t} \leq 0.2 f'_m \left[1 - \frac{h^2}{35} \right] \leq 0.15 f'_m$$

Formula 30 Ecuación de aplastamiento de muros

Donde

- σ (ton/m²)= Esfuerzo
- P_m (ton) = Carga de servicio
- L, t (m) = Longitud y espesor de muro
- f'_m = resistencia a compresión de ladrillo
- h = Altura del muro

Muro	P_m (ton)	$\sigma_m = \frac{P_m}{L t}$ (ton/m ²)	$0.2 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right]$ (ton/m ²)	$0.15 f'_m$ (ton/m ²)	
X1	9.34	28.45	98.81	97.50	¡Ok!
X2	46.18	28.45	98.81	97.50	¡Ok!
X3	20.58	28.45	98.81	97.50	¡Ok!
X5	46.67	28.45	98.81	97.50	¡Ok!
X6	14.39	28.45	98.81	97.50	¡Ok!

Tabla 99 Análisis de aplastamiento de los muros en dirección X

Fuente: Elaboración Propia

Muro	Pm (ton)	$\sigma_m = \frac{P_m}{L t}$ (ton/m ²)	$0,2 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right]$ (ton/m ²)	$0,15 f'_m$ (ton/m ²)	
Y1	69.97	40.09	98.81	97.50	¡Ok!
Y2	16.21	81.22	98.81	97.50	¡Ok!
Y3	18.99	66.88	98.81	97.50	¡Ok!
Y5	50.68	36.65	98.81	97.50	¡Ok!

Tabla 100 Análisis de aplastamiento de los muros en dirección Y

Fuente: Elaboración Propia

Verificamos que todos los muros cumplen la verificación por aplastamiento, para continuar con el diseño se halla el centro de masas y centro de rigideces, para determinarlos en necesario realizar el Metrado y la determinación del centro de rigideces mediante la rigidez hallada de cada muro, se ubicara en los anexos, logrando determinar los siguientes resultados.

CM=	3.94	m	XCM	PESO
	6.12	m	YCM	57.08 ton

Tabla 101 Centro de masas de la planta típica

Fuente: Elaboración Propia

CR=	3.737	m	XCM	PESO
	6.153	m	YCM	57.08 ton

Tabla 102 Centro de rigideces de la planta típica

Fuente: Elaboración Propia

Donde

- CR = Centro de Rigideces
- CM = Centro de masas
- PESO = Peso de la edificación solo carga muerta en toneladas.

Peso de la edificación

PISO	PESO	UND
P1	61.662	ton
P2	61.662	ton
P3	61.625	ton
TOTAL	184.950	ton
PESO POR M2	0.7	ton/m ²

Tabla 103 Calculo de peso por cada nivel y m² de área techada

Fuente: Elaboración Propia

Tenemos un peso de la vivienda de 184.95 toneladas por cada planta típica, que al dividir entre el área nos da 0.7 ton/m² este valor es importante porque una vivienda realizada con concreto normal pesa aproximadamente entre 1 a 1.1 ton/m², con ello podemos ver una disminución por cada metro cuadrado.

Después calculamos las fuerzas cortantes según sean los sismos, en cada uno de los pisos ayudados por los factores de la Norma E 0.30 ya determinados mencionados para verificar las densidades de los muros, tenemos dos tipos de fuerzas debido a dos tipos de sismo uno SEVEREO, donde el valor de reducción $R = 3$, y un sismo MODERADO, donde el factor es $R = 6$, para ello utilizamos el siguiente análisis.

Peso para cada Nivel

PISO	PESO	UND
P1	61.66	ton
P2	61.66	ton
P3	61.66	ton
TOTAL	184.95	ton

Tabla 104 Cálculo de peso por cada piso CD+ 0.25 CL

Fuente: Elaboración Propia

- SISMO MODERADO

Cortante Basal	
Z	0.35
U	1.00
S	1.15
C	8.257
C<=2.5	2.500
R	6.000

Utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZUCS}{R}P$$

Tabla 105 Cortante basal para un sismo moderado

Fuente: Elaboración Propia

V	30.831 ton
----------	-------------------

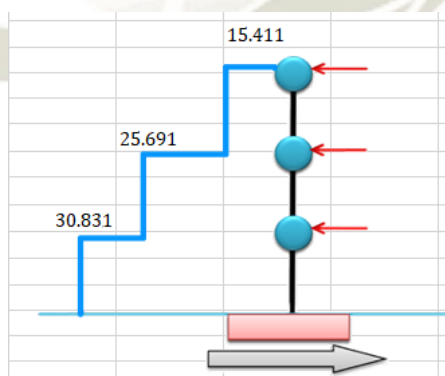
Fuerza Cortante

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pixhi	a	Fi (ton)	V(ton)
1	61.662	2.4	147.101	0.1667	5.171	31.018
2	61.662	4.8	294.202	0.3334	10.342	25.847
3	61.625	7.2	441.037	0.4998	15.504	15.504
SUMATORIA			887.67	1		

Tabla 106 Cálculo de las fuerzas cortantes por sismo moderado

Fuente: Elaboración Propia

Figura 39 Representación gráfica de la distribución de la fuerza cortante de sismo moderado en los pisos de la vivienda



Fuente: Elaboración Propia

- SISMO SEVERO

Tabla 107 Cálculo de las fuerzas cortantes por sismo severo

Cortante Basal	
Z	0.35
U	1.00
S	1.15
C	7.965
C<=2.5	2.500
R	3.000

Utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$

Tabla 108 Cortante basal para un sismo severo

Fuente: Elaboración Propia

V	61.66 ton
----------	------------------

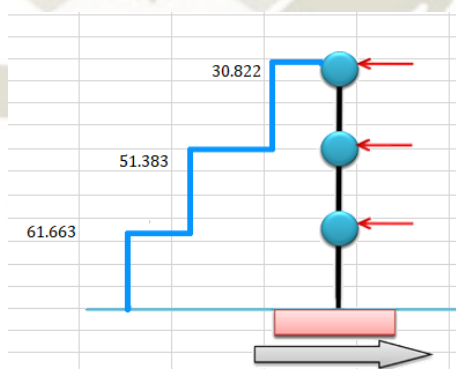
Fuerza Cortante

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pixhi	a	Fi (ton)	V(ton)
1	61.662	2.4	147.990	0.166716685	10.342	62.035
2	61.662	4.8	295.979	0.33343337	20.685	51.693
3	61.625	7.2	443.703	0.499849945	31.008	31.008
SUMATORIA			887.672	1		

Tabla 109 Fuerza cortante para un sismo severo

Fuente: Elaboración Propia

Figura 40 Representación gráfica de la distribución de la fuerza cortante de sismo severo en los pisos de la vivienda

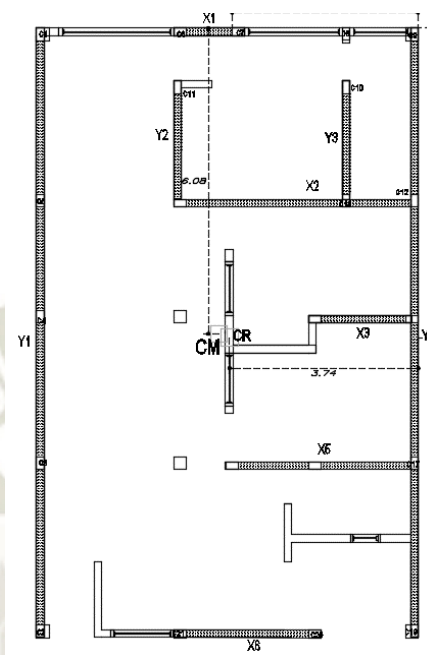


Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se distribuirá las fuerzas para cada piso según la rigidez de cada muro, es decir se dará un porcentaje de la fuerza cortante total. La distribución por piso según sus rigideces la ubicaremos en el anexo de diseño.

Para determinar nuestra fuerza de diseño es importante encontrar nuestra fuerza por torsión ello gracias a que el centro de masas y rigideces no coinciden en lugar se genera un momento, en el grafico se observa la ubicación de los mencionados.

Figura 41 Ubicación del Centro de masas CM y Centro de rigideces CR



Fuente: Elaboración Propia

Como se indicó presentaremos una tabla en donde encontramos los valores de excentricidades, es decir la diferencia de ubicación entre el centro de masas y centro de rigideces, la fuerzas actuantes en el centro de masas y tienen un momento en el centro de rigideces, la excentricidad se calcula con la suma de la excéntrica calculada, afectada por 1.5, es la resta entre la posición del centro de rigideces y el centro de masas y la excentricidad accidental es el 0.05 del ancho o fachada de la vivienda.

$$e = eac + 1.5 ecal$$

Formula 31 Cálculo de la excentricidad

Donde

- e, eac, ecal (m)= Excentricidad total, accidental y calculada

	V	MT1X	MT2X	MT1Y	MT2Y	EX1	EX2	EY1	EY2
		ton.m	ton.m	ton.m	ton.m	m	m	m	m
1PISO	31.02	2.20	-21.07	20.35	-17.25	0.07	-0.68	0.66	-0.56
2PISO	25.85	1.83	-17.55	16.96	-14.37	0.07	-0.68	0.66	-0.56
3PISO	15.50	1.10	-10.53	10.17	-8.62	0.07	-0.68	0.66	-0.56

Tabla 110 Cuadro de excentricidades y Momentos

Fuente: Elaboración Propia

Hallamos la cortante de diseño gracias a la adición de la cortante por torsión, donde sacamos el momento de diseño esta operación se realiza por cada piso al igual que todos los procesos anteriores.

ELEMENTO	VD (tn)	VT(ton)	Vdiseño (ton)	Mdiseño (ton.m)
M1x	1.13	0.04	1.18	6.60
M2x	13.94	0.25	14.19	79.45
M3x	2.79	0.01	2.80	15.68
M5x	9.27	0.15	9.42	52.75
M6x	3.88	0.15	4.03	22.56
M1Y	14.38	0.07	14.45	80.94
M2Y	1.13	0.22	1.35	7.56
M3Y	1.13	0.22	1.35	7.56
M5Y	14.38	0.08	14.45	80.49

Tabla 111 Cortante y momento de diseño del primer piso

Fuente: Elaboración Propia

ELEMENTO	VD (tn)	VT(ton)	Vdiseño (tn)	Mdiseño (tn.m)
M1x	0.95	0.04	0.97	3.77
M2x	11.62	0.21	11.73	45.40
M3x	2.33	0.01	2.32	8.96
M5x	7.72	0.13	7.79	30.14
M6x	3.23	0.12	3.32	12.89
M1Y	11.98	0.06	11.98	46.25
M2Y	0.94	0.18	1.13	4.32
M3Y	0.94	0.18	1.13	4.32
M5Y	11.98	0.06	12.04	46.25

Tabla 112 Cortante y momento de diseño del segundo piso

Fuente: Elaboración Propia

ELEMENTO	VD (tn)	VT(tn)	Vdiseño (tn)	Mdiseño (tn.m)
M1x	0.57	0.02	0.59	1.41
M2x	6.97	0.12	7.09	17.02
M3x	1.40	0.00	1.40	3.36
M5x	4.63	0.08	4.71	11.30
M6x	1.94	0.07	2.01	4.83
M1Y	7.19	0.04	7.22	17.34
M2Y	0.56	0.11	0.67	1.62
M3Y	0.56	0.11	0.67	1.62
M5Y	7.19	0.04	7.22	17.34

Tabla 113 Cortante y momento de diseño del tercer piso

Fuente: Elaboración Propia

Al tener los momentos y cortantes de diseño se hace una verificación de fisuración para evitar que los muros de albañilería portante se fisuren ante la acción de un sismo moderado, para el cálculo se comprueba con la siguiente condición, según la Norma E 0.70 de Albañilería donde encontramos las siguientes formulas.

$$V_e \leq 0.55 V_m$$

Formula 32 Comprobación de cortante

$$\text{Donde } V_m = 0.5 V'_m \alpha t l + 0.23 P_g$$

Formula 33 Cortante calculada

Donde

- V_e (ton) = Fuerza de cortante elástica
- V_m (ton) = Fuerza asociada al agrietamiento
- V'_m (ton) = Cortante del ladrillo
- L, t (m) = Longitud y espesor del muro
- P_g = Carga del muro afectada por combinación CD+0.25 CV
- α = Coeficiente de reducción

Esta comprobación se encuentra en el anexo donde se indica que todos los muros se encuentran cumpliendo con esta propiedad.

Otra verificación a realizar es por resistencia a corte del edificio, esto es con objetivo que la estructura no falle por un sismo severo, por lo que aplicamos la siguiente ecuación donde está la sumatoria del cortante por agrietamiento de todos los muros portantes “ V_{mi} ” y la fuerza cortante del sismo severo “ V_{ei} ”, ello está

desarrollado en las tablas ubicada en el anexo cumpliendo también con esta verificación, es decir la sumatoria de las fuerzas cortantes asociadas con el agrietamiento de cada portante es mayor a la fuerza cortante de entrepiso por sismo severo.

$$\sum V_{mi} \geq V_{ei}$$

Formula 34 Verificación de cortante

Donde

- V_{ei} (ton) = Fuerza de cortante elástica de cada piso
- V_{mi} (ton) = Sumatorias de cortante de agrietamiento de los muros

Otra verificación es por agrietamiento diagonal según la cortante elástica y el momento estático obtenidos del sismo moderado, para ello calculamos según la siguiente formula la cortante y el momento ultimo de cada muro.

$$V_{ui} = V_{ei} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{ei}}$$

Formula 35 Calculo de cortante ultimo

$$M_{ui} = V_{ei} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{ei}}$$

Formula 36 Cálculo de momento último

$$2 \leq \frac{V_{mi}}{V_{ei}} \leq 3$$

Formula 37 Verificación de la relación de fuerza elástica y cortante

Donde

- V_{ei} (ton) = Fuerza de cortante elástica de cada piso
- V_{mi} (ton) = Fuerza asociada al agrietamiento
- V_u (ton) = Fuerza ultima de diseño

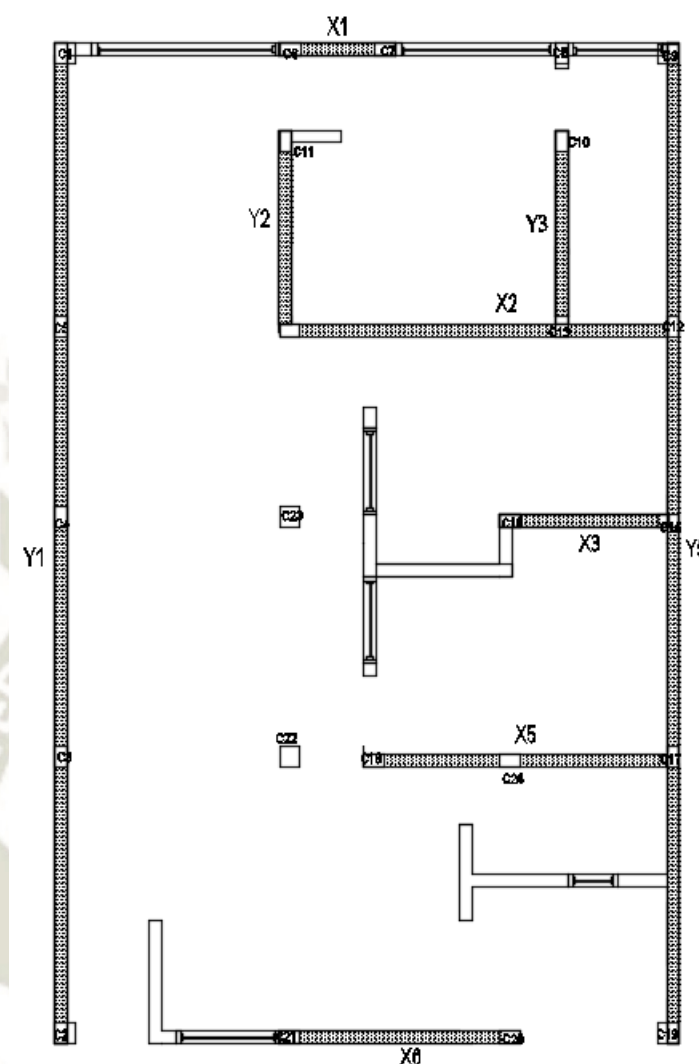
- M_u (ton.m) = Momento ultimo de diseño

En la tercera ecuación la fuerza elástica y cortante son del primer nivel, si sale menor que 2 se toma el valor de 2 y si sale mayor que 3 se toma este valor.

Si es que un muro no llegara a cumplir es necesario un refuerzo horizontal, suelen necesitar este refuerzo horizontal, algunos muros del primer nivel. Otra verificación importante es la de desplazamientos y según la norma por ser albañilería este desplazamiento no debe superar 0.005, lo cual en el anexo se encuentra la verificación que cumple con lo indicado.

Ya teniendo todas estas verificaciones cumplidas podemos proceder al diseño de las columnas de confinamiento y soleras. Para diseñar los elementos de confinamiento es decir el acero de las columnas, se tiene que tener en claro dos conceptos N_c , que es el número de columnas internas y externas, ya que los muros portantes por su longitud pueden tener más de dos columnas, en nuestro caso más claro son los muros Y5 y Y6, en el sentido de x los muros X5 y X2, se toma para el diseño la longitud mayor de los tramos divididos por las columnas de confinamiento.

Figura 42 Distribución de las columnas de la vivienda multifamiliar



Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño es necesario considerar las fórmulas en la Norma Peruana E 0.70 de “Albañilería” donde nos indica paso a paso para el cálculo de las diferentes variables mencionadas en la presente investigación tomando como importante el cálculo de la fuerza de tracción “T”, compresión “C” y cortante en la columna lo que nos permitirá determinar las áreas de acero necesarias para su refuerzo, así como el área del núcleo de concreto que permitirá determinar el mínimo de la dimensión de la columna de confinamiento, para ello describimos la tabla extraída de la norma E 0.70

Columna	V _c (Fuerza Cortante)	T (tracción)	C (compresión)
Interior	$\frac{V_{m1}l_{m1}}{L(N_c + 1)}$	$V_{m1} \frac{h}{L} - P_c$	$P_c - \frac{V_{m1}h}{2L}$
Exterior	$1.5 \frac{V_{m1}l_{m1}}{L(N_c + 1)}$	$\frac{M}{L} - P_c$	$\frac{M}{L} + P_c$

Tabla 114 Fuerzas Internas en columnas de confinamiento

Fuente: COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA INFORME FINAL
(Capítulos 1 a 10) (2005)

Donde

- V_{mi} (ton) = Fuerza de agrietamiento
- h, L y l_m (m) = altura y longitud del muro
- M (ton.m) = Momento generado por el momento de diseño menos la mitad de fuerza de agrietamiento por la altura
- P_c (ton) = es la sumatoria de carga gravitatorias
- N_c = Números de columnas en el muro

Para ello se elaboró un cuadro resumen del cálculo de las variables para el diseño de las columnas y as vigas soleras que se muestra a continuación donde indica el acero vertical y el refuerzo que se tienen que colocar a cada una, también indica los chequeos correspondientes, por ejemplo, en la columna donde indica “OK” es el chequeo por A_n o área del núcleo de la columna, también debe asegurarse colocarse el acero mínimo 1 cm² o 4 aceros de 8mm, todo ello en el anexo, a continuación presentaremos los resultados obtenidos, en fuerzas y acero.

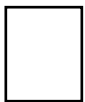
ELEMENTO	UNIDADES	M1X	M2X		M3X	M5X	M6X
UBICACIÓN		EXTERNA	EXTERNA	INTERNA	EXTERNA	EXTERNA	EXTERNA
Tracción	ton	4.113	7.494	6.860	7.162	11.746	8.328
COMPRESION	ton	8.015	19.523	-3.197	12.794	18.548	16.468
Vc cortante columna	ton	2.764	7.573	5.049	5.819	4.331	6.012
REFUERZO VERTICAL							
Asf	cm ²	0.77	2.12	1.41	1.63	1.21	1.68
Ast	cm ²	1.07	1.98	1.81	1.88	3.11	2.17
As	cm ²	1.86	4.10	3.23	3.51	4.20	3.85
As a usar	cm ²	2.84	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
As/Ø		4.000	1.817	4.000	4.000	2.580	5.000
As a usar		4Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"
Asmin	cm ²	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
VERIFICAR	As > 0.1f'cAs/fy	OK	OK	OK	OK	OK	OK
COMPRESION							
DIMENSIONES	cm	15	15	15	15	15	15
	cm	25	25	25	25	25	25
An(Au)	cm ²	26.84	63.79	-98.33	27.68	62.80	53.99
Ac	cm ²	375	375	375	375	375	375
An usada	cm ²	231	231	231	231	231	231
VERIFICAR	Ac > 15t	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CONFINAMIENTO							
Av	cm ²	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4
S- @		1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm
SOLERAS							
Ts	ton	2.764	10.098		5.819	5.775	6.012
As	cm ²	0.73	2.67		1.54	1.53	1.59
DIMENSIONES	cm	25	25		25	25	25
	cm	20	20		20	20	20
As usar	cm ²	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"		4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"
ESTRIBOS MINIMOS		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm

Tabla 115 Diseño de Muros en dirección X

Fuente: Elaboración Propia

	UNIDAD	M5Y				M2Y	M3Y	M1Y	
UBICACIÓN		EXTERNA	INTERNA	INTERNA	INTERNA	EXTERNA	EXTERNA	EXTERNA	INTERNA
T	ton	0.301	-0.388	5.794	4.651	-3.522	-2.253	-0.352	6.697
C	ton	16.900	0.549	0.549	0.549	12.120	10.851	17.554	1.128
Vc	ton	9.769	6.513	6.513	6.513	7.832	7.540	9.863	6.575
REFUERZO VERTICAL									
Asf	cm ²	2.74	1.82	1.82	1.82	2.19	2.11	2.76	1.84
Ast	cm ²	0.07	-0.10	1.53	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00
As	cm ²	2.80	1.72	3.36	3.05	2.19	2.11	2.76	1.84
As a usar		4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	6 Ø 3/8"	6 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"
Asmin	cm ²	2.205	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	2.205	1.875
VERIFICAR	As > 0.1f'cAs/fy	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
COMPRESION									
DIMENSIONES	cm	25	15	15	15	15	15	25	15
	cm	25	25	25	25	25	25	25	25
An(Au)		87.90	59.59	75.59	75.59	40.91	28.22	94.44	69.41
An usada	cm ²	441	231	231	231	231	231	441	231
CONFINAMIENTO									
Av	cm ²	Ø 1/4	Ø1/4	Ø 1/4	Ø1/4	Ø 1/4	Ø1/4	Ø1/4	Ø1/4
S- @		1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm
SOLERAS									
Ts	ton	19.172				7.832	7.54	19.801	
As	cm ²	5.07				2.07	1.99	5.17	
DIMENSIONES	cm	25				25	15	25	
	cm	20				20	20	20	
As usar	cm ²	4 Ø 1/2				4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 1/2"	
ESTRIBOS MINIMOS		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm				1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	

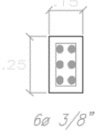
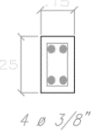
Tabla 116 Diseño de Muros en dirección Y

Fuente: Elaboración Propia

Podemos indicar que los muros que tendrían mayor variación a nivel de un concreto convencional con concreto de baja densidad o ligero, es que mientras mayor sea su área tributaria es decir más longitud el muro tenga mayor será el efecto en disminución de cargas y podremos comprobar las características

mencionadas sea el caso de los muros M1Y y M5Y, el muro que presenta mayor acero son los muros M2x y M5X, Adicionalmente para uniformizar el diseño de las columnas e confinamiento se contara con dos tipos de distribución de aceros C2 y C3, posteriormente se brindar el detalle del diseño de las columnas que se encuentran ubicadas en la sala de la vivienda C1, como se muestra a continuación.

Figura 43 Detalle de columnas Uniformizadas en distribución de acero

C-2	C-3
1 [] Ø1/4", 1Ø.05, 6Ø.10, RtoØ.25 c/e.	1 [] Ø1/4", 1Ø.05, 4Ø.10, RtoØ.25 c/e.
	

Fuente: Elaboración Propia

4.8.1 DISEÑO DE COLUMNAS

Se realizara el diseño de columnas considerando los efectos de flexo compresión y cortante de cada una.

- **Diseño por flexo compresión**

Columnas C1 (25cmx25cm)

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$\text{recubrimiento} = 4 \text{ cm}$$

$$d = 21 \text{ cm}$$

$$f'c = 210 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$f'c = 4200 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

- **Diseño de iteración**

$$U = 1.4CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25CM + 1.25CV \pm CSx$$

$$U = 1.25CM + 1.25CV \pm CSy$$

$$U = 0.9CM \pm CSx$$

$$U = 0.9CM \pm CSy$$

Dónde:

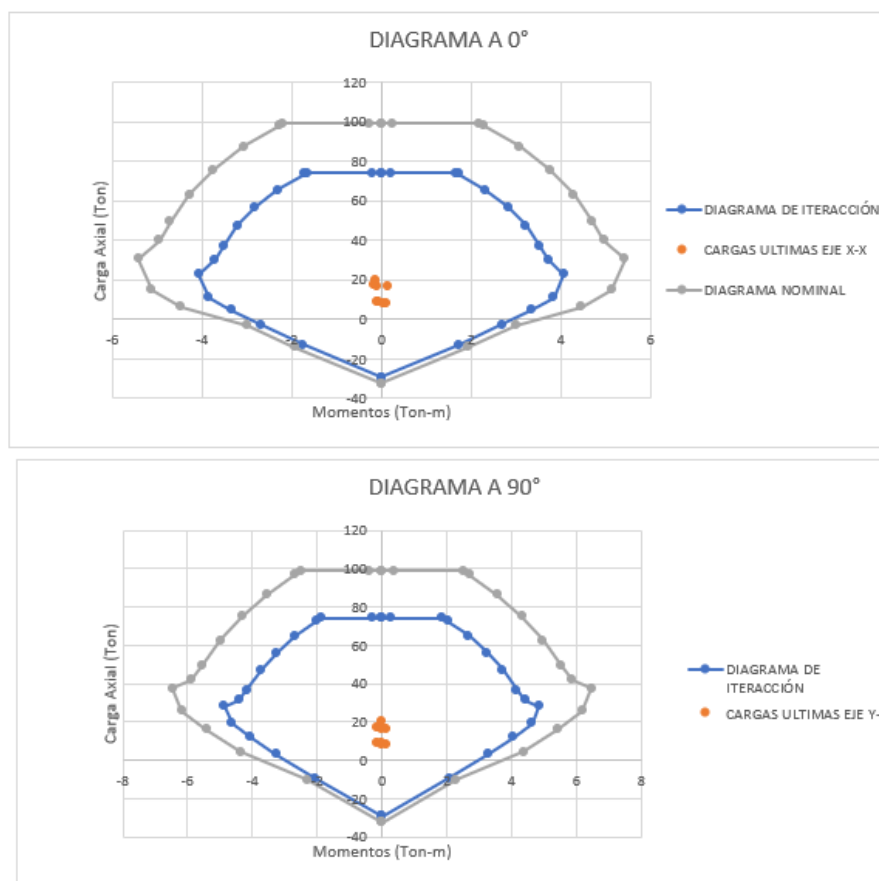
- CM (ton): Carga Muerta
- CV (ton): Carga Viva
- CSx (ton): Carga proveniente del sismo paralela al eje X
- CSy (ton): Carga proveniente del sismo paralela al eje Y

Figura 44 Combinación de Cargas últimas en el eje X-X y Y-Y

CARGAS ULTIMAS EJE X-X			CARGAS ULTIMAS EJE Y-Y		
	P(Ton)	M22(Ton-m)		P(Ton)	M33(Ton-m)
COMB 1	20.17	-0.15	COMB 1	20.17	-0.02
COMB 2 Max	16.41	-0.11	COMB 2 Max	16.41	0.13
COMB 2 Min	17.40	-0.14	COMB 2 Min	17.40	-0.16
COMB 3 Max	16.51	0.13	COMB 3 Max	16.51	0.01
COMB 3 Min	17.31	-0.16	COMB 3 Min	17.31	-0.02
COMB 4 Max	8.00	0.05	COMB 4 Max	8.00	0.14
COMB 4 Min	8.99	-0.08	COMB 4 Min	8.99	-0.15
COMB 5 Max	8.09	0.09	COMB 5 Max	8.09	0.01
COMB 5 Min	8.90	-0.10	COMB 5 Min	8.90	-0.01

Fuente: Elaboración Propia

Figura 45 Diagrama de Iteración de la Columna C-1 a 0° y 90°

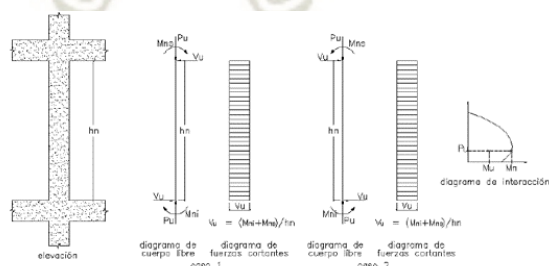


Fuente: Elaboración Propia

• Diseño por cortante

Diseño por cortante de las columnas considerando efectos sísmicos en dirección X-X.

Figura 46 Diseño de la columna por cortante, la distribución de las fuerzas según los gráficos



Fuente: Norma E. 060 de Concreto Armado

$$\text{Altura } (h_n) = 2.4m$$

$$A_v = 1.425 \text{ cm}^2$$

Donde

- h_n (m)= Altura de cada piso
- A_v (cm²)= Área por corte

Del diagrama de iteración obtenemos

$$M_{ni} = M_{ns} = 7 \text{ ton.m}$$

$$V_u = \frac{M_{ni} + M_{ns}}{h_n}$$

Formula 38 Cortante Ultima

$$V_u = 5.833 \text{ ton}$$

Donde

- M_n (ton.m)= Momentos de la columna
- V_u (ton)= Cortante ultima

Resistencia al cortante del concreto

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

Formula 39 Resistencia al cortante del concreto

$$V_c = 4.22 \text{ ton}$$

Donde

- V_c (ton)= Fuerza Cortante
- b_w (cm)= ancho de sección de columna
- d (cm) = peralte de la sección de la columnas

Resistencia del acero

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

Formula 40 Resistencia del acero

$$V_s = 2.64 \text{ ton}$$

$$S_o = \frac{A_v * f_y * d}{V_s}$$

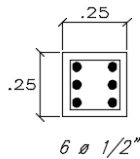
Formula 41 Separación de los estribos

$$S_o = 49.91 \text{ cm}$$

Donde

- V_s, V_u y V_c (ton) = Fuerzas de sección, última y cortante de la columna
- S_o (cm) = Separación en estribos

Figura 47 Distribución final de acero por flexo compresión y cortante de Columna C-1

TIPO	C-1
ESTRIBOS.	1 [] Ø3/8", 1Ø.05, 6Ø.10, RtoØ.20 c/e.
SECCION	

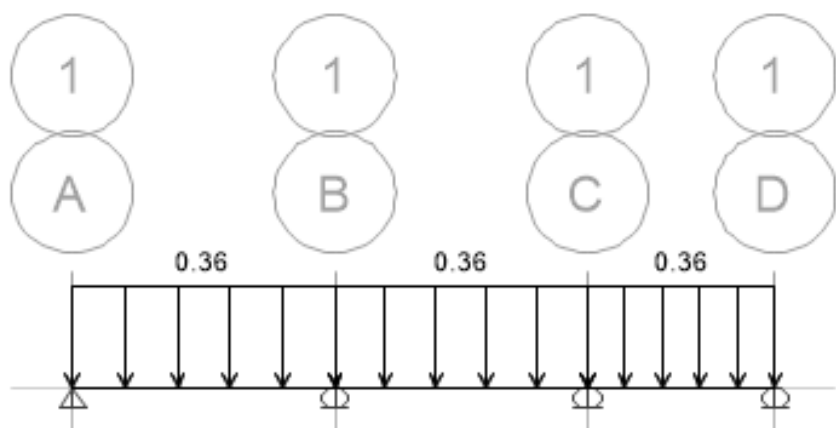
Fuente: Elaboración Propia

5.6.4. DISEÑO DE LOSAS ALIGERADAS

Para nuestro caso sólo se considerarán únicamente cargas de gravedad, por lo tanto, solamente se usará la combinación de carga que corresponde para cargas muertas y vivas

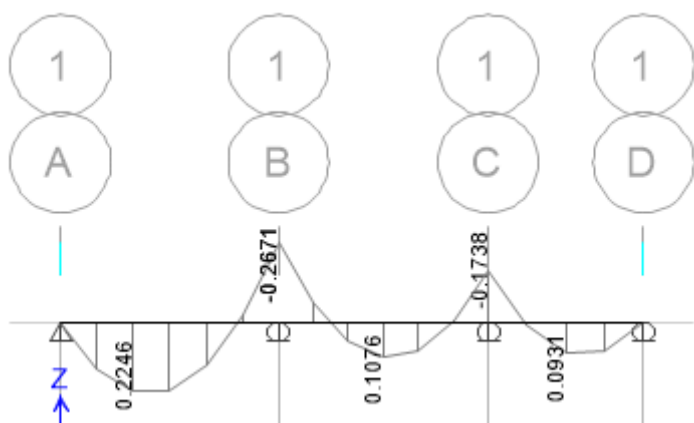
$$U = 1.4 * CM + 1.7 * CV$$

Figura 48 Carga última en losa aligerada



Fuente: Elaboración Propia

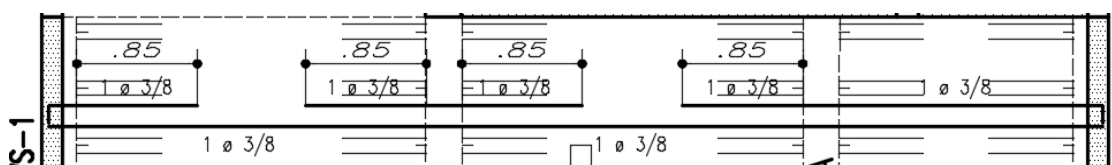
Figura 49 Momentos últimos en losa aligerada



Fuente: Elaboración Propia

La distribución de acero final fue la siguiente

Figura 50 Distribución de acero en losa aligerada



Fuente: Elaboración Propia

El mayor Momento positivo de 0.22 Ton-m, necesita un área de acero inferior a 0.50 cm². Por esto se colocó una varilla de 3/8" la cual tiene un área de 0.71cm² siendo mayor al área de acero solicitada.

El mayor Momento negativo de 0.27 Ton-m, necesita un área de acero inferior a 0.45 cm². Por esto se colocó una varilla de 3/8" la cual tiene un área de 0.71cm² siendo mayor al área de acero solicitada.

- **Verificación por corte**

$$Vu = 0.60 \text{ Ton}$$

$$\frac{Vu}{\phi} = .71 \text{ Ton}$$

$$Vc = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

Formula 42 Resistencia al corte

$$Vc = 0.53 * \sqrt{210} * 10 * 17/1000$$

$$Vc = 1.31 \text{ Tnf}$$

$$\frac{Vu}{\phi} < Vc$$

Donde

- Vu y Vc (ton)= Fuerzas ultima y cortante
- d, b (cm) = peralte y ancho

La resistencia a la cortante del concreto es mayor que la cortante última obtenida del análisis.

5.6.5. DISEÑO DE VIGAS

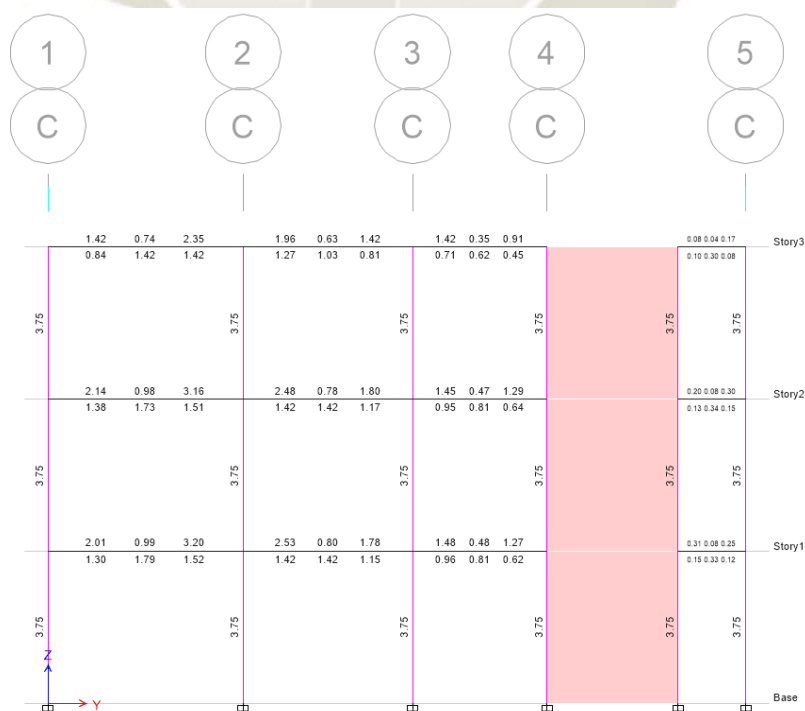
Diseño por flexión y corte

Figura 51 Momentos en el Eje más Cargada (Eje 3). Mom Max=0.83 Ton-m



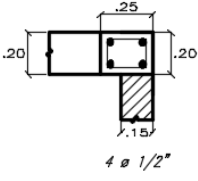
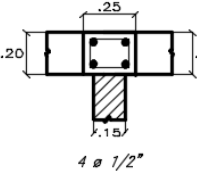
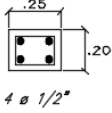
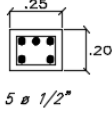
Fuente: Elaboración Propia

Figura 52 Áreas de acero solicitadas por el análisis estructural en el eje 3



Fuente: Elaboración Propia

Figura 53 Áreas de acero colocadas por el análisis estructural

CUADRO DE VIGAS				
TIPO	VS-1	VS-2	VA	VB
ESTRIBOS.	1 [] Ø1/4", 1Ø.05, 4Ø.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4", 1Ø.05, 4Ø.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4", 5Ø.05, 4Ø.10, Rto Ø.25 c/e.	1 [] Ø1/4", 5Ø.05, 4Ø.10, Rto Ø.25 c/e.
SECCION				

Fuente: Elaboración Propia

La distribución de estribos fue la mínima exigida por la norma debido a que la magnitud de las fuerzas cortantes no era considerable.

Figura 54 Detalle de gancho Estándar y diámetro mínimo de doblado

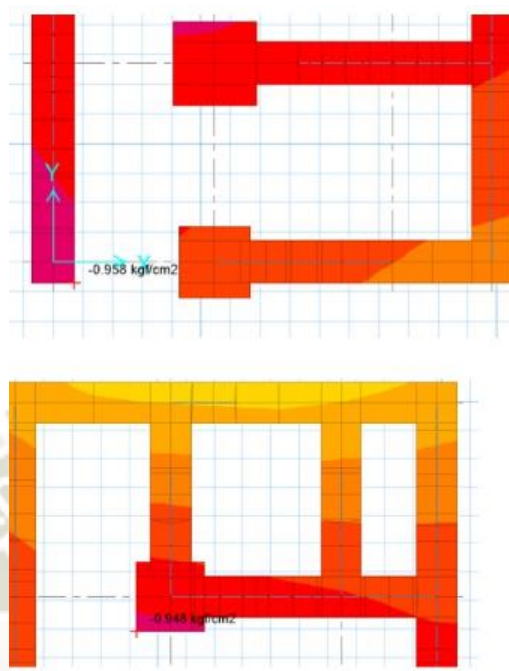


Ø	L(cm)	d(cm)	Ldg(m)	
			210 kg/cm ²	280 kg/cm ²
8mm	10	4,8	.18	.16
3/8"	12	5,8	.21	.19
12mm	15	7,3	.27	.23
1/2"	16	7,7	.28	.25
5/8"	20	9,6	.35	.31
3/4"	23	11,5	.42	.37
1"	31	15,3	.56	.49

DETALLE DE GANCHO ESTANDAR Y DIÁMETRO MÍNIMO DE DOBLADO

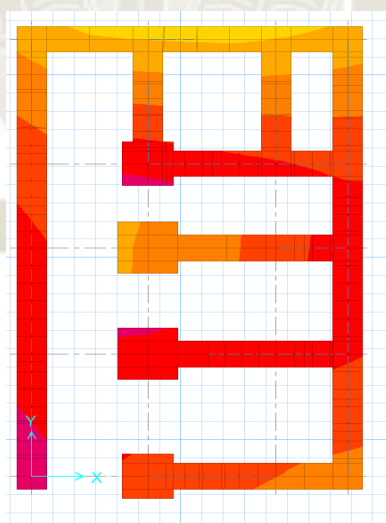
Fuente: Norma E. 060 de Concreto Armado

Figura 56 Chequeo por Cargas no mayor a 1.0 kg/cm^2



Fuente: Elaboración Propia

Figura 57 Chequeo por Cargas de Servicio de la Cap. Admisible



Fuente: Elaboración Propia

En el proyecto se cuenta con una capacidad portante de 10 Ton/m^2 . El esfuerzo mayor que se desarrolla en la cimentación es de 9.6 Ton/m^2 . Se colocó zapatas en las columnas más cargadas, en las que colocar cimiento corrido iba implicar aumentar el ancho en exceso.

En el resto de la cimentación se colocó un cimiento corrido de 70cm de ancho y 60cm de peralte.

Para ello se verifico mediante el muro que tenía mayor carga M2X:

$$P_u = 12.30 \text{ ton}$$

$$M_{\max} = 1.1 \text{ ton.m}$$

$$\sigma = 10 \text{ ton/m}^2$$

$$L = 3.01\text{m}$$

$$B = 0.7\text{m y } H = 0.6\text{m}$$

$$P_{\text{prop}} = 2.3 * 0.7 * 0.6 * 3.01 = 2.91 \text{ ton}$$

$$q_{\max} = \frac{P_u + P_{\text{prop}}}{B * L} < 10 \text{ ton/m}^2$$

Formula 43 Cortante máxima de la cimentación

Donde

- $q_{\max} \text{ (ton/m}^2\text{)} =$ Carga recibida por la cimentación al suelo
- $B, H \text{ y } L \text{ (m)} =$ Ancho, alto y largo
- $P_u \text{ (ton)} =$ Carga por servicio

$$q_{\max} = \frac{12.5 + 2.91}{0.7 * 3.01} = \frac{7.31\text{ton}}{\text{m}^2} < 10 \text{ ton/m}^2$$

Por corte y punzonamiento:

$$P_u \text{ (fuerza afectada por las combinaciones)} = 20.62 \text{ ton}$$

$$M_u \text{ (momento afectado por las combinaciones)} = 7.02 \text{ ton.m}$$

$$q = \frac{P_u}{B * L} + \frac{6M_u}{B * L^2}$$

Formula 44 Cortante por corte y punzonamiento

Donde

- q (ton/m²)= Carga por combinaciones
- B, H y L (m) = Ancho, alto y largo
- P_u (ton) = Carga por combinaciones
- M_u (ton.m) = Momento por combinaciones

$$q = \frac{20.62}{0.7 * 3.01} + \frac{6 * 7.02}{0.7 * 3.01^2} = 16.43 \text{ ton/m}^2$$

$$d = \frac{0.7 - 0.15}{2} = 0.275$$

$$M_u = \frac{16.43 * 0.275^2}{2} = 0.62 \text{ ton.m}$$

$$\sigma = \frac{6 * 0.62}{0.6^2} = 10.33 \text{ ton/m}^2$$

$$f_r = 2\sqrt{f'_c}$$

Formula 45 Resistencia al corte

Donde

- f_r (kg/cm²) = Resistencia del concreto al corte
- f'_c (kg/cm²) = Resistencia del concreto

$$f_r = 2\sqrt{140} = 23.66 > 1.03$$

Entonces se utiliza 0.7 m de ancho y altura de 0.6m comprobada por corte y punzonamiento para el cimiento corrido y con un f'_c de 140 kgf/cm² pudiendo también colocar 100 kgf/cm².

Para las columnas se verifico las que reciben mayor carga siendo las que están en el eje 3 por lo que se procedió a realizar un pre dimensionamiento para su comprobación, obteniendo una carga de servicio de 15 ton, 16 ton 10 ton y 7 ton, donde dividiendo ellos por 10 ton/m², por ello se pre dimensiono 1.4m x1.4m para

las dos mayores y de 1.20 x 1.20 para las siguientes logrando cumplir con las verificaciones con esas dimensiones y detallado en el plano del anexo.

NOTA: Se concluye que las zapatas de la cimentación propuesta necesitan reforzamiento el mismo que está siendo propuesto en una distribución uniforme de $\Phi 1/2'' @ 15 \text{ cm}$. Y en el resto de la cimentación puede colocarse cimienta corrido.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Desarrollada la investigación, se propone los siguientes diseños de concreto de baja densidad utilizando agregados naturales e industriales, que pueden ser utilizados en diferentes elementos estructurales, se presentan en la siguiente tabla:

Diseño	Ag. Fino	Ag. grueso	Perlita %	RF %	a/c	Resistencia a 28 días kgf/cm ²	Densidad kg/m ³
24.ESC-CE-01	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	-	0.4	0.5	219	1776.89
22.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.5	238	1864.16
15.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	-	0.4	0.5	249	1849.50
16.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	-	0.6	0.5	267	1718.50
21.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	10	0.4	0.5	258	1828.79

Tabla 117 Concretos de baja densidad para uso estructural

Fuente: Elaboración Propia

2. Las perlitas de poliestireno nos permiten una reducción de alrededor del 20% de peso total del concreto, por cada 10% agregado y mejora la fluidez del concreto, lo que permite que al utilizarlo en construcción aliviar cargas, su comportamiento es similar a la del concreto convencional, sin embargo la resistencia disminuye con el aumento del porcentaje de perlita de poliestireno dentro de la mezcla, es de decir una disminución alrededor de 15% de resistencia por cada 10% de adición de perlita de poliestireno.
3. Los agregados naturales de baja densidad propuestos en esta investigación presentan densidades que varían desde 877 kg/m³ (Piedra pómez) hasta 1749 kg/m³ (Arena pómez) que en comparación con los agregados convencionales que varían desde 1410 kg/m³ (Piedra chancada) hasta 1774 kg/m³ (Arena gruesa), presentan una notoria disminución; realizando las combinaciones adecuadas entre estos agregados se llegan a tener una densidad combinada que varía desde 1257.56 kg/m³ (Piedra pómez más arena escoria volcánica) hasta 1795.50 kg/m³ (Piedra escoria volcánica más arena gruesa) en comparación con los agregados convencionales que varían desde 1549.87 kg/m³ hasta 1797.89 kg/m³, presentando de igual forma una notoria disminución.
4. Se utilizó el método de mezcla de O'Reilly, para un concreto de baja densidad, puesto que este método nos permite variar el contenido de vacíos que tendrá la mezcla de concreto, buscando de esta forma disminuir la densidad sin la necesidad de usar aditivos.

5. Para uso estructural, dentro del diseño de la edificación se utilizó el diseño de mezcla conformado por escoria volcánica como agregado grueso y agregado fino con una relación de finos de 0.60, relación agua/cemento de 0.50, con una densidad de equilibrio de 1700 kg/m^3 ; logrando una resistencia a 28 días de 270 kgf/cm^2 .
6. Para un uso no estructural, aplicable en el uso de falso piso (100 kgf/cm^2) se plantea el uso del diseño N° 37; conformado por agregado fino de ceniza volcánica y agregado grueso piedra pómez, en una relación de finos de 0.60, una relación agua/cemento de 0.60; llegando a obtener una resistencia a compresión de 130 kgf/cm^2 y con una densidad de 1550 kg/m^3 .
7. Se comprueba la reducción del precio en el concreto de baja densidad, generado por el costo del agregado liviano presente en la ciudad de Arequipa a pesar del mayor costo de cemento dentro del diseño. Es decir, podemos obtener concretos de precio similar a un concreto convencional.
8. Debido a que la aplicación se desarrolló en una edificación de albañilería, es reflejado la disminución de carga en las estructuras que presentan mayor área tributaria, como los muros MY1 y MY5 en la dirección “Y” y de igual manera en los muros M2X y M5X en dirección “X”, logrando que las dimensiones de las columnas de amarre y las vigas soleras sean menores, así como sus cantidades de acero.
9. Si las cargas transmitidas a los muros son menores, las cargas que llegan a las cimentaciones generan una disminución de las dimensiones de la misma, por ende al diseñar las estructuras requieren una menor área de diseño, comparado con una estructura normal, siempre respetando las dimensiones mínimas por proceso constructivo como es el caso de los cimientos corridos nos brinda un ancho de 0.7 m de ancho.
10. Es factible la elaboración de concreto de baja densidad, utilizando agregados naturales de baja densidad, tales como: Piedra pómez, Escoria volcánica y ceniza volcánica. Además de agregados industriales, como las perlitas de poliestireno.
11. Se verifico la variación de la densidad del concreto en base a las combinaciones de los distintos agregados, que a su vez influyen directamente en la resistencia final del concreto en estado endurecido.
12. Se pudo verificar que el contenido de aire es una característica indirectamente proporcional a la resistencia obtenida, es decir a mayor contenido de aire se obtuvo menores resistencias. Por otro lado, la incorporación de los materiales gruesos permite definir el porcentaje de aire en la mezcla, por ejemplo, las mezclas con agregado grueso

de escoria volcánica evidencian un porcentaje de 7%, como la piedra chancada de 1/2" evidencia un porcentaje de 2.5% a 3%, mientras que la piedra pómez presenta una mayor variación de contenido de aire de un 7% a 11% aproximadamente.

13. Podemos verificar que las densidades bajan debido a la pérdida de agua que tiene los especímenes ensayados por lo que la norma ASTM C 567, sugiere obtener una densidad de equilibrio para un mejor estudio de esta, respecto a esto se observó su variación de la densidad en el tiempo, evidenciando la pérdida de peso presente en los concretos de baja densidad a comparación de los concretos convencionales.
14. Se verifico que las viviendas en la zona de PROFAM, en su totalidad son de albañilería, por lo que se procedió al diseño de una edificación que presente características destinados a la zona, terreno, nivel social y la autoconstrucción presente en el lugar se optó por este tipo de edificación para poder valorar las ventajas del concreto de baja densidad.
15. Se evidenció, en campo que el material del suelo en la zona de aplicación concuerda con las descripciones del estudio tomado para la determinación de la capacidad portante, de tal manera se realizó el diseño de cimentación con una capacidad portante de 1 kg/cm²
16. Se verifica que el concreto utilizado en la zona de aplicación presenta las siguientes características: de los especímenes ensayados por resistencia a la compresión a 7 días nos brinda a 56.41 kgf/cm² y un peso de 2146.35 kg/m³, valores dados por un mal proceso constructivo, logrando así disminuir la calidad del concreto y proyectando las falencias estructurales que podría evidencia por el uso del mismo.
17. En el diseño de la vivienda en albañilería la disminución del peso de la estructura de concreto, nos brinda peso específico similar a las unidades de albañilería; ambos presentan el peso específico de 1.9 ton/m³, lo que permite disminuir las cargas a las estructuras tanto a los muros como a la cimentación.

RECOMENDACIONES

18. Los agregados de baja densidad deben ser sometidos a una saturación previa a la elaboración de la mezcla, para de esta forma disminuir el tiempo de elaboración de concreto, de igual forma se debe realizar una corrección por humedad previa.
19. Podemos incluir diferentes materiales naturales e industriales para la mezcla, procedimiento y obtención de concretos estructurales como los presentes en la investigación (ceniza volcánica, escoria volcánica, pómez y perlitas de poliestireno) que nos den una elección más amigable con el medio ambiente y con características de baja densidad.
20. Arequipa presenta un potencial en recursos, como son los agregados, los que permiten dar lugar a nuevos materiales naturales para la elaboración de concretos de baja densidad es por ello, surgiendo la necesidad del estudio de sus propiedades para mejorar así la calidad de concreto y que estos a su vez puedan entrar al mercado, como materiales innovadores para la construcción.
21. Respecto a lo investigado, se podría adicionar materiales como adiciones naturales o fibras sintéticas para mejorar el comportamiento de concretos de baja densidad que brinden mayores características en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.
22. Es importante considerar el estudio del curado interno del concreto, debido a la retención de agua que se refleja en la disminución de su peso en 2, 7 y 14 días, por contener materiales que retienen un mayor porcentaje de agua.
23. Hay que tener en cuenta, que la calidad del concreto utilizado en las viviendas depende de las propiedades de los agregados, una correcta dosificación y mejoramiento del procedimiento constructivo de mezcla para la construcción de viviendas en las zonas alejas de Arequipa.
24. Para reducir el consumo de cemento, y por lo tanto, disminuir el precio de elaboración del concreto de baja densidad, se propone investigaciones con adiciones de puzolana, cenizas de alto horno, que disminuyan el uso de cemento, manteniendo o aumentando sus resistencias finales.
25. Para la elaboración del concreto de baja densidad, con el uso de perlitas de poliestireno, en una obra se recomienda elaborar en concreto en una zona que presente la menor cantidad de corrientes de viento, puesto que las perlitas de poliestireno son muy volátiles.

BIBLIOGRAFÍA

- NTP 339.035 . (s.f.). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. Norma Técnica Peruana.
- ACI 213R-03. (2003). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete. 2003. 1-38.
- ACI 318S. (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural .
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R. (2005). Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R). En *Trabajabilidad* (pág. 123). Farmington Hills: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R. (2005). Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R). En *Consistencia* (pág. 33). Farmington Hills: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R. (2005). Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R). En *Segregacion* (pág. 97). Farmington Hills: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R. (2005). Terminología del cemento y hormigon (ACI-116R). En *Exudacion* (pág. 14). Farmington Hills: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- Asociacion nacional de poliestireno expandido. (2009). *El poliestireno expandido y el medio ambiente*. Madrid: ANAPE.
- ASTM C 1064. (1999). Método de Ensayo Normalizado de Temperatura de Concreto de Cemento Hidráulico recién Mezclado.
- ASTM C 138 . (2015). Peso unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto fresco.
- ASTM C 143. (2000). Método de prueba estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico.
- ASTM C 231. (1997). Método de prueba estándar para el contenido de aire de concreto recién mezclado por el método de presión.
- ASTM C 231. (s.f.). Método de prueba estándar para Contenido de aire de concreto recién mezclado por el Método de Presión.
- ASTM C 330. (2005). Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural1.
- ASTM C 469. (1994). Módulo de elasticidad estática y proporción de hormigón de Poisson en compresion.
- ASTM C 567. (s.f.). Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete .
- ASTM C 642. (1997). Método para la densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido.

- BLACKSA(K&BCOP). (2018). Suplemento Tecnico Año 20 (Octubre- Noviembre 2018). *Constructivo* , 189-220.
- Bremner, T.W, Holm, T.A, & Stepanova, V.F. (1994). Lightweight Concrete – Proven Material for Two Millennia. Proceedings of Advances in Cement and Concrete. S.Sarkar and M. W. Grutzeck Eds. University of New Hampshire, Durham. S.C. , 37-41.
- Campos Dimas , J. (2014). Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro copolímero. Mexico : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- Chandra, S., & Berntsson, L. (2002). Lightweight aggregate concrete: science, technology and applications. New York: New York: Notes Publications.
- Concreto Premezclado UNICON. (s.f.). CONCRETO LIVIANO UNICON. *UNICON Profesionales en el concreto* .
- Diaz Valdiviezo, A., & Ramirez Carrion, J. (2010). *Estudio geologico-economico de rocas y minerales industriales de Arequipa y alrededores*. Lima: INGEMMET.
- Dreux, G. (1990). Nouveau guide du béton et de ses constituants. Paris, Francia, Paris, France.
- Gastañadú Ruiz, F. (2010). Control de Calidad de Concreto. *DINO*.
- Geologia online. (28 de Junio de 2017). *Geologia online*. Obtenido de <http://www.geologiaonline.com>
- Gobierno Regional de Arequipa. (2017). “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL EJE DE INTEGRACIÓN VIAL NORTE ENTRE LA INTERSECCIÓN AV. LAS TORRES – VÍA PE-34A, HASTA LA INTERSECCIÓN AV. ITALIA – AV AVIACIÓN, EN LOS DISTRITOS DE YURA Y CERO COLORADO, PROVINCIA DE AREQUIPA. *Costos, Presupuestos y Programacion Tramo II*. AREQUIPA, AREQUIPA.
- HERIHIRI, O. (2010). Formulation et Caractérisation des Bétons Légers. UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER – BISKRA, FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL & D’HYDRAULIQUE.
- Hou Huang, D., Caicedo Chica, J., & Falconi Pincay , A. (2007). Hormigones Livianos De Alto Desempeño. *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol XX, n XX pp-pp.
- Hummel, A. (1966). Prontuario del Hormigon. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.
- INDECI. (Julio de 2001). *MAPA DE PELIGROS Y LINEAMIENTOS PARA EL PLAN DE USOS DEL SUELO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA*. Arequipa: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Lazo Arraya, J. (2017). DISEÑO DE CONCRETO CELULAR PARA DIFERENTES DENSIDADES, ANALISIS DE SUS PROPIEDADES Y SUS APLICACIONES. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa .

- Lizcano, A., Herrera, M. C., & Santamarina, J. C. (s.f.). Suelos derivados de cenizas volcánicas. *Rev. Int. de desastres naturales, accidentes e infraestructura*, 169.
- Martínez Pineda, D. (2010). CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL CON ARCILLA EXPANDIDA TÉRMICAMENTE EXTRAÍDA DE CANTERAS LOCALIZADAS EN EL SUR DE LA SABANA DE BOGOTÁ. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). Manual de ensayo de materiales. En *MTC E 206 Peso específico y absorción de agregados gruesos* (pág. 312). Lima.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). Manual de ensayos de materiales. En *MTC E 204 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos* (pág. 303). Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). Manual de ensayos de materiales. En *MTC E 215 Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado* (pág. 361). Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). Manual de ensayos de materiales. En *MTC E 205 Gravedad específica y absorción de agregados finos* (pág. 309). Lima.
- N.T.E. E.60 CONCRETO ARMADO. (2009). Lima, Perú: Norma Técnica Peruana.
- National Ready Mixed Concrete Association. (s.f.). CIP-36 Concreto Estructural de Peso Liviano. *El Concreto en la Práctica ¿qué, Por qué y cómo?*
- NORMA E.030. (2017). DISEÑO SISMORRESISTENTE. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.
- NTP 334.009. (2013). CEMENTOS: cementos Portland Requisitos .
- NTP 334.090. (2013). CEMENTOS: Cementos Portland adicionados. Requisitos . Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.035 . (s.f.). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- NTP 339.088. (2006). CONCRETO: Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland Requisitos. Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.183. (s.f.). CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes.
- NTP 400.037-2014 *Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. (2014). Lima: INDECOPI.
- NTP. 339.046 . (s.f.). CONCRETO. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón. Norma Técnica Peruana.
- NTP. 339.083. (s.f.). Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión. Norma Técnica Peruana.

- Olmedo, F., Cobo, A., Díaz, F., Navarro, F., & Vidal, M. (2015). Caracterización mecánica experimental de un hormigón ligero estructural. *Anales de Edificación Vol. 1, N°1*, 23-32 .
- Rivva Lopez, E. (2014). Diseño de mezclas. En E. Rivva Lopez, *Consistencia* (pág. 32). Lima: Fondo editorial ICG.
- Rivva Lopez, E. (2014). Diseño de mezclas. En E. Rivva Lopez, *La resistencia* (pág. 33). Lima: ICG.
- Rivva Lopez, E. (2014). Diseño de mezclas. En E. Rivva Lopez, *Elasticidad* (pág. 36). Lima: ICG.
- Rivva Lopez, E. (2014). Diseño de mezclas. En *Relacion de consistencia y trabajabilidad* (pág. 32). Lima: ICG.
- RODRÍGUEZ CHICO, H. (2017). CONCRETO LIVIANO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA PREFABRICACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL - CAJAMARCA. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA*.
- Tupa Ortiz , A. (2018). CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO CON ESCORIA Y CENIZA VOLCÁNICAS DEL DISTRITO DE YURA. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín .
- Valdez Guzmán, L., & Suárez Alcívar, G. (2010). Hormigones livianos. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Vargas Samboni, P. (2015). Evaluación de la influencia de propiedades físicas y morfológicas de agregados livianos, en la microestructura de la Zona de Transición Interfacial (ITZ), en concretos. Colombia : Universidad Nacional de Colombia.
- Wikipedia, the free encyclopedia. (s.f.). *Benicia–Martinez Bridge*. Obtenido de https://en.wikipedia.org:https://en.wikipedia.org/wiki/Benicia%E2%80%93Martinez_Bridge

ANEXO I

TABLAS DE DISEÑO DE MEZCLAS



Las siguientes tablas, son usadas en el diseño de un concreto, tanto para el diseño ACI, Walker, combinación de modulo de finura y el método escogido en la presente investigación volúmenes absolutos o método de O'Reilly.

f_c	f_{cr}
Menos de 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
Sobre 350	$f_c + 98$

Tabla: Resistencia a la compresión promedio

Fuente: Comité 211 del ACI

Tipo de construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Tabla: Slump recomendado para los tipos de construcción

Fuente: Comité 211 del ACI

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Tabla: Volumen unitario de agua

Fuente: Comité 211 del ACI

Tamaños máximo nominal del agregado grueso	Volumen unitario de agua, expresado en l/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Tabla: Volumen unitario de agua método Walker

Fuente: Método de Walker

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado (%)
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Tabla: Contenido de aire atrapado

Fuente: Comité 211 del ACI

Tamaño máximo nominal	Contenido de aire total en %		
	Exposición suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.0
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2.0	4.0	5.0
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1.0	3.0	4.0

Tabla: Contenido de aire incorporado y total

Fuente: Comité 211 del ACI

f'cr (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

Tabla: Relacion agua/cemento por resistencia

Fuente: Comité 211 del ACI

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.80	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Fuente: Comité 211 del ACI

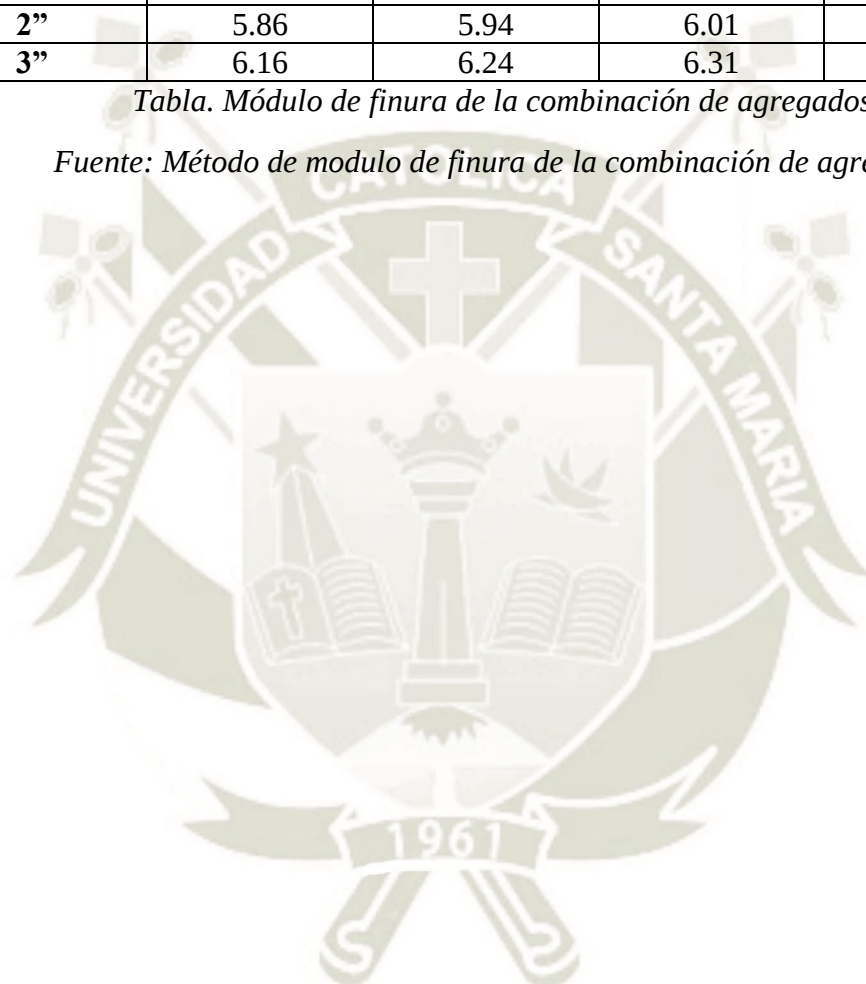
Tamaño máximo del agregado grueso	Agregado redondeado				Agregado angular			
	Factor cemento expresado en bolsas por metro cubico				Factor cemento expresado en bolsas por metro cubico			
	5	6	7	8	5	6	7	8
Agregado fino – Modulo de finura 2.3 a 2.4								
3/8"	60	57	54	51	69	65	61	58
1/2"	49	46	43	40	57	54	51	48
3/4"	41	38	35	33	48	45	43	41
1"	40	37	34	32	47	44	42	40
1 1/2"	37	34	32	30	44	41	39	37
2"	36	33	31	29	43	40	38	36
Agregado fino – Modulo de finura 2.6 a 2.7								
3/8"	66	62	59	56	75	71	67	64
1/2"	53	50	47	44	61	58	55	53
3/4"	44	41	38	36	51	48	46	44
1"	42	39	37	35	49	46	44	42
1 1/2"	40	37	35	33	47	44	42	40
2"	37	35	33	32	45	42	40	38
Agregado fino – Modulo de finura 3.0 a 3.1								
3/8"	74	70	66	62	84	80	76	73
1/2"	59	56	53	50	70	66	62	59
3/4"	49	45	43	40	57	54	51	48
1"	47	44	41	38	55	52	49	46
1 1/2"	44	41	38	36	52	49	46	44
2"	42	38	36	34	49	46	44	42

Tabla. Porcentaje de agregado fino del método Walker Fuente: Método Walker

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de finura de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en bolsas/metro cubico indicados.			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Tabla. Módulo de finura de la combinación de agregados

Fuente: Método de modulo de finura de la combinación de agregados



Huso	Tamaño Máximo Nominal	Requisitos granulométricos del agregado grueso														
		Porcentaje que pasa por los tamices normalizados														
			100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 mm
			4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº50
1	90 mm a 37.5 mm	3 ½" a 1 ½"	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-15	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm	3 ½" a 1 ½"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm	2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-15	-	-	-	-	-
357	37.5 mm a 19 mm	2" a Nº4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-	-
4	37.5 mm a 19 mm	1 ½" a ¾"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-5	-	0-5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm	1 ½" a Nº4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-	-
5	25 mm a 9.5 mm	1" a ½"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm	1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm	1" a Nº4	-	-	-	-	-	100	90-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm	¾" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm	¾" a Nº4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm	½" a Nº4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm	3/8" a Nº8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm	3/8" a Nº16	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	25-55	5-30	0-10	0-5
9	4.75 mm a 1.18 mm	Nº4 a Nº16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-40	0-10	0-5

Tabla. Requisitos granulométricos del agregado grueso

Fuente: Norma ASTM C 33

ANEXO II

RESUMEN DE PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

N°	% Perlita	COD	Tipo Ag. Fino	Tipo Ag. Grueso	Método	Relac. Finos %	Peso Total de Diseño kg	Cemento kg	Agua l	Ag. Fino kg	Ag. Grueso kg	a/c	SLUMP Plg.	PESO kg	PU kg/m³	°C	AIRE %	Rendimiento	Resis. 7 días kgf/cm²	Resis. 14 días kgf/cm²	Resis. 28 días kgf/cm²	Densidad Seca kg/m³	Densidad seca al horno kg/m³	Densidad de equilibrio kg/m³
1		A.P12-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA 3/4	Relacion	0.65	2299.92	10.83	7.46	25.60	13.61	0.60	6	18.72	2236.4	17.1	2.5	0.97	148.78	189.22	260.36	2204.07	1970.05	2020.05
2		B.P12-ARE-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 3/4	ACI 211.1		3224.40	11.75	8.12	32.49	28.25	0.60	4	17.75	2094.9	19.50	7	0.65	121.65	189.56	224.38	2167.35	2824.15	2874.15
3		P12-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2263.19	15.63	7.69	12.75	20.51	0.60	3	18.17	2156.6	20.4	4.5	0.95	161.06	182.26	214.95	2107.53	1962.98	2012.98
4		P12-ESC-02	ARENA ESCORIA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2243.54	10.42	8.17	21.87	15.63	0.60	3	17.63	2078.1	16.7	6	0.93	92.32	143.34	199.94	2001.46	1886.93	1936.93
5		P12-ESC-03	ARENA ESCORIA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.80	2233.53	10.42	8.45	29.16	7.82	0.60	3	17.36	2039.1	17.3	6	0.91	68.77	97.10	162.78	1894.25	1867.03	1917.03
6		P12-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2239.69	10.42	7.31	15.02	23.25	0.60	5	18.65	2226.8	18	2.5	0.99	145.28	163.39	199.92	2086.36	1915.74	1965.74
7		P12-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2243.13	10.42	7.31	22.72	15.63	0.60	4	18.83	2253.6	20	3	1.00	165.07	192.26	227.16	2159.25	1919.01	1969.01
8		P12-ARE-03	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.80	2245.19	15.63	7.17	26.50	6.84	0.60	3	18.74	2240.3	20	3	1.00	187.11	231.16	255.08	2158.52	1965.58	2015.58
9		P12-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2269.51	15.63	7.24	13.36	20.51	0.60	3	18.42	2193.5	20.8	3.5	0.97	158.34	184.54	226.36	2148.88	1985.70	2035.70
10		P12-PP-02	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2254.38	10.42	7.41	22.90	15.63	0.60	3	18.40	2190.3	20.3	4	0.97	164.81	206.32	230.42	2114.97	1925.88	1975.88
11		P12-PP-03	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 1/2	Relacion	0.80	2258.32	15.63	7.28	26.71	6.84	0.60	3	17.88	2115.0	20.8	4.5	0.94	143.62	148.81	173.03	2031.02	1973.60	2023.60
12		P12-CE-01	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2196.14	10.42	7.27	13.77	23.45	0.60	4.5	18.14	2151.8	21.8	3.5	0.98	125.83	136.87	182.24	2065.81	1876.12	1926.12
13		P12-CE-02	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2157.42	10.42	7.24	20.65	15.63	0.60	3	17.45	2051.7	20.6	4	0.95	89.57	120.09	141.23	1928.12	1840.87	1890.87
14		P12-CE-03	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.80	2118.69	10.42	7.20	27.53	7.82	0.60	4	16.58	1924.3	20.2	6	0.91	68.92	90.55	104.58	1839.69	1805.61	1855.61
15		ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2159.89	10.42	9.17	14.58	19.83	0.60	5	16.20	1869.3	19.2	7.5	0.87	102.10	153.03	174.01	1859.11	1770.19	1820.19
16		ESC-ESC-02	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2129.21	10.42	8.93	21.12	12.77	0.60	4	16.00	1840.1	20.5	7	0.86	139.67	184.39	195.46	2000.51	1750.48	1800.48
17		ESC-ESC-03	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.80	2202.31	10.42	8.87	29.16	6.61	0.60	2	17.11	2002.2	18.8	7	0.91	111.54	138.66	172.23	1896.78	1821.49	1871.49
18		ESC-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2108.47	10.42	8.52	14.63	19.15	0.60	4	17.55	2066.3	20	7	0.98	179.62	224.10	243.17	1951.46	1746.36	1796.36
19		ESC-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2128.82	10.42	8.10	21.94	12.77	0.60	3	17.78	2099.8	19.4	7	0.99	156.57	179.70	221.81	1994.76	1781.45	1831.45
20		ESC-ARE-03	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.80	2165.29	15.63	7.49	25.46	5.56	0.60	3	18.05	2139.8	18.7	4	0.99	181.71	194.54	227.38	2072.63	1878.03	1928.03
21		ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2171.09	11.70	9.31	14.47	18.80	0.60	5	16.84	1962.2	19.60	7	0.90	119.24	149.81	201.96	1911.31	1785.27	1835.27
22		ESC-PP-02	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2194.62	11.70	8.93	21.71	12.53	0.60	4 1/2	16.75	1949.6	19.20	7	0.89	122.31	178.44	234.04	1990.65	1821.89	1871.89
23		ESC-PP-03	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.80	2305.43	10.83	8.17	31.76	6.87	0.60	4 1/2	17.79	2100.6	17.90	7	0.91	123.53	159.83	201.55	2011.35	1948.35	1998.35
24		ESC-CE-01	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2053.28	10.42	8.47	13.29	19.15	0.60	4	16.20	1869.3	20.2	6	0.91	117.10	168.36	175.19	1866.32	1696.05	1746.05
25		ESC-CE-02	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2127.88	10.83	8.35	20.74	13.28	0.60	3	16.00	1840.1	17.50	6	0.86	90.27	139.83	184.89	1829.44	1774.23	1824.23
26		ESC-CE-03	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.80	2038.80	10.42	7.58	26.59	6.38	0.60	3	15.97	1836.3	19.8	7	0.90	77.69	94.71	110.12	1843.26	1715.93	1765.93
27		PP-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.40	2023.96	15.63	7.67	12.25	15.05	0.60	3	15.87	1820.7	21.4	8	0.90	78.35	92.20	110.51	1681.95	1737.94	1787.94
28		PP-ESC-02	ARENA ESCORIA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.60	2077.16	15.63	7.89	18.38	10.03	0.60	4	16.43	1902.6	20.8	7	0.92	73.41	88.79	104.50	1765.66	1779.84	1829.84
29		PP-ESC-03	ARENA ESCORIA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.80	2130.37	15.63	8.11	24.51	5.02	0.60	4	16.85	1963.8	20.6	6	0.92	72.38	79.38	97.24	1869.34	1821.74	1871.74
30		PP-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.40	1986.52	10.42	8.53	14.63	16.09	0.60	3 1/2	15.89	1823.6	17.7	7	0.92	66.79	71.62	84.25	1747.30	1630.92	1680.92
31		PP-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.60	2047.52	10.42	8.10	21.94	10.73	0.60	6	16.67	1937.9	17	7	0.95	74.95	75.41	108.37	1820.06	1704.50	1754.50
32		PP-ARE-03	ARENA GRUESA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.80	2108.52	10.42	7.68	29.25	5.36	0.60	6	17.65	2080.4	19.4	6	0.99	90.21	121.41	135.99	1915.57	1778.07	1828.07
33		PP-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.4	2030.03	15.63	6.61	12.83	15.68	0.60	5 1/2	16.21	1870.8	20.3	6	0.92	49.52	56.17	66.02	1775.00	1783.43	1833.43
34		PP-PP-02	ARENA PÓMEZ	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.6	2058.39	10.42	6.12	22.12	12.81	0.60	4	16.28	1881.0	18.8	8	0.91	84.02	89.55	96.33	1725.54	1789.68	1839.68
35		PP-PP-03	ARENA PÓMEZ	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.8	2123.01	10.42	6.76	29.49	6.40	0.60	3	16.21	1870.8	18.6	10	0.88	109.08	126.05	136.70	1896.87	1826.19	1876.19
36		PP-CE-01	CENIZA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.40	1931.33	10.42	12.54	13.29	12.03	0.60	6 1/2	14.55	1628.6	20.5	11	0.84	48.33	54.54	66.45	1556.79	1427.44	1477.44
37		PP-CE-02	CENIZA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.60	2043.33	10.83	11.17	20.74	8.34	0.60	6	15.20	1723.4	18.60	9	0.84	43.83	92.88	129.63	1569.76	1587.99	1637.99
38		PP-CE-03	CENIZA	PIEDRA PÓMEZ	Relacion	0.80	1801.56	10.83	9.30	20.74	4.17	0.60	2 1/2	15.48	1764.1	17.8	8	0.98	49.91	71.07	88.74	1706.29	1430.58	1480.58
39		7.P12-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2247.50	12.50	7.25	21.58	14.85	0.50	3	18.70	2234.1	21.3	3	0.99	217.70	278.08	315.36	2167.80	1940.86	1990.86
40		7.P12-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2254.07	15.63	7.18	19.87	13.68	0.40	3	18.73	2237.7	21.4	3.5	0.99	357.96	421.37	441.52	2179.20	1973.64	2023.64
41		10.P12-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2263.91	15.63	7.26	20.03	13.68	0.40	3	17.88	2113.8	20.3	4.5	0.93	296.96	315.23	348.55	2059.35	1979.65	2029.65
42		11.P12-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA 1/2	Relacion	0.80	2252.12	12.50	7.37	29.01	7.43	0.50	2 1/2	18.00	2131.6	20.4	5	0.95	160.11	211.85	226.36	2025.09	1940.82	1990.82
43		12.P12-CE-01	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2202.87	12.50	7.22	13.08	22.28	0.50	4	18.17	2156.9	21.4	3	0.98	190.21	207.95	259.56	2073.80	1900.12	1950.12

N°	% Perlita	COD	Tipo Ag. Fino	Tipo Ag. Grueso	Método	Relac. Finos %	Peso Total de Diseño kg	Cemento kg	Agua l	Ag. Fino kg	Ag. Grueso kg	a/c	SLUMP Plg.	PESO kg	PU kg/m³	°C	AIRE %	Rendimiento	Resis. 7 días kgf/cm²	Resis. 14 días kgf/cm²	Resis. 28 días kgf/cm²	Densidad Seca kg/m³	Densidad seca al horno kg/m³	Densidad de equilibrio kg/m³
44		12.P12-CE-02	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.40	2212.96	15.63	7.14	12.04	20.51	0.40	3	17.70	2088.0	20.1	4	0.94	223.03	277.71	306.43	2021.39	1936.12	1986.12
45		13.P12-CE-01	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2166.09	12.50	7.19	19.61	14.85	0.50	4	17.55	2066.3	20.5	4	0.95	149.52	180.10	195.90	1941.23	1866.63	1916.63
46		13.P12-CE-02	CENIZA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2179.09	15.63	7.11	18.06	13.68	0.40	3	17.28	2026.6	20.6	4.5	0.93	206.21	210.14	264.86	1942.87	1905.28	1955.28
47		15.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2168.43	12.50	9.02	13.85	18.84	0.50	5	16.40	1898.5	21.5	7.5	0.88	184.91	198.64	249.14	1873.59	1799.50	1849.50
48		16.ESC-ESC-01	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2136.70	12.50	8.79	20.02	12.11	0.50	4	15.91	1827.0	21	7	0.86	196.50	234.68	267.03	1906.18	1778.50	1828.50
49		16.ESC-ESC-02	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2147.92	15.63	8.58	18.38	11.11	0.40	3	17.11	2002.2	21.6	7	0.93	197.32	229.04	259.18	1914.15	1820.53	1870.53
50		18.ESC-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2117.02	12.50	8.40	13.87	18.16	0.50	3	17.30	2029.8	20.5	7	0.96	193.29	270.03	275.82	1911.70	1774.59	1824.59
51		18.ESC-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2129.86	15.63	8.22	12.73	16.67	0.40	3	17.48	2055.9	19.6	6	0.97	273.89	288.70	322.45	2018.98	1816.94	1866.94
52		19.ESC-ARE-01	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2136.32	12.50	8.00	20.80	12.11	0.50	3	17.12	2003.5	20	7	0.94	171.04	176.97	236.26	1938.72	1807.87	1857.87
53		19.ESC-ARE-02	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2147.57	15.63	7.86	19.10	11.11	0.40	3 1/2	17.83	2107.4	19.3	5	0.98	302.73	306.91	336.84	2056.10	1847.49	1897.49
54		21.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2123.90	12.50	8.46	13.98	18.16	0.50	4	17.27	2025.3	19.7	7	0.95	188.60	235.26	258.85	1958.47	1778.79	1828.79
55		22.ESC-PP-01	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2146.63	12.50	8.09	20.97	12.11	0.50	4	16.80	1956.8	20.6	7	0.91	174.73	209.00	238.36	1924.73	1814.16	1864.16
56		24.ESC-CE-01	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2064.70	12.50	8.35	12.60	18.16	0.50	3	16.52	1916.0	20.9	6.5	0.93	166.74	170.49	219.49	1872.11	1726.89	1776.89
57		25.ESC-CE-01	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2057.84	12.50	7.93	18.91	12.11	0.50	3	16.57	1923.6	20.1	6.5	0.93	112.18	174.63	194.13	1841.72	1736.32	1786.32
58		25.ESC-CE-02	CENIZA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2075.53	15.63	7.80	17.36	11.11	0.40	3	16.68	1939.3	21.2	6.5	0.93	184.70	199.02	213.20	1858.00	1781.81	1831.81
59	P10	7.P12-ARE-10	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2180.59	10.42	7.31	22.72	14.07	0.60	4	18.40	2190.3	20	4	1.00	132.25	163.29	193.45	2113.27	1860.01	1910.01
60	P15	7.P12-ARE-15	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2149.32	10.42	7.31	22.72	13.29	0.60	4	18.37	2185.9	20.2	4	1.02	132.45	134.90	149.13	2062.02	1830.51	1880.51
61	P20	7.P12-ARE-20	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2118.05	10.42	7.31	22.72	12.51	0.60	4	17.96	2126.1	21.1	5.5	1.00	119.21	121.41	134.21	1992.97	1801.01	1851.01
62	P25	7.P12-ARE-25	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2086.79	10.42	7.31	22.72	11.73	0.60	5	17.96	2126.1	21.1	5	1.02	107.28	109.26	120.79	2031.77	1771.52	1821.52
63	P30	7.P12-ARE-30	ARENA GRUESA	PIEDRA 1/2	Relacion	0.60	2055.52	10.42	7.31	22.72	10.94	0.60	5	17.91	2118.8	21.8	5	1.03	94.38	96.13	106.27	2017.88	1742.02	1792.02
64	P10	48.ESC-ESC-10	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2088.28	12.50	8.79	20.02	10.89	0.50	3	15.86	1819.7	21.1	5.5	0.87	192.20	212.18	251.96	1939.45	1732.82	1782.82
65	P15	48.ESC-ESC-15	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2064.07	12.50	8.79	20.02	10.29	0.50	3	15.81	1812.4	21.1	5	0.88	182.14	201.10	236.57	1927.44	1709.98	1759.98
66	P20	48.ESC-ESC-20	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.60	2039.86	12.50	8.79	20.02	9.68	0.50	3 1/2	15.70	1796.4	21.8	5	0.88	172.07	189.99	223.52	1868.79	1687.14	1737.14
67	P10	54.ESC-PP-10	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2051.26	12.50	8.46	13.98	16.34	0.50	3 1/2	16.92	1974.4	21	7.5	0.96	190.63	221.10	227.23	1853.71	1710.27	1760.27
68	P15	54.ESC-PP-15	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2014.95	12.50	8.46	13.98	15.43	0.50	3	16.82	1959.8	21	7.5	0.97	201.83	205.64	222.55	1859.54	1676.01	1726.01
69	P20	54.ESC-PP-20	ARENA PÓMEZ	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	1978.63	12.50	8.46	13.98	14.53	0.50	3	16.55	1920.4	21.5	8	0.97	156.64	186.69	202.63	1810.15	1641.75	1691.75
70	P10	47.ESC-ESC-10	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2093.08	12.50	9.02	13.85	16.95	0.50	3	16.10	1854.7	22	7	0.89	145.04	193.15	209.61	1775.10	1728.41	1778.41
71	P20	47.ESC-ESC-20	ARENA ESCORIA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	1996.00	12.50	9.02	13.85	14.53	0.50	3	15.64	1787.6	21.4	8	0.90	107.56	121.60	143.25	1826.50	1636.82	1686.82
72	P10	50.ESC-ARE-10	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	2044.39	12.50	8.40	13.87	16.34	0.50	3	17.05	1993.6	21.7	7	0.98	151.63	205.68	228.26	1868.41	1706.07	1756.07
73	P20	50.ESC-ARE-20	ARENA GRUESA	PIEDRA ESCORIA	Relacion	0.40	1971.76	12.50	8.40	13.87	14.53	0.50	3	16.83	1961.8	22.6	7	0.99	127.46	178.40	204.10	1869.90	1637.55	1687.55



ANEXO III

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Nº	Codigo de diseño	Edad dias	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
1	A.P12-ARE-01	7	10.30	10.00	10.00	10.10	20.20	20.40	20.30	20.30	80.12	3638	2236.84	12108	151.13
1	A.P12-ARE-01	7	10.30	10.30	10.20	10.27	20.70	20.70	20.60	20.67	82.78	3759	2197.12	12417	149.99
1	A.P12-ARE-01	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.10	20.20	20.20	20.17	82.25	3613	2178.26	11943	145.21
1													2204.07		148.78
1	A.P12-ARE-01	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.00	20.00	20.40	20.13	79.06	3554	2232.65	15036	190.17
1	A.P12-ARE-01	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.10	20.00	20.20	20.10	79.59	3545	2215.94	14987	188.30
1	A.P12-ARE-01	14	10.20	10.00	10.10	10.10	20.20	20.30	20.20	20.23	80.12	3624	2235.57	15157	189.18
1													2228.06		189.22
1	A.P12-ARE-01	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.40	20.50	20.50	20.47	79.06	3554	2196.29	21655	273.89
1	A.P12-ARE-01	28	10.40	10.00	10.00	10.13	20.60	20.60	20.70	20.63	80.65	3704	2225.91	19773	245.18
1	A.P12-ARE-01	28	10.00	10.00	9.70	9.90	20.00	20.20	20.20	20.13	76.98	3545	2287.39	20169	262.01
1													2236.53		260.36
2	B.P12-ARE-01	7	10.20	10.20	10.10	10.17	20.50	20.60	20.60	20.57	81.18	3698	2214.91	7520	92.63
2	B.P12-ARE-01	7	10.50	10.00	10.20	10.23	20.50	20.00	20.50	20.33	82.25	3685	2203.46	10994	133.67
2	B.P12-ARE-01	7	10.30	10.15	10.10	10.18	20.60	20.40	20.50	20.50	81.45	3689	2209.45	11293	138.66
2													2209.27		121.65
2	B.P12-ARE-01	14	10.50	10.10	10.20	10.27	20.00	20.10	20.50	20.20	82.78	3571	2135.45	14840	179.26
2	B.P12-ARE-01	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.40	20.50	20.30	20.40	79.59	3550	2186.44	14285	179.48
2	B.P12-ARE-01	14	10.10	10.20	10.00	10.10	20.30	20.40	20.10	20.27	80.12	3540	2180.16	14787	184.56
2													2167.35		181.10
2	B.P12-ARE-01	28	10.00	10.40	10.50	10.30	20.70	20.50	20.60	20.60	83.32	3685	2146.58	18595	223.17
2	B.P12-ARE-01	28	10.20	10.30	10.00	10.17	20.50	20.50	20.50	20.50	81.18	3719	2234.73	18041	222.24
2	B.P12-ARE-01	28	10.20	10.30	10.00	10.17	20.50	20.40	20.50	20.47	81.18	3627	2182.70	18487	227.73
2													2188.00		224.38
3	P12-ESC-01	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.40	20.20	20.00	20.20	78.54	3470	2187.20	13110	166.92
3	P12-ESC-01	7	10.00	10.10	10.00	10.03	20.40	20.20	20.20	20.27	79.06	3530	2202.99	12671	160.26
3	P12-ESC-01	7	10.30	10.20	10.00	10.17	20.00	20.00	20.00	20.00	81.18	3400	2094.12	12663	155.99
3													2161.44		161.06
3	P12-ESC-01	14	10.20	10.00	10.40	10.20	20.20	20.30	20.20	20.23	81.71	3459	2092.15	14710	180.02
3	P12-ESC-01	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.20	20.40	20.30	20.30	79.06	3449	2148.90	14510	183.52
3	P12-ESC-01	14	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.10	20.20	20.17	79.59	3341	2081.52	14585	183.25
3													2107.53		182.26
3	P12-ESC-01	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.30	20.20	20.20	20.23	80.65	3431	2102.61	17614	218.41
3	P12-ESC-01	28	10.30	10.00	10.20	10.17	20.30	20.50	20.50	20.43	81.18	3492	2105.17	17544	216.11
3	P12-ESC-01	28	10.30	10.30	10.10	10.23	20.60	20.60	20.60	20.60	82.25	3527	2081.68	17299	210.33
3													2096.49		214.95
4	P12-ESC-02	7	10.10	10.00	10.40	10.17	20.00	20.30	20.20	20.17	81.18	3345	2042.91	7145	88.01
4	P12-ESC-02	7	10.00	10.30	10.10	10.13	20.50	20.50	20.60	20.53	80.65	3343	2018.75	8400	104.16
4	P12-ESC-02	7	10.20	10.30	10.40	10.30	20.40	20.30	20.40	20.37	83.32	3315	1953.14	7066	84.80
4													2004.93		92.32
4	P12-ESC-02	14	10.30	10.00	10.00	10.10	20.40	20.30	20.30	20.33	80.12	3260	2001.14	11782	147.06
4	P12-ESC-02	14	10.30	10.00	10.30	10.20	20.50	20.40	20.50	20.47	81.71	3319	1984.59	11392	139.42
4	P12-ESC-02	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.30	20.20	20.20	20.23	80.65	3294	2018.65	11578	143.56
4													2001.46		143.34
4	P12-ESC-02	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.10	20.10	20.10	20.10	78.54	3308	2095.14	15447	196.68
4	P12-ESC-02	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.40	20.50	20.30	20.40	78.54	3347	2088.99	15889	202.31
4	P12-ESC-02	28	10.20	10.00	10.00	10.07	20.10	20.10	20.10	20.10	79.59	3293	2058.11	15985	200.84
4													2080.75		199.94

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
5	P12-ESC-03	7	10.30	10.10	10.00	10.13	20.30	20.20	20.40	20.30	80.65	3228	1971.71	5315	65.90
5	P12-ESC-03	7	10.50	10.00	10.20	10.23	20.20	20.60	20.50	20.43	82.25	3338	1986.20	5518	67.09
5	P12-ESC-03	7	10.10	10.10	10.30	10.17	20.70	20.60	20.60	20.63	81.18	3395	2026.86	5952	73.32
5													1994.92		68.77
5	P12-ESC-03	14	10.30	10.20	10.30	10.27	20.50	20.40	20.20	20.37	82.78	3202	1898.82	8217	99.26
5	P12-ESC-03	14	10.20	10.30	10.50	10.33	20.00	20.40	20.50	20.30	83.86	3213	1887.02	7568	90.24
5	P12-ESC-03	14	10.00	10.20	10.10	10.10	20.10	20.20	20.40	20.23	80.12	3075	1896.90	8157	101.81
5													1894.25		97.10
5	P12-ESC-03	28	10.50	10.00	10.00	10.17	20.40	20.40	20.40	20.40	81.18	3300	1992.68	12824	157.97
5	P12-ESC-03	28	10.00	10.00	10.40	10.13	20.40	20.30	20.50	20.40	80.65	3319	2017.36	13553	168.05
5	P12-ESC-03	28	10.30	10.20	10.00	10.17	20.40	20.50	20.30	20.40	81.18	3289	1985.73	13178	162.33
5													1998.59		162.78
6	P12-ARE-01	7	10.50	10.20	10.20	10.30	20.50	20.50	20.40	20.47	83.32	3587	2103.10	12085	145.04
6	P12-ARE-01	7	10.20	10.20	10.20	10.20	20.50	20.50	20.30	20.43	81.71	3571	2138.45	11760	143.92
6	P12-ARE-01	7	10.10	10.20	10.50	10.27	20.10	20.10	20.10	20.10	82.78	3501	2103.71	12160	146.89
6													2115.09		145.28
6	P12-ARE-01	14	10.00	10.40	10.20	10.20	20.30	20.40	20.50	20.40	81.71	3534	2120.05	14179	173.52
6	P12-ARE-01	14	10.40	10.30	10.40	10.37	20.40	20.50	20.50	20.47	84.40	3537	2047.19	12411	147.04
6	P12-ARE-01	14	10.20	10.10	10.00	10.10	20.20	20.20	20.30	20.23	80.12	3391	2091.84	13588	169.60
6													2086.36		163.39
6	P12-ARE-01	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.10	20.20	20.20	20.17	80.65	3519	2163.67	15951	197.79
6	P12-ARE-01	28	10.30	10.00	10.20	10.17	20.10	20.10	20.20	20.13	81.18	3516	2151.23	16110	198.45
6	P12-ARE-01	28	10.20	10.20	10.00	10.13	20.10	20.00	20.10	20.07	80.65	3502	2163.95	16415	203.54
6													2159.61		199.92
7	P12-ARE-02	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.70	20.90	21.00	20.87	78.54	3847	2347.36	13545	172.46
7	P12-ARE-02	7	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	3606	2242.92	12395	155.73
7	P12-ARE-02	7	10.10	10.00	10.10	10.07	20.40	20.50	20.50	20.47	79.59	3652	2241.93	13292	167.00
7													2277.40		165.07
7	P12-ARE-02	14	10.40	10.10	10.00	10.17	20.40	20.50	20.60	20.50	81.18	3617	2173.44	15360	189.21
7	P12-ARE-02	14	10.10	10.50	10.50	10.37	20.50	20.50	20.70	20.57	84.40	3744	2156.77	16317	193.32
7	P12-ARE-02	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.40	20.40	20.30	20.37	81.71	3574	2147.56	15874	194.27
7													2159.25		192.26
7	P12-ARE-02	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.70	20.50	20.70	20.63	79.59	3707	2257.31	18298	229.90
7	P12-ARE-02	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.30	20.20	20.40	20.30	79.06	3530	2199.37	17017	215.23
7	P12-ARE-02	28	10.20	10.20	10.00	10.13	20.70	20.60	20.50	20.60	80.65	3673	2210.85	19061	236.35
7													2222.51		227.16
8	P12-ARE-03	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.00	20.00	20.20	20.07	80.12	3498	2175.76	14943	186.51
8	P12-ARE-03	7	10.00	10.10	10.00	10.03	20.00	20.20	20.20	20.13	79.06	3518	2210.04	15306	193.59
8	P12-ARE-03	7	10.00	10.30	10.00	10.10	20.20	20.10	20.20	20.17	80.12	3533	2186.64	14520	181.23
8													2190.81		187.11
8	P12-ARE-03	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.60	20.40	20.40	20.47	78.54	3650	2270.68	19044	242.48
8	P12-ARE-03	14	10.40	10.10	10.20	10.23	20.40	20.00	20.20	20.20	82.25	3520	2118.69	17959	218.35
8	P12-ARE-03	14	10.10	10.10	10.20	10.13	20.30	20.20	20.10	20.20	80.65	3470	2130.02	18762	232.64
8													2173.13		231.16
8	P12-ARE-03	28	10.30	10.30	10.30	10.30	20.60	20.60	20.60	20.60	83.32	3643	2122.40	22087	265.08
8	P12-ARE-03	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.50	20.40	20.40	20.43	80.65	3572	2167.59	19875	246.44
8	P12-ARE-03	28	10.10	10.30	10.30	10.23	20.60	20.70	20.70	20.67	82.25	3715	2185.57	20868	253.72
8													2158.52		255.08

Nº	Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
9	P12-PP-01	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.00	20.10	20.20	20.10	79.06	3464	2179.72	12279	155.30
9	P12-PP-01	7	10.10	10.20	10.00	10.10	20.40	20.40	20.60	20.47	80.12	3635	2216.79	12987	162.10
9	P12-PP-01	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.30	20.50	20.30	20.37	79.59	3546	2187.55	12544	157.61
9													2194.69		158.34
9	P12-PP-01	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.10	20.10	20.07	78.54	3440	2182.70	13850	176.34
9	P12-PP-01	14	10.40	10.10	10.00	10.17	20.60	20.60	20.70	20.63	81.18	3740	2232.83	15513	191.09
9	P12-PP-01	14	10.10	10.20	10.00	10.10	20.20	20.20	20.30	20.23	80.12	3478	2145.50	14916	186.17
9													2187.01		184.54
9	P12-PP-01	28	10.20	10.30	10.40	10.30	20.40	20.30	20.50	20.40	83.32	3623	2131.44	19204	230.48
9	P12-PP-01	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.30	20.20	20.60	20.37	80.65	3509	2136.33	18457	228.86
9	P12-PP-01	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	3503	2178.85	17490	219.75
9													2148.88		226.36
10	P12-PP-02	7	10.60	10.50	10.50	10.53	20.80	20.80	20.70	20.77	87.14	3760	2077.78	13833	158.74
10	P12-PP-02	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.30	20.60	20.70	20.53	82.25	3625	2146.47	13944	169.54
10	P12-PP-02	7	10.20	10.10	10.20	10.17	20.30	20.20	20.30	20.27	81.18	3489	2120.66	13487	166.14
10													2114.97		164.81
10	P12-PP-02	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.10	20.10	20.07	78.54	3440	2182.70	16664	212.17
10	P12-PP-02	14	10.00	10.00	10.20	10.07	20.20	20.30	20.40	20.30	79.59	3610	2234.34	16280	204.55
10	P12-PP-02	14	10.10	10.00	10.20	10.10	20.00	20.20	20.10	20.10	80.12	3451	2142.97	16204	202.25
10													2186.67		206.32
10	P12-PP-02	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.10	20.20	20.10	20.13	81.18	3470	2123.08	18474	227.57
10	P12-PP-02	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.00	20.10	20.20	20.10	80.65	3463	2136.30	18260	226.42
10	P12-PP-02	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.30	20.20	20.40	20.30	80.12	3565	2191.95	19009	237.26
10													2150.44		230.42
11	P12-PP-03	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.20	20.30	20.20	20.23	78.54	3380	2126.96	11608	147.80
11	P12-PP-03	7	10.50	10.10	10.00	10.20	20.20	20.50	20.00	20.23	81.71	3510	2123.00	12125	148.39
11	P12-PP-03	7	10.30	10.30	10.30	10.30	20.50	20.50	20.50	20.50	83.32	3490	2043.18	11221	134.67
11													2097.71		143.62
11	P12-PP-03	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.30	20.20	20.40	20.30	80.65	3376	2062.11	13324	165.21
11	P12-PP-03	14	10.30	10.10	10.30	10.23	20.20	20.20	20.20	20.20	82.25	3347	2014.56	10852	131.94
11	P12-PP-03	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.30	20.20	20.10	20.20	81.18	3324	2027.04	12118	149.27
11													2034.57		148.81
11	P12-PP-03	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.70	20.70	20.60	20.67	84.40	3502	2007.60	14879	176.28
11	P12-PP-03	28	10.40	10.20	10.20	10.27	20.50	20.60	20.30	20.47	82.78	3392	2001.98	13111	158.38
11	P12-PP-03	28	10.00	10.00	10.10	10.03	20.30	20.30	20.30	20.30	79.06	3344	2083.48	14581	184.42
11													2031.02		173.03
12	P12-CE-01	7	10.10	10.20	10.40	10.23	20.40	20.40	20.20	20.33	82.25	3430	2050.98	10017	121.79
12	P12-CE-01	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.20	20.10	19.80	20.03	79.59	3340	2094.75	11039	138.70
12	P12-CE-01	7	10.10	10.20	10.20	10.17	19.80	20.00	20.00	19.93	81.18	3320	2051.69	9497	116.99
12													2065.81		125.83
12	P12-CE-01	14	10.70	10.20	10.70	10.53	20.40	2.04	20.60	14.35	87.14	3610	2887.58	11985	137.54
12	P12-CE-01	14	10.40	10.40	10.30	10.37	20.70	20.60	20.50	20.60	84.40	3541	2036.53	11440	135.54
12	P12-CE-01	14	10.40	10.20	10.20	10.27	20.50	20.50	20.40	20.47	82.78	3641	2148.94	11387	137.55
12													2357.69		136.87
12	P12-CE-01	28	10.00	10.20	10.00	10.07	20.10	20.20	20.20	20.17	79.59	3452	2150.68	14048	176.50
12	P12-CE-01	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.60	20.40	20.50	82.25	3530	2093.61	15972	194.19
12	P12-CE-01	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.40	20.30	20.40	20.37	80.65	3500	2130.85	14196	176.02
12													2125.05		182.24

Nº	Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
13	P12-CE-02	7	10.20	10.40	10.40	10.33	20.40	20.40	20.50	20.43	83.86	3305	1928.69	8263	98.53
13	P12-CE-02	7	10.50	10.20	10.40	10.37	20.60	20.50	20.40	20.50	84.40	3326	1922.21	6598	78.17
13	P12-CE-02	7	10.10	10.50	10.40	10.33	20.50	20.50	20.50	20.50	83.86	3324	1933.47	7717	92.02
13													1928.12		89.57
13	P12-CE-02	14	10.20	10.50	10.20	10.30	20.20	20.20	20.50	20.30	83.32	3265	1930.29	9966	119.61
13	P12-CE-02	14	10.50	10.20	10.30	10.33	20.50	20.50	20.20	20.40	83.86	3320	1940.61	10047	119.80
13	P12-CE-02	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.30	20.30	20.20	20.27	82.25	3210	1925.74	9941	120.87
13													1932.21		120.09
13	P12-CE-02	28	10.30	10.00	10.20	10.17	20.40	20.40	20.40	20.40	81.18	3304	1995.09	11849	145.96
13	P12-CE-02	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.20	20.30	20.40	20.30	78.54	3248	2037.18	11052	140.72
13	P12-CE-02	28	10.40	10.00	10.20	10.20	20.60	20.60	20.60	20.60	81.71	3481	2067.98	11195	137.00
13													2033.42		141.23
14	P12-CE-03	7	10.20	10.70	10.10	10.33	20.70	20.60	20.60	20.63	83.86	3153	1822.15	6016	71.74
14	P12-CE-03	7	10.00	10.10	10.20	10.10	20.50	20.40	20.40	20.43	80.12	3031	1851.46	5807	72.48
14	P12-CE-03	7	10.40	10.10	10.40	10.30	20.60	20.60	20.90	20.70	83.32	3183	1845.45	5211	62.54
14													1839.69		68.92
14	P12-CE-03	14	10.40	10.00	10.20	10.20	20.70	20.60	20.70	20.67	81.71	3171	1877.74	7469	91.41
14	P12-CE-03	14	10.40	10.00	10.20	10.20	20.80	20.80	20.80	20.80	81.71	3196	1880.41	7146	87.45
14	P12-CE-03	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.60	20.70	20.70	20.67	80.65	3141	1884.53	7483	92.79
14													1880.89		90.55
14	P12-CE-03	28	10.00	10.20	10.00	10.07	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	3070	1909.53	9209	115.70
14	P12-CE-03	28	10.00	10.20	10.00	10.07	20.50	20.60	20.20	20.43	79.59	3123	1920.31	7495	94.17
14	P12-CE-03	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.60	20.50	20.60	20.57	80.65	3168	1909.97	8376	103.86
14													1913.27		104.58
15	ESC-ESC-01	7	10.20	10.30	10.40	10.30	20.40	20.50	20.40	20.43	83.32	3109	1826.07	7884	94.62
15	ESC-ESC-01	7	10.20	10.20	10.30	10.23	21.00	20.90	21.00	20.97	82.25	3273	1897.98	8922	108.48
15	ESC-ESC-01	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.60	20.50	20.70	20.60	82.25	3140	1853.27	8487	103.19
15													1859.11		102.10
15	ESC-ESC-01	14	10.10	10.40	10.10	10.20	20.50	20.50	20.50	20.50	81.71	3165	1889.42	11317	138.50
15	ESC-ESC-01	14	10.00	10.20	10.30	10.17	20.90	20.80	20.90	20.87	81.18	3286	1939.85	13814	170.17
15	ESC-ESC-01	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.60	20.50	20.40	20.50	81.71	3157	1884.65	12293	150.44
15													1904.64		153.03
15	ESC-ESC-01	28	10.40	10.10	10.30	10.27	20.50	20.60	20.50	20.53	82.78	3209	1887.82	13386	161.70
15	ESC-ESC-01	28	10.20	10.40	10.20	10.27	20.50	20.50	20.50	20.50	82.78	3201	1886.18	15463	186.79
15	ESC-ESC-01	28	10.00	10.20	10.00	10.07	20.30	20.10	20.30	20.23	79.59	3116	1934.95	13813	173.55
15													1902.98		174.01
16	ESC-ESC-02	7	10.10	10.10	10.00	10.07	20.30	20.40	20.50	20.40	79.59	3299	2031.85	11455	143.92
16	ESC-ESC-02	7	10.20	10.20	10.00	10.13	20.40	20.70	20.70	20.60	80.65	3282	1975.50	10863	134.70
16	ESC-ESC-02	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.40	20.50	20.50	20.47	80.12	3270	1994.20	11246	140.37
16													2000.51		139.66
16	ESC-ESC-02	14	10.30	10.40	10.40	10.37	20.70	20.80	20.70	20.73	84.40	3418	1953.15	15759	186.71
16	ESC-ESC-02	14	10.10	10.10	10.10	10.10	20.60	20.50	20.50	20.53	80.12	3218	1956.11	14880	185.72
16	ESC-ESC-02	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.70	20.50	20.70	20.63	80.65	3304	1985.53	14577	180.75
16													1964.93		184.39
16	ESC-ESC-02	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.10	20.10	20.10	20.10	80.65	3162	1950.61	16419	203.59
16	ESC-ESC-02	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.00	20.20	20.20	20.13	79.59	3262	2035.67	16509	207.42
16	ESC-ESC-02	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.10	20.20	20.30	20.20	79.59	3093	1923.83	13958	175.37
16													1970.04		195.46

Nº	Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm²	Peso g	Densidad kg/m³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm²
17	ESC-ESC-03	7	10.50	10.00	10.00	10.17	20.40	20.50	20.30	20.40	81.18	3144	1898.48	8987	110.71
17	ESC-ESC-03	7	10.10	10.00	10.30	10.13	20.50	20.10	20.40	20.33	80.65	3113	1898.35	9327	115.65
17	ESC-ESC-03	7	10.00	10.50	10.60	10.37	20.50	20.50	20.40	20.47	84.40	3271	1893.50	9138	108.26
17													1896.78		111.54
17	ESC-ESC-03	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.40	20.40	20.40	20.40	82.25	3199	1906.60	11361	138.13
17	ESC-ESC-03	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.60	20.50	20.50	20.53	81.71	3202	1908.41	11222	137.33
17	ESC-ESC-03	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.30	20.20	20.30	20.27	80.65	3112	1903.98	11331	140.50
17													1906.33		138.66
17	ESC-ESC-03	28	10.20	10.30	10.10	10.20	20.50	20.50	20.60	20.53	81.71	3275	1951.92	14287	174.84
17	ESC-ESC-03	28	10.40	10.40	10.30	10.37	20.60	20.60	20.60	20.60	84.40	3344	1923.23	14633	173.37
17	ESC-ESC-03	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.60	20.60	20.40	20.53	82.25	3235	1915.54	13858	168.49
17													1930.23		172.23
18	ESC-ARE-01	7	10.10	10.30	10.20	10.20	20.50	20.40	20.40	20.43	81.71	3267	1956.68	13012	159.24
18	ESC-ARE-01	7	10.20	10.50	10.30	10.33	20.80	20.70	20.70	20.73	83.86	3404	1957.72	17359	206.99
18	ESC-ARE-01	7	10.30	10.00	10.30	10.20	20.30	20.30	20.30	20.30	81.71	3218	1939.99	14107	172.64
18													1951.46		179.62
18	ESC-ARE-01	14	10.30	10.20	10.20	10.23	20.60	20.50	20.60	20.57	82.25	3350	1980.42	18129	220.42
18	ESC-ARE-01	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.60	20.50	20.70	20.60	80.65	3437	2068.80	18307	227.00
18	ESC-ARE-01	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.50	20.50	20.40	20.47	79.59	3321	2038.73	17898	224.88
18													2029.32		224.10
18	ESC-ARE-01	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.70	20.30	20.40	20.47	80.65	3311	2005.94	19985	247.80
18	ESC-ARE-01	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.50	20.50	20.70	20.57	79.59	3325	2031.26	18122	227.69
18	ESC-ARE-01	28	10.10	10.20	10.20	10.17	20.70	20.70	20.70	20.70	81.18	3392	2018.55	20621	254.02
18													2018.58		243.17
19	ESC-ARE-02	7	10.20	10.40	10.20	10.27	20.70	20.70	20.70	20.70	82.78	3447	2011.51	13582	164.06
19	ESC-ARE-02	7	10.00	10.30	10.00	10.10	20.40	20.40	20.40	20.40	80.12	3299	2018.46	12040	150.28
19	ESC-ARE-02	7	10.30	10.30	10.30	10.30	20.80	20.70	20.80	20.77	83.32	3454	1996.14	12946	155.37
19													2008.70		156.57
19	ESC-ARE-02	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.50	20.40	20.60	20.50	80.65	3321	2008.72	14236	176.52
19	ESC-ARE-02	14	10.30	10.30	10.30	10.30	20.60	20.50	20.70	20.60	83.32	3407	1984.91	15248	183.00
19	ESC-ARE-02	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.50	20.30	20.50	20.43	81.18	3302	1990.63	14578	179.58
19													1994.76		179.70
19	ESC-ARE-02	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	3267	2032.06	18485	232.25
19	ESC-ARE-02	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.20	20.50	20.30	20.33	81.18	3232	1958.01	15278	188.20
19	ESC-ARE-02	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.90	20.80	20.80	20.83	80.65	3405	2026.58	19758	244.99
19													2005.55		221.81
20	ESC-ARE-03	7	10.20	10.50	10.10	10.27	20.60	20.50	20.70	20.60	82.78	3488	2045.32	14740	178.05
20	ESC-ARE-03	7	10.00	10.00	10.10	10.03	20.00	20.40	20.20	20.20	79.06	3392	2123.85	14511	183.53
20	ESC-ARE-03	7	10.40	10.20	10.20	10.27	20.50	20.60	20.50	20.53	82.78	3509	2064.31	15195	183.55
20													2077.83		181.71
20	ESC-ARE-03	14	10.50	10.00	10.00	10.17	20.40	20.50	20.50	20.47	81.18	3436	2068.04	15335	188.90
20	ESC-ARE-03	14	10.40	10.40	10.00	10.27	20.70	20.60	20.70	20.67	82.78	3576	2090.15	16857	203.63
20	ESC-ARE-03	14	10.30	10.30	10.20	10.27	20.20	20.30	20.20	20.23	82.78	3450	2059.69	15822	191.12
20													2072.63		194.55
20	ESC-ARE-03	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.60	20.40	20.40	20.47	79.59	3516	2158.44	18076	227.11
20	ESC-ARE-03	28	10.20	10.20	10.40	10.27	20.80	20.90	20.90	20.87	82.78	3659	2118.17	18881	228.07
20	ESC-ARE-03	28	10.10	10.20	10.20	10.17	20.50	20.60	20.60	20.57	81.18	3508	2101.11	18425	226.97
20													2125.91		227.38

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
21	ESC-PP-01	7	10.00	10.00	10.10	10.03	20.10	20.10	20.10	20.10	79.06	3170	1994.72	8481	107.27
21	ESC-PP-01	7	10.20	10.40	10.10	10.23	20.40	20.50	20.50	20.47	82.25	3222	1914.05	10151	123.42
21	ESC-PP-01	7	10.20	10.20	10.20	10.20	20.40	20.50	20.50	20.47	81.71	3293	1969.04	10381	127.04
21													1959.27		119.24
21	ESC-PP-01	14	10.20	10.10	10.00	10.10	20.40	20.20	20.00	20.20	80.12	3103	1917.33	12761	159.28
21	ESC-PP-01	14	10.20	10.00	10.00	10.07	20.50	20.20	20.40	20.37	79.59	3100	1912.41	10717	134.65
21	ESC-PP-01	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.30	20.10	20.10	20.17	80.65	3097	1904.20	12542	155.51
21													1911.31		149.81
21	ESC-PP-01	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.10	20.10	20.00	20.07	78.54	3088	1959.35	15544	197.91
21	ESC-PP-01	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.10	20.00	20.00	20.03	79.59	3098	1942.97	15655	196.69
21	ESC-PP-01	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.40	20.20	20.30	20.30	80.65	3204	1957.05	17038	211.26
21													1953.12		201.96
22	ESC-PP-02	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.50	20.60	20.50	20.53	82.25	3397	2011.46	10859	132.03
22	ESC-PP-02	7	10.00	10.00	10.20	10.07	20.20	20.10	20.30	20.20	79.59	3258	2026.46	8386	105.36
22	ESC-PP-02	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.30	20.20	20.20	20.23	82.25	3308	1987.81	10655	129.55
22													2008.58		122.31
22	ESC-PP-02	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.40	20.40	20.10	20.30	79.06	3215	2003.11	13391	169.37
22	ESC-PP-02	14	10.20	10.00	10.00	10.07	20.30	20.20	20.50	20.33	79.59	3248	2006.99	14931	187.60
22	ESC-PP-02	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.20	20.40	20.30	20.30	81.18	3233	1961.84	14478	178.35
22													1990.65		178.44
22	ESC-PP-02	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.30	20.20	20.20	20.23	78.54	3243	2040.75	19264	245.28
22	ESC-PP-02	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.30	20.20	20.00	20.17	82.25	3270	1971.47	17457	212.25
22	ESC-PP-02	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.20	20.20	20.00	20.13	80.65	3257	2005.89	19725	244.58
22													2006.04		234.04
23	ESC-PP-03	7	10.20	10.20	10.00	10.13	20.30	20.30	20.30	20.30	80.65	3324	2030.35	10176	126.18
23	ESC-PP-03	7	10.60	10.00	10.50	10.37	20.40	20.40	20.20	20.33	84.40	3371	1964.18	10141	120.15
23	ESC-PP-03	7	10.30	10.00	10.10	10.13	20.40	20.30	20.40	20.37	80.65	3350	2039.53	10021	124.26
23													2011.35		123.53
23	ESC-PP-03	14	9.50	10.50	10.10	10.03	20.00	20.30	20.60	20.30	79.06	3342	2082.24	12502	158.12
23	ESC-PP-03	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.70	20.60	20.50	20.60	79.06	3343	2052.53	12829	162.26
23	ESC-PP-03	14	10.00	10.20	10.10	10.10	20.60	20.40	20.40	20.47	80.12	3402	2074.70	12748	159.11
23													2069.82		159.83
23	ESC-PP-03	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.00	20.00	20.20	20.07	80.65	3296	2036.65	15701	194.69
23	ESC-PP-03	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.50	20.30	20.20	20.33	78.54	3307	2070.79	16345	208.11
23	ESC-PP-03	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.40	20.50	20.50	20.47	78.54	3332	2072.85	15853	201.85
23													2060.10		201.55
24	ESC-CE-01	7	10.00	10.10	10.00	10.03	20.50	20.10	20.20	20.27	79.06	3076	1919.66	10265	129.83
24	ESC-CE-01	7	10.10	10.30	10.20	10.20	20.50	20.40	20.20	20.37	81.71	3113	1870.55	10451	127.90
24	ESC-CE-01	7	10.60	10.30	10.50	10.47	20.50	20.40	20.40	20.43	86.04	3180	1808.76	8050	93.56
24													1866.32		117.10
24	ESC-CE-01	14	10.00	10.20	10.30	10.17	20.50	20.50	20.60	20.53	81.18	3129	1877.15	13959	171.95
24	ESC-CE-01	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.50	20.40	20.47	82.25	3128	1858.21	13556	164.82
24	ESC-CE-01	14	10.20	10.30	10.10	10.20	20.40	20.30	20.30	20.33	81.71	3115	1874.82	13754	168.32
24													1870.06		168.36
24	ESC-CE-01	28	10.20	10.00	10.00	10.07	20.40	20.40	20.40	20.40	79.59	3120	1921.60	14971	188.10
24	ESC-CE-01	28	10.40	10.20	10.30	10.30	20.40	20.50	20.50	20.47	83.32	3190	1870.59	13552	162.64
24	ESC-CE-01	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.30	20.30	20.40	20.33	80.12	3120	1915.20	14007	174.83
24													1902.46		175.19

Nº	Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
25	ESC-CE-02	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.10	20.10	20.10	20.10	80.12	3068	1905.14	8146	101.67
25	ESC-CE-02	7	10.30	10.30	10.10	10.23	20.40	20.40	20.30	20.37	82.25	3169	1891.81	6745	82.01
25	ESC-CE-02	7	10.10	10.00	10.10	10.07	20.30	20.20	20.30	20.27	79.59	3092	1916.88	6935	87.13
25													1904.61		90.27
25	ESC-CE-02	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.50	20.50	20.50	20.50	81.18	3068	1843.55	11206	138.04
25	ESC-CE-02	14	10.20	10.20	10.40	10.27	20.50	20.60	20.40	20.50	82.78	3063	1804.86	11596	140.07
25	ESC-CE-02	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.40	20.40	20.40	20.40	81.18	3047	1839.90	11478	141.39
25													1829.44		139.83
25	ESC-CE-02	28	10.10	10.30	10.00	10.13	20.30	20.20	20.20	20.23	80.65	3120	1912.02	14148	175.43
25	ESC-CE-02	28	9.90	10.20	10.10	10.07	20.50	20.50	20.50	20.50	79.59	3170	1942.87	15214	191.15
25	ESC-CE-02	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.50	20.40	20.40	20.43	80.12	3090	1887.50	15069	188.08
25													1914.13		184.89
26	ESC-CE-03	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.40	20.30	20.50	20.40	78.54	2994	1868.67	5813	74.01
26	ESC-CE-03	7	10.50	10.00	10.00	10.17	20.30	20.50	20.40	20.40	81.18	3018	1822.39	6737	82.99
26	ESC-CE-03	7	10.20	10.00	10.20	10.13	20.50	20.40	20.50	20.47	80.65	3035	1838.73	6134	76.06
26													1843.26		77.69
26	ESC-CE-03	14	10.00	10.30	10.20	10.17	20.50	20.40	20.40	20.43	81.18	3040	1832.68	7056	86.92
26	ESC-CE-03	14	10.00	10.40	10.00	10.13	20.50	20.40	20.50	20.47	80.65	3080	1865.99	7885	97.77
26	ESC-CE-03	14	10.00	10.20	10.10	10.10	20.30	20.30	20.40	20.33	80.12	3027	1858.11	7967	99.44
26													1852.26		94.71
26	ESC-CE-03	28	10.20	10.00	10.00	10.07	20.30	20.10	20.10	20.17	79.59	3020	1881.53	8271	103.92
26	ESC-CE-03	28	10.00	10.00	10.20	10.07	20.30	20.20	20.10	20.20	79.59	3050	1897.09	7971	100.15
26	ESC-CE-03	28	10.30	10.00	10.20	10.17	20.40	20.20	20.10	20.23	81.18	3080	1875.15	10253	126.30
26													1884.59		110.12
27	PP-ESC-01	7	10.30	10.20	10.00	10.17	20.10	20.10	20.00	20.07	81.18	2831	1737.87	6662	82.06
27	PP-ESC-01	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.10	20.20	20.00	20.10	78.54	2837	1797.10	6202	78.97
27	PP-ESC-01	7	10.40	10.00	10.00	10.13	20.10	20.50	20.40	20.33	80.65	2926	1784.01	5970	74.03
27													1772.99		78.35
27	PP-ESC-01	14	10.50	10.50	10.50	10.50	20.50	20.40	20.50	20.47	86.59	2907	1640.32	6642	76.71
27	PP-ESC-01	14	10.50	10.30	10.40	10.40	20.50	20.30	20.50	20.43	84.95	2999	1727.75	8778	103.33
27	PP-ESC-01	14	10.50	10.30	10.30	10.37	20.30	20.20	20.30	20.27	84.40	2870	1677.77	8151	96.57
27													1681.95		92.20
27	PP-ESC-01	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.30	20.30	20.30	20.30	80.65	2884	1761.59	9280	115.07
27	PP-ESC-01	28	10.50	10.50	10.40	10.47	20.70	20.60	20.50	20.60	86.04	3012	1699.34	10343	120.21
27	PP-ESC-01	28	10.20	10.20	10.50	10.30	20.70	20.70	20.70	20.70	83.32	3059	1773.56	8020	96.25
27													1744.83		110.51
28	PP-ESC-02	7	10.10	10.40	10.30	10.27	20.70	20.70	20.60	20.67	82.78	3151	1841.74	6083	73.48
28	PP-ESC-02	7	10.20	10.20	10.30	10.23	20.80	20.70	20.90	20.80	82.25	3188	1863.51	6322	76.87
28	PP-ESC-02	7	10.10	10.10	10.00	10.07	20.40	20.30	20.40	20.37	79.59	3029	1868.61	5562	69.88
28													1857.95		73.41
28	PP-ESC-02	14	10.40	10.30	10.00	10.23	20.10	20.00	20.10	20.07	82.25	3001	1818.30	7263	88.31
28	PP-ESC-02	14	10.40	10.60	10.50	10.50	21.00	20.90	20.80	20.90	86.59	3222	1780.37	7689	88.80
28	PP-ESC-02	14	10.10	10.20	10.30	10.20	20.50	20.40	20.40	20.43	81.71	3014	1805.15	7295	89.28
28													1801.28		88.79
28	PP-ESC-02	28	10.20	10.60	10.50	10.43	20.70	20.70	20.70	20.70	85.49	3065	1731.91	7085	82.87
28	PP-ESC-02	28	10.50	10.90	10.30	10.57	20.70	20.70	20.70	20.70	87.69	3165	1743.56	8285	94.48
28	PP-ESC-02	28	10.50	10.50	10.20	10.40	20.70	20.70	20.70	20.70	84.95	3203	1821.50	11585	136.38
28													1765.66		104.57

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
29	PP-ESC-03	7	10.20	10.40	10.30	10.30	20.70	20.70	20.90	20.77	83.32	3203	1851.08	5582	66.99
29	PP-ESC-03	7	10.20	9.80	10.20	10.07	20.20	20.40	20.30	20.30	79.59	3057	1892.07	6584	82.72
29	PP-ESC-03	7	10.00	10.10	10.20	10.10	20.40	20.30	20.20	20.30	80.12	3033	1864.85	5402	67.43
29													1869.34		72.38
29	PP-ESC-03	14	10.10	10.20	10.50	10.27	20.40	20.30	20.20	20.30	82.78	3137	1866.68	5896	71.22
29	PP-ESC-03	14	10.40	10.50	10.10	10.33	20.80	20.90	20.60	20.77	83.86	3290	1889.11	7095	84.60
29	PP-ESC-03	14	10.20	10.20	10.50	10.30	20.40	20.20	20.50	20.37	83.32	3187	1878.01	6859	82.32
29													1877.93		79.38
29	PP-ESC-03	28	10.20	10.20	10.40	10.27	20.60	20.70	20.70	20.67	82.78	3197	1868.63	7429	89.74
29	PP-ESC-03	28	10.10	10.40	10.30	10.27	20.50	20.30	20.50	20.43	82.78	3198	1890.56	8514	102.85
29	PP-ESC-03	28	10.10	10.20	10.60	10.30	20.70	20.70	20.70	20.70	83.32	3342	1937.63	8261	99.14
29													1898.94		97.24
30	PP-ARE-01	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.10	20.00	20.10	20.07	82.25	2845	1723.78	4174	50.75
30	PP-ARE-01	7	10.30	10.00	10.20	10.17	20.50	20.30	20.50	20.43	81.18	2923	1762.15	5910	72.80
30	PP-ARE-01	7	10.20	10.40	10.40	10.33	20.50	20.60	20.70	20.60	83.86	3075	1779.95	6443	76.83
30													1755.29		66.79
30	PP-ARE-01	14	10.50	10.20	10.30	10.33	20.70	20.50	20.60	20.60	83.86	3016	1745.51	6179	73.68
30	PP-ARE-01	14	10.00	10.00	10.20	10.07	20.30	20.20	20.60	20.37	79.59	2855	1760.96	5587	70.20
30	PP-ARE-01	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.40	20.20	20.40	20.33	81.18	2870	1738.71	5762	70.98
30													1748.39		71.62
30	PP-ARE-01	28	10.40	10.40	10.30	10.37	20.50	20.30	20.20	20.33	84.40	2930	1707.23	6571	77.85
30	PP-ARE-01	28	10.10	10.50	10.00	10.20	20.20	20.30	20.50	20.33	81.71	2970	1787.55	6450	78.93
30	PP-ARE-01	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.00	19.90	19.80	19.90	81.71	2841	1747.14	7840	95.95
30													1747.30		84.24
31	PP-ARE-02	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.60	20.70	20.80	20.70	84.95	3343	1900.84	6427	75.66
31	PP-ARE-02	7	10.10	10.40	10.30	10.27	20.30	20.40	20.40	20.37	82.78	3131	1857.01	6703	80.97
31	PP-ARE-02	7	10.10	10.10	10.20	10.13	20.20	20.30	20.30	20.27	80.65	3043	1861.46	5502	68.22
31													1873.10		74.95
31	PP-ARE-02	14	10.40	10.40	10.50	10.43	20.50	20.60	20.50	20.53	85.49	3119	1776.44	5034	58.88
31	PP-ARE-02	14	10.00	10.10	10.30	10.13	20.10	20.40	20.30	20.27	80.65	3026	1851.06	6703	83.11
31	PP-ARE-02	14	10.10	10.20	10.30	10.20	20.20	20.30	20.20	20.23	81.71	3030	1832.67	6884	84.25
31													1820.06		75.41
31	PP-ARE-02	28	10.50	10.50	10.00	10.33	20.40	20.40	20.30	20.37	83.86	3146	1841.91	8883	105.92
31	PP-ARE-02	28	10.40	10.30	10.20	10.30	20.30	20.00	20.30	20.20	83.32	3198	1900.04	9591	115.11
31	PP-ARE-02	28	10.50	10.10	10.00	10.20	20.00	20.30	20.40	20.23	81.71	3113	1882.87	8505	104.08
31													1874.94		108.37
32	PP-ARE-03	7	10.50	10.20	10.20	10.30	20.60	20.50	20.20	20.43	83.32	3398	1995.81	7389	88.68
32	PP-ARE-03	7	10.00	10.90	10.00	10.30	20.30	20.50	20.30	20.37	83.32	3362	1981.13	7485	89.83
32	PP-ARE-03	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.50	20.40	20.30	20.40	79.06	3369	2088.77	7284	92.13
32													2021.90		90.21
32	PP-ARE-03	14	10.10	10.20	10.30	10.20	20.50	20.30	20.40	20.40	81.71	3248	1948.48	10398	127.25
32	PP-ARE-03	14	10.50	10.30	10.50	10.43	20.50	20.40	20.60	20.50	85.49	3310	1888.59	9987	116.82
32	PP-ARE-03	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.40	20.30	20.20	20.30	81.18	3147	1909.65	9754	120.15
32													1915.57		121.41
32	PP-ARE-03	28	10.50	10.40	10.00	10.30	20.70	20.60	20.50	20.60	83.32	3360	1957.53	11923	143.09
32	PP-ARE-03	28	10.40	10.40	10.40	10.40	20.50	20.50	20.50	20.50	84.95	3283	1885.21	10547	124.16
32	PP-ARE-03	28	10.00	10.40	10.30	10.23	20.50	20.50	20.30	20.43	82.25	3344	1989.77	11574	140.72
32													1944.17		135.99

N°	Código de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
33	PP-PP-01	7	10.00	10.00	10.00	10.00	18.60	18.70	18.60	18.63	78.54	2679	1830.60	4818	61.34
33	PP-PP-01	7	10.10	10.10	10.40	10.20	19.40	19.20	19.20	19.27	81.71	2878	1828.07	6225	76.18
33	PP-PP-01	7	10.20	10.00	10.00	10.07	18.70	18.70	18.70	18.70	79.59	2659	1786.55	4480	56.29
33													1815.07		64.60
33	PP-PP-01	14	10.00	10.10	10.40	10.17	20.00	20.00	19.70	19.90	81.18	2899	1794.52	4970	61.22
33	PP-PP-01	14	10.40	10.00	10.30	10.23	20.30	20.50	20.30	20.37	82.25	2925	1746.15	3707	45.07
33	PP-PP-01	14	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.20	20.10	20.17	79.59	2864	1784.34	4751	59.69
33													1775.00		55.33
33	PP-PP-01	28	10.40	10.00	10.20	10.20	20.30	20.60	20.40	20.43	81.71	3091	1851.27	6811	83.35
33	PP-PP-01	28	10.00	10.00	10.80	10.27	20.30	20.50	20.30	20.37	82.78	3018	1789.99	3884	46.92
33	PP-PP-01	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.30	20.20	20.23	80.12	3032	1870.38	5435	67.84
33													1837.21		66.04
34	PP-PP-02	7	10.20	10.20	10.00	10.13	20.30	20.40	20.10	20.27	80.65	2914	1782.54	6949	86.16
34	PP-PP-02	7	10.30	10.60	10.30	10.40	20.60	20.60	20.40	20.53	84.95	2930	1679.78	6777	79.78
34	PP-PP-02	7	10.30	10.30	10.30	10.30	20.50	20.50	20.60	20.53	83.32	2933	1714.31	7175	86.11
34													1725.54		84.02
34	PP-PP-02	14	10.10	10.10	10.40	10.20	20.70	20.70	20.60	20.67	81.71	3069	1817.34	7571	92.65
34	PP-PP-02	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.30	20.00	20.20	20.17	79.06	2955	1853.29	6579	83.21
34	PP-PP-02	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.20	20.20	20.10	20.17	80.65	2947	1811.97	7483	92.79
34													1827.53		89.55
34	PP-PP-02	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.60	20.60	20.50	20.57	82.25	3035	1794.20	9266	112.66
34	PP-PP-02	28	10.00	10.10	10.50	10.20	20.60	20.60	20.50	20.57	81.71	3045	1811.90	5836	71.42
34	PP-PP-02	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.30	20.20	20.20	20.23	81.18	2974	1810.62	8516	104.90
34													1805.57		96.33
35	PP-PP-03	7	10.00	10.10	10.00	10.03	20.20	20.20	20.30	20.23	79.06	3061	1913.44	8911	112.71
35	PP-PP-03	7	10.10	10.10	10.00	10.07	20.40	20.20	20.20	20.27	79.59	3047	1888.99	8033	100.93
35	PP-PP-03	7	10.20	10.40	10.00	10.20	20.70	20.60	20.60	20.63	81.71	3184	1888.19	9284	113.62
35													1896.87		109.08
35	PP-PP-03	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.10	20.00	20.00	20.03	79.06	3134	1978.63	8832	111.71
35	PP-PP-03	14	10.20	10.10	10.00	10.10	20.40	20.60	20.40	20.47	80.12	3262	1989.32	11229	140.15
35	PP-PP-03	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.30	20.20	20.20	20.23	80.65	3210	1967.42	10186	126.30
35													1978.46		126.05
35	PP-PP-03	28	10.10	10.20	10.00	10.10	20.40	20.30	20.20	20.30	80.12	3230	1985.98	12015	149.97
35	PP-PP-03	28	10.00	10.00	10.10	10.03	20.30	20.20	20.30	20.27	79.06	3190	1990.80	11287	142.76
35	PP-PP-03	28	10.30	10.40	10.40	10.37	20.70	20.70	20.60	20.67	84.40	3395	1946.26	9907	117.37
35													1974.35		136.70
36	PP-CE-01	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.00	20.30	20.00	20.10	79.06	2579	1622.84	3432	43.41
36	PP-CE-01	7	10.00	10.10	10.20	10.10	20.40	20.40	20.50	20.43	80.12	2621	1601.01	3899	48.67
36	PP-CE-01	7	9.80	10.00	10.00	9.93	20.00	20.00	20.00	20.00	77.50	2242	1446.52	4102	52.93
36													1556.79		48.33
36	PP-CE-01	14	10.20	10.20	10.20	10.20	19.10	19.20	19.10	19.13	81.71	2521	1612.47	4814	58.91
36	PP-CE-01	14	10.20	10.00	10.00	10.07	19.10	19.10	19.10	19.10	79.59	2547	1675.46	3667	46.07
36	PP-CE-01	14	10.20	10.10	10.20	10.17	19.20	19.00	19.10	19.10	81.18	2534	1634.28	4759	58.62
36													1640.74		54.54
36	PP-CE-01	28	10.20	10.30	10.00	10.17	20.60	20.50	20.50	20.53	81.18	2740	1643.78	6567	80.89
36	PP-CE-01	28	10.30	10.30	10.20	10.27	20.60	20.50	20.50	20.53	82.78	2860	1682.51	4706	56.85
36	PP-CE-01	28	10.40	10.00	10.20	10.20	20.40	20.30	20.40	20.37	81.71	2630	1580.32	5035	61.62
36													1635.54		66.45

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
37	PP-CE-02	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.60	20.60	20.70	20.63	82.25	3029	1784.87	3845	46.75
37	PP-CE-02	7	10.10	10.10	10.00	10.07	20.40	20.40	20.40	20.40	79.59	2866	1765.16	3348	42.07
37	PP-CE-02	7	10.40	10.00	10.40	10.27	20.50	20.40	20.50	20.47	82.78	2928	1728.12	3532	42.67
37													1759.38		43.83
37	PP-CE-02	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.70	20.60	20.40	20.57	81.18	2596	1554.87	7269	89.54
37	PP-CE-02	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.50	20.60	20.40	20.50	79.06	2624	1618.94	7352	92.99
37	PP-CE-02	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.40	20.40	20.50	20.43	81.18	2547	1535.47	7802	96.11
37													1569.76		92.88
37	PP-CE-02	28	10.00	10.00	10.10	10.03	19.30	19.40	19.40	19.37	79.06	2650	1730.66	10254	129.69
37	PP-CE-02	28	10.00	10.20	10.00	10.07	19.00	19.20	19.30	19.17	79.59	2670	1750.26	10347	130.00
37	PP-CE-02	28	10.00	10.00	10.00	10.00	18.90	18.70	18.70	18.77	78.54	2680	1818.27	10147	129.20
37													1766.40		129.63
38	PP-CE-03	7	10.00	10.20	10.10	10.10	20.40	20.30	20.40	20.37	80.12	2967	1818.30	3771	47.07
38	PP-CE-03	7	10.00	10.20	10.10	10.10	20.30	20.00	20.00	20.10	80.12	2955	1834.97	3810	47.55
38	PP-CE-03	7	10.30	10.00	10.40	10.23	20.40	20.30	20.40	20.37	82.25	3005	1793.91	4533	55.11
38													1815.73		49.91
38	PP-CE-03	14	10.10	10.00	10.40	10.17	20.50	20.30	20.20	20.33	81.18	2865	1735.68	6011	74.05
38	PP-CE-03	14	10.40	10.30	10.30	10.33	20.50	20.40	20.50	20.47	83.86	2887	1682.01	5472	65.25
38	PP-CE-03	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.40	20.30	20.30	20.33	82.25	2845	1701.18	6079	73.91
38													1706.29		71.07
38	PP-CE-03	28	10.20	10.10	9.70	10.00	20.20	20.20	20.00	20.13	78.54	2900	1833.97	6219	79.18
38	PP-CE-03	28	10.10	9.90	10.10	10.03	19.70	19.80	20.00	19.83	79.06	2920	1862.12	7631	96.52
38	PP-CE-03	28	10.10	9.90	10.30	10.10	20.50	20.50	20.50	20.50	80.12	3040	1850.92	7252	90.52
38													1849.00		88.74
39	7.P12-ARE-01	7	10.20	10.30	10.50	10.33	20.40	20.50	20.40	20.43	83.86	3664	2138.19	18910	225.49
39	7.P12-ARE-01	7	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.30	20.40	20.30	81.71	3600	2170.28	15661	191.66
39	7.P12-ARE-01	7	10.10	10.00	10.20	10.10	20.20	20.30	20.30	20.27	80.12	3564	2194.94	18904	235.95
39													2167.80		217.70
39	7.P12-ARE-01	14	10.40	10.30	10.00	10.23	20.50	20.30	20.50	20.43	82.25	3690	2195.65	23440	284.99
39	7.P12-ARE-01	14	10.00	10.10	10.20	10.10	20.40	20.40	20.20	20.33	80.12	3650	2240.53	21860	272.85
39	7.P12-ARE-01	14	10.10	10.00	10.20	10.10	20.20	20.30	20.20	20.23	80.12	3621	2233.72	22145	276.40
39													2223.30		278.08
39	7.P12-ARE-01	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.80	20.80	20.70	20.77	80.65	3830	2286.85	26192	324.77
39	7.P12-ARE-01	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.60	20.50	20.57	81.18	3713	2223.89	24904	306.78
39	7.P12-ARE-01	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.50	20.40	20.40	20.43	80.65	3591	2179.12	25405	315.01
39													2229.95		315.52
40	7.P12-ARE-02	7	10.30	10.40	10.30	10.33	20.70	20.60	20.70	20.67	83.86	3752	2164.82	30810	367.38
40	7.P12-ARE-02	7	10.00	10.20	10.20	10.13	20.70	20.50	20.60	20.60	80.65	3644	2193.39	29517	366.00
40	7.P12-ARE-02	7	10.30	10.00	10.20	10.17	20.40	20.60	20.40	20.47	81.18	3621	2179.39	27641	340.49
40													2179.20		357.96
40	7.P12-ARE-02	14	10.00	10.00	10.20	10.07	20.50	20.40	20.50	20.47	79.59	3665	2249.91	34270	430.58
40	7.P12-ARE-02	14	10.10	10.00	10.20	10.10	20.50	20.40	20.50	20.47	80.12	3692	2251.55	33567	418.97
40	7.P12-ARE-02	14	10.00	10.20	10.10	10.10	20.40	20.40	20.30	20.37	80.12	3658	2241.77	33215	414.57
40													2247.74		421.37
40	7.P12-ARE-02	28	10.40	10.20	10.50	10.37	20.40	20.40	20.70	20.50	84.40	3694	2134.89	36508	432.53
40	7.P12-ARE-02	28	10.40	10.40	10.40	10.40	20.60	20.60	20.90	20.70	84.95	3801	2161.58	37527	441.76
40	7.P12-ARE-02	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.70	20.60	20.80	20.70	84.40	3812	2181.80	38005	450.27
40													2159.42		441.52

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
41	10.P12-PP-01	7	10.10	10.30	10.10	10.17	20.40	20.50	20.40	20.43	81.18	3590	2164.25	23578	290.44
41	10.P12-PP-01	7	10.10	10.00	10.10	10.07	20.40	20.40	20.50	20.43	79.59	3590	2207.47	24067	302.39
41	10.P12-PP-01	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.00	20.00	20.00	78.54	3350	2132.68	23408	298.04
41													2168.13		296.96
41	10.P12-PP-01	14	10.50	10.30	10.00	10.27	20.60	20.60	20.50	20.57	82.78	3555	2087.98	26839	324.20
41	10.P12-PP-01	14	10.40	10.40	10.20	10.33	20.50	20.60	20.70	20.60	83.86	3554	2057.21	25386	302.71
41	10.P12-PP-01	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.30	20.50	20.40	20.40	81.18	3413	2060.91	25879	318.79
41													2068.70		315.23
41	10.P12-PP-01	28	10.50	10.00	10.60	10.37	20.70	20.60	20.70	20.67	84.40	3588	2056.90	27343	323.95
41	10.P12-PP-01	28	10.40	10.30	10.20	10.30	20.50	20.70	20.60	20.60	83.32	3551	2068.80	31650	379.85
41	10.P12-PP-01	28	10.20	10.40	10.20	10.27	20.70	20.70	20.70	20.70	82.78	3517	2052.36	28299	341.84
41													2059.35		348.55
42	11.P12-PP-01	7	10.10	10.10	10.20	10.13	20.20	20.20	20.20	20.20	80.65	3405	2090.12	13835	171.55
42	11.P12-PP-01	7	10.60	10.60	10.60	10.60	20.70	20.70	20.70	20.70	88.25	3597	1969.10	14529	164.64
42	11.P12-PP-01	7	10.50	10.60	10.50	10.53	21.00	20.70	20.80	20.83	87.14	3660	2016.05	12560	144.13
42													2025.09		160.11
42	11.P12-PP-01	14	10.10	10.10	10.40	10.20	20.20	20.30	20.50	20.33	81.71	3600	2166.72	17071	208.91
42	11.P12-PP-01	14	10.10	10.20	10.30	10.20	20.20	20.50	20.70	20.47	81.71	3630	2170.55	17424	213.23
42	11.P12-PP-01	14	10.00	10.10	10.10	10.07	20.30	20.20	20.50	20.33	79.59	3541	2188.04	16985	213.40
42													2175.11		211.85
42	11.P12-PP-01	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.40	20.30	20.60	20.43	79.59	3478	2138.60	14766	185.52
42	11.P12-PP-01	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.00	20.20	20.20	20.13	81.18	3375	2064.96	19704	242.72
42	11.P12-PP-01	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.50	20.70	20.80	20.67	79.59	3578	2175.25	19965	250.85
42													2126.27		226.36
43	12.P12-CE-01	7	10.50	10.30	10.20	10.33	20.50	20.50	20.40	20.47	83.86	3570	2079.94	15677	186.94
43	12.P12-CE-01	7	10.40	10.30	10.20	10.30	20.40	20.40	20.50	20.43	83.32	3510	2061.60	16420	197.06
43	12.P12-CE-01	7	10.00	10.40	10.20	10.20	20.40	20.30	20.20	20.30	81.71	3450	2079.85	15251	186.64
43													2073.80		190.21
43	12.P12-CE-01	14	10.00	10.20	10.50	10.23	20.60	20.70	20.80	20.70	82.25	3633	2133.88	17732	215.59
43	12.P12-CE-01	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.20	20.20	20.20	81.71	3440	2084.09	16813	205.76
43	12.P12-CE-01	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.30	20.40	20.30	81.71	3387	2041.87	16548	202.51
43													2086.62		207.95
43	12.P12-CE-01	28	10.30	10.10	10.10	10.17	20.10	20.20	20.20	20.17	81.18	3428	2093.92	22396	275.88
43	12.P12-CE-01	28	10.40	10.20	10.50	10.37	20.70	20.60	20.40	20.57	84.40	3568	2055.38	21501	254.74
43	12.P12-CE-01	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.20	20.30	20.23	79.59	3404	2113.79	19744	248.07
43													2087.70		259.56
44	12.P12-CE-02	7	10.20	10.20	10.10	10.17	20.30	20.30	20.40	20.33	81.18	3377	2045.86	18051	222.36
44	12.P12-CE-02	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.20	20.20	20.00	20.13	80.12	3311	2052.63	17774	221.85
44	12.P12-CE-02	7	10.20	10.10	10.30	10.20	20.20	20.40	20.30	20.30	81.71	3385	2040.67	18375	224.87
44													2046.39		223.03
44	12.P12-CE-02	14	10.00	10.20	10.20	10.13	20.10	20.40	20.10	20.20	80.65	3400	2087.05	22327	276.84
44	12.P12-CE-02	14	10.30	10.00	10.30	10.20	20.40	20.50	20.60	20.50	81.71	3460	2065.53	22926	280.57
44	12.P12-CE-02	14	10.10	10.10	10.20	10.13	20.20	20.20	20.30	20.23	80.65	3387	2075.65	22235	275.70
44													2076.08		277.71
44	12.P12-CE-02	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.40	20.40	20.43	82.25	3425	2037.97	25488	309.89
44	12.P12-CE-02	28	10.40	10.10	10.40	10.30	20.50	20.50	20.30	20.43	83.32	3443	2022.24	25921	311.09
44	12.P12-CE-02	28	10.30	10.40	10.30	10.33	20.40	20.50	20.40	20.43	83.86	3434	2003.97	25018	298.32
44													2021.39		306.43

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
45	13.P12-CE-01	7	10.10	10.40	10.10	10.20	20.20	20.00	20.00	20.07	81.71	3231	1970.48	12830	157.01
45	13.P12-CE-01	7	10.50	10.40	10.50	10.47	20.50	20.40	20.50	20.47	86.04	3357	1906.33	12736	148.02
45	13.P12-CE-01	7	10.50	10.40	10.40	10.43	20.60	20.80	20.80	20.73	85.49	3451	1946.88	12271	143.53
45													1941.23		149.52
45	13.P12-CE-01	14	10.10	10.50	10.40	10.33	20.60	20.40	20.50	20.50	83.86	3376	1963.71	14883	177.47
45	13.P12-CE-01	14	10.50	10.30	10.20	10.33	20.60	20.50	20.70	20.60	83.86	3431	1986.02	15259	181.95
45	13.P12-CE-01	14	10.40	10.20	10.20	10.27	20.50	20.20	20.20	20.30	82.78	3301	1964.27	14975	180.89
45													1971.33		180.10
45	13.P12-CE-01	28	10.40	10.40	10.40	10.40	20.60	20.60	20.80	20.67	84.95	3488	1986.78	16105	189.59
45	13.P12-CE-01	28	10.50	10.30	10.50	10.43	20.70	20.70	20.80	20.73	85.49	3523	1987.50	17117	200.21
45	13.P12-CE-01	28	10.50	10.40	10.40	10.43	20.80	20.70	20.70	20.73	85.49	3447	1944.63	16919	197.90
45													1972.97		195.90
46	13.P12-CE-02	7	10.50	10.50	10.40	10.47	20.50	20.50	20.60	20.53	86.04	3336	1888.25	17066	198.35
46	13.P12-CE-02	7	10.00	10.00	10.10	10.03	20.60	20.50	20.50	20.53	79.06	3271	2014.84	16621	210.22
46	13.P12-CE-02	7	10.00	10.20	10.20	10.13	20.40	20.40	20.40	20.40	80.65	3200	1945.03	16941	210.06
46													1949.37		206.21
46	13.P12-CE-02	14	10.40	10.50	10.00	10.30	20.40	20.50	20.30	20.40	83.32	3260	1917.89	16924	203.11
46	13.P12-CE-02	14	10.30	10.00	10.30	10.20	20.40	20.40	20.40	20.40	81.71	3265	1958.68	17591	215.28
46	13.P12-CE-02	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.30	20.20	20.10	20.20	81.18	3201	1952.03	17213	212.04
46													1942.87		210.14
46	13.P12-CE-02	28	10.50	10.30	10.00	10.27	20.50	20.50	20.50	20.50	82.78	3374	1988.12	22860	276.14
46	13.P12-CE-02	28	10.50	10.20	10.00	10.23	20.60	20.60	20.60	20.60	82.25	3394	2003.18	21611	262.75
46	13.P12-CE-02	28	10.30	10.40	10.40	10.37	20.70	20.60	20.60	20.63	84.40	3417	1962.04	21581	255.68
46													1984.45		264.86
47	15.ESC-ESC-01	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.10	20.00	20.10	20.07	79.06	3086	1945.09	15602	197.33
47	15.ESC-ESC-01	7	10.40	10.20	10.20	10.27	20.60	20.40	20.60	20.53	82.78	3230	1900.18	14173	171.20
47	15.ESC-ESC-01	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.30	20.00	20.10	20.13	80.12	3087	1913.76	14918	186.20
47													1919.68		184.91
47	15.ESC-ESC-01	14	10.20	10.00	10.00	10.07	20.10	20.00	20.00	20.03	79.59	3033	1902.21	15473	194.41
47	15.ESC-ESC-01	14	10.30	10.10	10.10	10.17	20.00	20.00	20.00	20.00	81.18	3058	1883.48	16713	205.88
47	15.ESC-ESC-01	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.20	20.20	20.10	20.17	81.71	3024	1835.09	15987	195.65
47													1873.59		198.64
47	15.ESC-ESC-01	28	10.40	10.20	10.40	10.33	20.40	20.40	20.50	20.43	83.86	3195	1864.49	21368	254.80
47	15.ESC-ESC-01	28	10.50	10.40	10.20	10.37	20.70	20.50	20.70	20.63	84.40	3264	1874.19	21649	256.49
47	15.ESC-ESC-01	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.20	20.60	20.30	20.37	80.12	3121	1912.68	18919	236.14
47													1883.78		249.14
48	16.ESC-ESC-01	7	10.10	10.20	10.10	10.13	20.40	20.20	20.20	20.27	80.65	3141	1921.72	15889	197.02
48	16.ESC-ESC-01	7	10.20	10.10	10.20	10.17	20.40	20.20	20.00	20.20	81.18	3117	1900.81	15976	196.80
48	16.ESC-ESC-01	7	10.40	10.40	10.30	10.37	20.60	20.70	20.60	20.63	84.40	3302	1896.01	16516	195.68
48													1906.18		196.50
48	16.ESC-ESC-01	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.20	20.20	20.30	20.23	80.65	3203	1962.89	18876	234.05
48	16.ESC-ESC-01	14	10.30	10.20	10.30	10.27	20.70	20.50	20.50	20.57	82.78	3397	1995.18	19754	238.62
48	16.ESC-ESC-01	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.50	20.30	20.30	20.37	81.18	3297	1994.12	18782	231.36
48													1984.06		234.68
48	16.ESC-ESC-01	28	10.10	10.20	10.20	10.17	20.60	20.60	20.70	20.63	81.18	3331	1988.65	20102	247.62
48	16.ESC-ESC-01	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.60	20.70	20.67	80.12	3363	2031.06	21916	273.54
48	16.ESC-ESC-01	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.70	20.70	20.60	20.67	79.59	3403	2068.86	22280	279.93
48													2029.52		267.03

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
49	16.ESC-ESC-02	7	10.20	10.00	10.10	10.10	20.00	20.00	20.20	20.07	80.12	3250	2021.51	16984	211.99
49	16.ESC-ESC-02	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.00	20.20	20.07	80.12	3140	1953.09	14680	183.23
49	16.ESC-ESC-02	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.70	20.50	20.60	20.60	78.54	3140	1940.76	15450	196.72
49													1971.79		197.31
49	16.ESC-ESC-02	14	10.40	10.20	10.20	10.27	20.50	20.60	20.50	20.53	82.78	3274	1926.06	18857	227.78
49	16.ESC-ESC-02	14	10.00	10.50	10.10	10.20	20.40	20.50	20.40	20.43	81.71	3228	1933.32	18743	229.38
49	16.ESC-ESC-02	14	10.10	10.10	10.20	10.13	20.30	20.40	20.30	20.33	80.65	3135	1911.76	18547	229.97
49													1923.72		229.04
49	16.ESC-ESC-02	28	10.20	10.00	10.30	10.17	20.40	20.40	20.40	20.40	81.18	3192	1927.46	20682	254.77
49	16.ESC-ESC-02	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.70	20.70	20.70	20.70	84.40	3341	1912.22	22583	267.56
49	16.ESC-ESC-02	28	10.30	10.40	10.20	10.30	20.70	20.70	20.70	20.60	83.32	3266	1902.76	21263	255.19
49													1914.15		259.17
50	18.ESC-ARE-01	7	10.30	10.30	10.20	10.27	20.60	20.80	20.50	20.63	82.78	3311	1938.39	17394	210.11
50	18.ESC-ARE-01	7	10.20	10.10	10.30	10.20	20.60	20.70	20.70	20.67	81.71	3318	1964.79	16428	201.05
50	18.ESC-ARE-01	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.50	20.50	20.50	20.50	84.95	3298	1893.83	14333	168.73
50													1932.33		193.29
50	18.ESC-ARE-01	14	10.00	10.20	10.00	10.07	20.00	20.00	20.20	20.07	79.59	3252	2036.17	20556	258.27
50	18.ESC-ARE-01	14	10.30	10.30	10.20	10.27	20.50	20.60	20.80	20.63	82.78	3454	2022.11	23094	278.97
50	18.ESC-ARE-01	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.20	20.30	20.20	20.23	80.65	3297	2020.49	22005	272.85
50													2026.26		270.03
50	18.ESC-ARE-01	28	10.20	10.30	10.20	10.23	20.40	20.40	20.30	20.37	82.25	3196	1907.93	31204	379.39
50	18.ESC-ARE-01	28	10.30	10.30	10.40	10.33	20.70	20.50	20.70	20.63	83.86	3335	1927.33	23028	274.59
50	18.ESC-ARE-01	28	10.50	10.30	10.40	10.40	20.50	20.70	20.70	20.63	84.95	3330	1899.85	14738	173.49
50													1911.70		275.82
51	18.ESC-ARE-02	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.50	20.50	20.50	20.50	78.54	3266	2028.49	21848	278.18
51	18.ESC-ARE-02	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.40	20.40	20.40	20.40	79.59	3297	2030.61	21321	267.88
51	18.ESC-ARE-02	7	10.00	10.20	10.20	10.13	20.50	20.50	20.50	20.50	80.65	3303	1997.84	22228	275.62
51													2018.98		273.89
51	18.ESC-ARE-02	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.20	20.30	20.20	20.23	79.06	3248	2030.34	23891	302.17
51	18.ESC-ARE-02	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.30	20.20	20.20	20.23	79.06	3257	2035.96	22051	278.90
51	18.ESC-ARE-02	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.20	20.20	20.30	20.23	80.65	3305	2025.39	22987	285.03
51													2030.56		288.70
51	18.ESC-ARE-02	28	10.20	10.00	10.10	10.10	20.40	20.40	20.30	20.37	80.12	3310	2028.50	26803	334.54
51	18.ESC-ARE-02	28	10.00	10.00	10.10	10.03	20.50	20.50	20.50	20.50	79.06	3442	2123.62	25713	325.22
51	18.ESC-ARE-02	28	10.20	10.10	10.40	10.23	20.50	20.50	20.60	20.53	82.25	3401	2013.83	25298	307.58
51													2055.32		322.45
52	19.ESC-ARE-01	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.20	20.20	20.20	20.20	80.12	3149	1945.76	13807	172.33
52	19.ESC-ARE-01	7	10.20	10.30	10.10	10.20	20.40	20.40	20.50	20.43	81.71	3255	1949.49	13827	169.21
52	19.ESC-ARE-01	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.50	20.30	20.40	20.40	82.25	3223	1920.91	14112	171.58
52													1938.72		171.04
52	19.ESC-ARE-01	14	10.00	10.20	10.20	10.13	20.00	20.00	20.00	20.00	80.65	3245	2011.82	12325	152.82
52	19.ESC-ARE-01	14	10.50	10.40	10.50	10.47	20.60	20.70	20.60	20.63	86.04	3478	1958.80	16569	192.57
52	19.ESC-ARE-01	14	10.40	10.30	10.20	10.30	20.30	20.20	20.20	20.23	83.32	3378	2003.68	15458	185.52
52													1991.44		176.97
52	19.ESC-ARE-01	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.20	20.40	20.30	20.30	80.12	3220	1979.83	18424	229.96
52	19.ESC-ARE-01	28	10.10	10.20	10.00	10.10	20.30	20.02	20.70	20.34	80.12	3214	1972.25	17317	216.14
52	19.ESC-ARE-01	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.70	20.70	20.40	20.60	81.18	3383	2022.96	21325	262.69
52													1991.68		236.26

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
53	19.ESC-ARE-02	7	10.20	10.20	10.30	10.23	20.70	20.50	20.70	20.63	82.25	3504	2064.76	25458	309.53
53	19.ESC-ARE-02	7	10.00	10.00	10.10	10.03	20.40	20.30	20.40	20.37	79.06	3311	2056.17	24133	305.23
53	19.ESC-ARE-02	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.50	20.50	20.50	20.50	82.25	3452	2047.35	24133	293.42
53													2056.10		302.73
53	19.ESC-ARE-02	14	10.20	10.30	10.00	10.17	20.30	20.70	20.50	20.50	81.18	3570	2145.20	25995	320.22
53	19.ESC-ARE-02	14	10.20	10.00	10.50	10.23	20.50	20.70	20.60	20.60	82.25	3529	2082.86	24188	294.09
53	19.ESC-ARE-02	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.20	20.50	20.20	20.30	81.18	3470	2105.65	24875	306.42
53													2111.24		306.91
53	19.ESC-ARE-02	28	10.40	10.50	10.40	10.43	20.70	20.80	20.90	20.80	85.49	3657	2056.49	27559	322.35
53	19.ESC-ARE-02	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.40	20.30	20.40	20.37	79.06	3405	2114.54	28752	363.65
53	19.ESC-ARE-02	28	10.30	10.40	10.20	10.30	20.40	20.20	20.20	20.27	83.32	3432	2032.36	27040	324.52
53													2067.80		336.84
54	21.ESC-PP-01	7	10.10	10.00	10.10	10.07	20.10	20.10	20.00	20.07	79.59	3191	1997.98	16003	201.07
54	21.ESC-PP-01	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.10	20.20	20.00	20.10	80.12	3154	1958.54	14789	184.59
54	21.ESC-PP-01	7	10.20	10.20	10.20	10.20	20.10	20.20	20.20	20.17	81.71	3241	1966.78	14720	180.14
54													1974.43		188.60
54	21.ESC-PP-01	14	10.30	10.20	10.20	10.23	20.50	20.40	20.40	20.43	82.25	3330	1981.44	18551	225.55
54	21.ESC-PP-01	14	10.10	10.10	10.10	10.10	20.20	20.40	20.50	20.37	80.12	3174	1945.16	19709	246.00
54	21.ESC-PP-01	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.30	20.20	20.20	20.23	81.18	3201	1948.82	19015	234.23
54													1958.47		235.26
54	21.ESC-PP-01	28	10.20	10.50	10.20	10.30	20.50	20.50	20.40	20.47	83.32	3305	1938.03	20376	244.54
54	21.ESC-PP-01	28	10.00	10.00	10.30	10.10	20.40	20.40	20.20	20.33	80.12	3320	2037.97	22973	286.74
54	21.ESC-PP-01	28	10.40	10.00	10.50	10.30	20.30	20.50	20.50	20.43	83.32	3358	1972.32	20437	245.27
54													1982.77		258.85
55	22.ESC-PP-01	7	10.10	10.20	10.30	10.20	20.40	20.40	20.40	20.40	81.71	3219	1931.08	14554	178.11
55	22.ESC-PP-01	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.10	20.00	20.10	20.07	78.54	3127	1984.10	14092	179.42
55	22.ESC-PP-01	7	10.60	10.10	10.00	10.23	20.40	20.20	20.40	20.33	82.25	3183	1903.29	13706	166.64
55													1939.49		174.73
55	22.ESC-PP-01	14	10.10	10.00	10.40	10.17	20.50	20.40	20.50	20.47	81.18	3204	1928.41	16901	208.19
55	22.ESC-PP-01	14	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.10	20.20	20.10	80.12	3083	1914.45	17117	213.65
55	22.ESC-PP-01	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.20	20.20	20.30	20.23	82.25	3214	1931.32	16874	205.16
55													1924.73		209.00
55	22.ESC-PP-01	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.30	20.20	20.00	20.17	79.06	3160	1981.86	14969	189.33
55	22.ESC-PP-01	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.70	20.00	20.23	78.54	3153	1984.11	19573	249.21
55	22.ESC-PP-01	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.70	20.60	20.50	20.60	78.54	3360	2076.74	21720	276.55
55													2014.24		238.36
56	24.ESC-CE-01	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.60	20.60	20.50	20.57	84.95	3245	1857.35	11717	137.93
56	24.ESC-CE-01	7	10.20	10.40	10.40	10.33	20.50	20.30	20.60	20.47	83.86	3157	1839.32	15490	184.71
56	24.ESC-CE-01	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.20	20.10	20.00	20.10	79.59	3071	1919.65	14134	177.58
56													1872.11		166.74
56	24.ESC-CE-01	14	10.50	10.40	10.30	10.40	20.60	20.50	20.40	20.50	84.95	3345	1920.82	11788	138.77
56	24.ESC-CE-01	14	10.40	10.50	10.50	10.47	20.70	20.70	20.90	20.77	86.04	3465	1939.23	16222	188.54
56	24.ESC-CE-01	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.50	20.40	20.47	82.25	3247	1928.91	15147	184.16
56													1929.65		170.49
56	24.ESC-CE-01	28	10,4	10.40	10.40	10.40	20.30	20.70	20.70	20.57	84.95	3387	1938.63	19387	228.22
56	24.ESC-CE-01	28	10,4	10.30	10.30	10.30	20.40	20.40	20.70	20.50	83.32	3269	1913.80	17622	211.49
56	24.ESC-CE-01	28	10,4	10.20	10.20	10.20	20.70	20.70	20.80	20.73	81.71	3371	1989.75	17875	218.75
56													1947.39		219.49

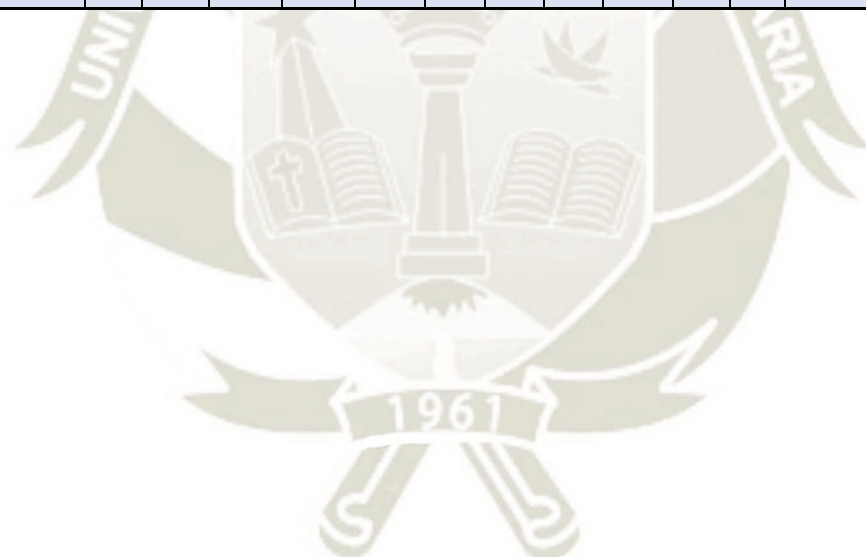
Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
57	25.ESC-CE-01	7	10.20	10.30	10.10	10.20	20.30	20.40	20.50	20.40	81.71	3108	1864.49	9322	114.08
57	25.ESC-CE-01	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.20	20.30	20.20	20.23	82.25	3074	1847.19	9088	110.50
57	25.ESC-CE-01	7	10.20	10.40	10.70	10.43	20.50	20.40	20.40	20.43	85.49	3168	1813.47	9573	111.97
57													1841.72		112.18
57	25.ESC-CE-01	14	10.20	10.00	10.10	10.10	20.30	20.50	20.60	20.47	80.12	3022	1842.95	14185	177.05
57	25.ESC-CE-01	14	10.10	10.30	10.40	10.27	20.40	20.50	20.70	20.53	82.78	3188	1875.47	14210	171.65
57	25.ESC-CE-01	14	10.20	10.20	10.00	10.13	20.30	20.40	20.30	20.33	80.65	3015	1838.59	14129	175.19
57													1852.34		174.63
57	25.ESC-CE-01	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.50	20.30	20.40	20.40	81.71	3170	1901.69	16847	206.17
57	25.ESC-CE-01	28	10.40	10.20	10.30	10.30	20.60	20.50	20.40	20.50	83.32	3247	1900.92	14802	177.65
57	25.ESC-CE-01	28	10.00	10.20	10.10	10.10	20.40	20.50	20.40	20.43	80.12	3128	1910.71	15908	198.56
57													1904.44		194.13
58	25.ESC-CE-02	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.00	20.10	20.10	20.07	80.12	3009	1871.61	15491	193.35
58	25.ESC-CE-02	7	10.30	10.40	10.30	10.33	20.50	20.50	20.50	20.50	83.86	3195	1858.43	14477	172.63
58	25.ESC-CE-02	7	10.00	10.20	10.20	10.13	20.10	20.00	20.10	20.07	80.65	3057	1888.97	15171	188.11
58													1873.00		184.70
58	25.ESC-CE-02	14	10.30	10.20	10.30	10.27	20.50	20.40	20.40	20.43	82.78	3200	1891.74	16971	205.00
58	25.ESC-CE-02	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.50	20.50	20.50	20.50	79.06	3008	1855.85	15537	196.51
58	25.ESC-CE-02	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.40	20.20	20.30	20.30	81.18	3047	1848.97	15874	195.54
58													1865.52		199.02
58	25.ESC-CE-02	28	10.30	10.00	10.40	10.23	20.60	20.60	20.60	20.60	82.25	3248	1917.01	18731	227.74
58	25.ESC-CE-02	28	10.50	10.40	10.00	10.30	20.50	20.40	20.20	20.37	83.32	3096	1824.39	17304	207.67
58	25.ESC-CE-02	28	10.00	10.50	10.30	10.27	20.60	20.30	20.50	20.47	82.78	3105	1832.59	16903	204.18
58													1858.00		213.20
59	7.P12-ARE-10	7	10.40	10.50	10.40	10.43	20.70	20.70	20.70	20.70	85.49	3699	2090.15	11129	130.17
59	7.P12-ARE-10	7	10.00	10.40	10.00	10.13	20.10	20.00	20.10	20.07	80.65	3472	2145.41	10646	132.01
59	7.P12-ARE-10	7	10.40	10.20	10.20	10.27	20.00	20.00	20.00	20.00	82.78	3484	2104.26	11140	134.57
59													2113.27		132.25
59	7.P12-ARE-10	14	10.10	10.50	10.40	10.33	20.60	20.70	20.50	20.60	83.86	3668	2123.20	14215	169.50
59	7.P12-ARE-10	14	10.20	10.50	10.20	10.30	20.70	20.50	20.40	20.53	83.32	3632	2122.86	12879	154.57
59	7.P12-ARE-10	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.50	20.50	20.40	20.47	81.71	3512	2099.99	13548	165.80
59													2115.35		163.29
59	7.P12-ARE-10	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.70	20.50	20.40	20.53	79.59	3599	2202.22	15539	195.24
59	7.P12-ARE-10	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.70	20.60	20.50	20.60	78.54	3646	2253.51	14660	186.66
59	7.P12-ARE-10	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	3461	2152.73	15793	198.43
59													2202.82		193.44
60	7.P12-ARE-15	7	10.20	10.40	10.40	10.33	20.40	20.50	20.30	20.40	83.86	3551	2075.63	10557	125.88
60	7.P12-ARE-15	7	10.40	10.10	10.10	10.20	20.40	20.40	20.40	20.40	81.71	3573	2143.45	10021	122.64
60	7.P12-ARE-15	7	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.00	20.00	20.00	78.54	3440	2189.97	11690	148.84
60													2136.35		132.45
60	7.P12-ARE-15	14	10.50	10.20	10.50	10.40	20.20	20.50	20.50	20.40	84.95	3566	2057.76	12725	149.80
60	7.P12-ARE-15	14	10.50	10.10	10.40	10.33	20.50	20.50	20.60	20.53	83.86	3549	2060.99	10328	123.15
60	7.P12-ARE-15	14	10.40	10.20	10.20	10.27	20.30	20.50	20.50	20.43	82.78	3497	2067.32	10904	131.72
60													2062.02		134.89
60	7.P12-ARE-15	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.50	20.70	20.63	80.12	3615	2186.79	12077	150.74
60	7.P12-ARE-15	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.40	20.30	20.30	20.33	79.59	3526	2178.78	11732	147.40
60	7.P12-ARE-15	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.30	20.20	20.20	20.23	79.59	3400	2111.30	11877	149.23
60													2158.95		149.12

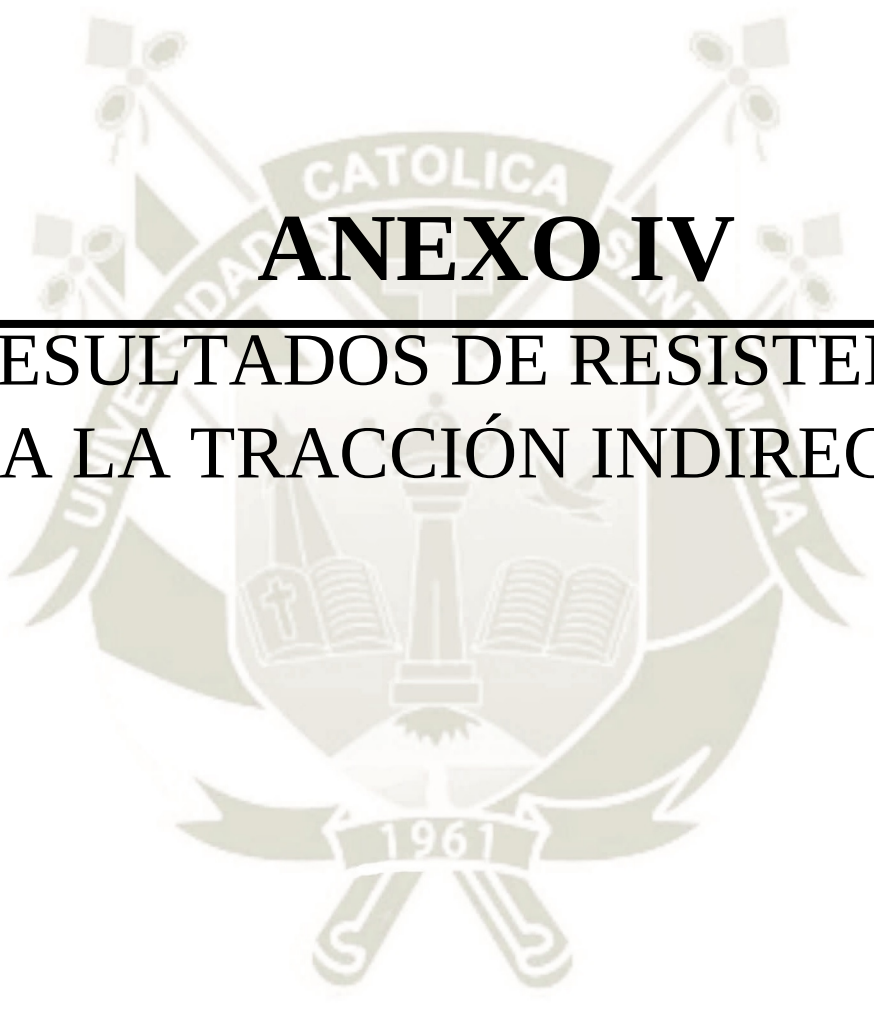
Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
61	7.P12-ARE-20	7	10.00	10.30	10.20	10.17	20.50	20.40	20.40	20.43	81.18	3417	2059.96	10167	125.24
61	7.P12-ARE-20	7	10.20	10.20	10.20	10.20	20.70	20.70	20.70	20.70	81.71	3578	2115.34	8732	106.86
61	7.P12-ARE-20	7	10.30	10.10	10.10	10.17	20.60	20.60	20.60	20.60	81.18	3500	2092.93	10189	125.51
61													2089.41		119.20
61	7.P12-ARE-20	14	10.30	10.40	10.40	10.37	20.70	20.60	20.70	20.67	84.40	3405	1951.99	10345	122.56
61	7.P12-ARE-20	14	10.40	10.30	10.40	10.37	20.80	20.70	20.70	20.73	84.40	3525	2014.29	10178	120.59
61	7.P12-ARE-20	14	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.50	20.80	20.60	82.25	3410	2012.63	9956	121.05
61													1992.97		121.40
61	7.P12-ARE-20	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.30	20.20	20.40	20.30	80.65	3359	2051.73	10570	131.06
61	7.P12-ARE-20	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.30	20.30	20.40	20.33	80.65	3393	2069.10	10003	124.03
61	7.P12-ARE-20	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.70	20.80	20.70	20.73	80.65	3560	2129.05	11897	147.52
61													2083.29		134.20
62	7.P12-ARE-25	7	10.20	10.10	10.00	10.10	20.30	20.60	20.60	20.50	80.12	3447	2098.72	8766	109.41
62	7.P12-ARE-25	7	10.00	10.00	10.20	10.07	20.30	20.50	20.30	20.37	79.59	3344	2062.93	8578	107.78
62	7.P12-ARE-25	7	10.30	10.10	10.10	10.17	20.70	20.80	20.70	20.73	81.18	3526	2094.91	8496	104.66
62													2085.52		107.28
62	7.P12-ARE-25	14	10.40	10.20	10.00	10.20	20.70	20.60	20.70	20.67	81.71	3538	2095.06	9433	115.44
62	7.P12-ARE-25	14	10.20	10.60	10.40	10.40	20.80	20.70	20.00	20.50	84.95	3494	2006.38	8795	103.53
62	7.P12-ARE-25	14	10.20	10.50	10.40	10.37	20.50	20.50	20.50	20.50	84.40	3450	1993.87	9182	108.79
62													2031.77		109.25
62	7.P12-ARE-25	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.70	20.80	20.70	20.73	79.59	3552	2152.50	10691	134.33
62	7.P12-ARE-25	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.50	20.30	20.20	20.33	80.65	3336	2034.34	9138	113.31
62	7.P12-ARE-25	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.90	20.80	20.70	20.80	79.59	3601	2175.20	9131	114.72
62													2120.68		120.79
63	7.P12-ARE-30	7	10.40	10.20	10.30	10.30	20.70	20.60	20.60	20.63	83.32	3424	1991.59	8085	97.03
63	7.P12-ARE-30	7	10.20	10.30	10.20	10.23	20.70	20.70	20.60	20.67	82.25	3363	1978.48	7208	87.64
63	7.P12-ARE-30	7	10.30	10.20	10.30	10.27	20.80	20.70	20.80	20.77	82.78	3582	2083.58	8150	98.45
63													2017.88		94.37
63	7.P12-ARE-30	14	10.30	10.40	10.40	10.37	21.00	20.90	20.80	20.90	84.40	3548	2011.26	7975	94.48
63	7.P12-ARE-30	14	10.40	10.40	10.20	10.33	20.80	20.70	20.70	20.73	83.86	3484	2003.73	8090	96.47
63	7.P12-ARE-30	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.80	20.50	20.70	20.67	81.71	3470	2054.80	7960	97.41
63													2023.26		96.12
63	7.P12-ARE-30	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.50	20.70	20.70	20.63	79.59	3472	2114.21	8684	109.11
63	7.P12-ARE-30	28	10.00	10.20	10.20	10.13	20.90	20.80	20.80	20.83	80.65	3539	2106.33	8777	108.83
63	7.P12-ARE-30	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.40	20.20	20.30	20.30	79.59	3339	2066.61	8029	100.88
63													2095.72		106.27
64	48.ESC-ESC-10	7	10.10	10.10	10.00	10.07	20.20	20.10	20.10	20.13	79.59	3162	1973.26	16031	201.42
64	48.ESC-ESC-10	7	10.00	10.30	10.00	10.10	20.20	20.30	20.30	20.27	80.12	3132	1928.89	14064	175.54
64	48.ESC-ESC-10	7	10.00	10.00	10.30	10.10	20.70	20.20	20.40	20.43	80.12	3137	1916.21	15995	199.64
64													1939.45		192.20
64	48.ESC-ESC-10	14	10.10	10.20	10.20	10.17	20.70	20.70	20.70	20.70	81.18	3269	1945.35	17464	215.13
64	48.ESC-ESC-10	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.50	20.60	20.57	81.18	3306	1980.12	17186	211.70
64	48.ESC-ESC-10	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.50	20.50	20.40	20.47	81.18	3287	1978.36	17025	209.72
64													1967.94		212.18
64	48.ESC-ESC-10	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.70	20.70	20.70	20.70	79.59	3335	2024.25	20240	254.30
64	48.ESC-ESC-10	28	10.00	10.00	10.10	10.03	20.50	20.50	20.50	20.50	79.06	3149	1942.85	21158	267.61
64	48.ESC-ESC-10	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.60	20.70	20.70	20.67	80.65	3289	1973.33	18870	233.98
64													1980.14		251.96

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
65	48.ESC-ESC-15	7	10.20	10.30	10.30	10.27	20.70	20.90	21.00	20.87	82.78	3395	1965.34	15056	181.87
65	48.ESC-ESC-15	7	10.30	10.30	10.20	10.27	20.70	20.50	20.80	20.67	82.78	3303	1930.59	15632	188.83
65	48.ESC-ESC-15	7	10.50	10.30	10.50	10.43	20.70	20.60	20.70	20.67	85.49	3333	1886.38	15022	175.71
65													1927.44		182.14
65	48.ESC-ESC-15	14	10.30	10.10	10.20	10.20	20.40	20.40	20.30	20.37	81.71	3133	1882.57	18295	223.89
65	48.ESC-ESC-15	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.40	20.30	20.20	20.30	81.18	3145	1908.44	13997	172.42
65	48.ESC-ESC-15	14	10.10	10.10	10.10	10.10	20.40	20.30	20.30	20.33	80.12	3101	1903.53	16578	206.92
65													1898.18		201.08
65	48.ESC-ESC-15	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.40	20.30	20.30	20.33	79.59	3143	1942.11	17515	220.06
65	48.ESC-ESC-15	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.60	20.50	20.40	20.50	80.12	3256	1982.43	19423	242.43
65	48.ESC-ESC-15	28	10.00	10.10	10.00	10.03	20.30	20.20	20.20	20.23	79.06	3153	1970.95	19546	247.22
65													1965.17		236.57
66	48.ESC-ESC-20	7	10.40	10.30	10.50	10.40	20.70	20.50	20.60	20.60	84.95	3231	1846.35	14347	168.89
66	48.ESC-ESC-20	7	10.20	10.40	10.30	10.30	20.60	20.40	20.30	20.43	83.32	3133	1840.17	14995	179.96
66	48.ESC-ESC-20	7	10.30	10.30	10.30	10.30	20.50	20.50	20.70	20.57	83.32	3290	1919.85	13944	167.35
66													1868.79		172.07
66	48.ESC-ESC-20	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.70	20.80	20.70	20.73	80.65	3284	1963.99	14381	178.32
66	48.ESC-ESC-20	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.70	20.60	20.63	81.18	3251	1940.89	16316	200.99
66	48.ESC-ESC-20	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.50	20.50	20.60	20.53	81.18	3212	1926.94	15478	190.66
66													1943.94		189.99
66	48.ESC-ESC-20	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.70	20.70	20.70	20.70	79.06	3294	2012.67	17681	223.63
66	48.ESC-ESC-20	28	10.00	10.10	10.00	10.03	20.50	20.50	20.60	20.53	79.06	3220	1983.43	17516	221.54
66	48.ESC-ESC-20	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.70	20.70	20.70	20.70	79.59	3197	1940.49	17934	225.33
66													1978.86		223.50
67	54.ESC-PP-10	7	10.10	10.20	10.10	10.13	20.10	20.20	20.20	20.17	80.65	3098	1904.81	15378	190.68
67	54.ESC-PP-10	7	10.50	10.10	10.40	10.33	20.30	20.20	20.20	20.23	83.86	3096	1824.58	15124	180.34
67	54.ESC-PP-10	7	10.40	10.50	10.80	10.57	20.60	20.60	20.60	20.60	87.69	3309	1831.74	17614	200.86
67													1853.71		190.63
67	54.ESC-PP-10	14	10.20	10.00	10.10	10.10	20.70	20.80	20.80	20.77	80.12	3334	2003.85	18407	229.75
67	54.ESC-PP-10	14	10.10	10.10	10.00	10.07	20.70	20.70	20.50	20.63	79.59	3143	1913.88	16926	212.66
67	54.ESC-PP-10	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.60	20.50	20.50	20.53	80.65	3214	1940.85	17813	220.87
67													1952.86		221.09
67	54.ESC-PP-10	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.20	20.20	20.20	20.20	80.65	3200	1964.28	17188	213.12
67	54.ESC-PP-10	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.30	20.20	20.10	20.20	79.59	3254	2023.97	17283	217.15
67	54.ESC-PP-10	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.40	20.30	20.40	20.37	79.59	3242	2000.01	20010	251.41
67													1996.09		227.23
68	54.ESC-PP-15	7	10.50	10.50	10.50	10.50	20.60	20.50	20.60	20.57	86.59	3308	1857.52	16361	188.95
68	54.ESC-PP-15	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.70	20.60	20.80	20.70	84.95	3262	1855.06	17425	205.12
68	54.ESC-PP-15	7	10.40	10.50	10.50	10.47	20.40	20.30	20.40	20.37	86.04	3270	1866.04	18191	211.42
68													1859.54		201.83
68	54.ESC-PP-15	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.70	20.80	20.80	20.77	79.59	3249	1965.72	15133	190.14
68	54.ESC-PP-15	14	10.00	10.10	10.20	10.10	20.70	20.90	20.80	20.80	80.12	3274	1964.64	17756	221.62
68	54.ESC-PP-15	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.50	20.50	20.70	20.57	80.65	3254	1961.82	16547	205.18
68													1964.06		205.64
68	54.ESC-PP-15	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.20	20.30	20.10	20.20	80.65	3178	1950.78	14908	184.85
68	54.ESC-PP-15	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.10	20.20	20.40	20.23	79.06	3198	1999.08	18575	234.94
68	54.ESC-PP-15	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.20	20.20	20.30	20.23	80.65	3205	1964.11	19990	247.87
68													1971.32		222.55

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
69	54.ESC-PP-20	7	10.30	10.20	10.00	10.17	20.50	20.60	20.40	20.50	81.18	2998	1801.49	13249	163.21
69	54.ESC-PP-20	7	10.40	10.20	10.20	10.27	20.60	20.70	20.50	20.60	82.78	3086	1809.59	11425	138.01
69	54.ESC-PP-20	7	10.20	10.50	10.40	10.37	20.70	20.80	20.80	20.77	84.40	3189	1819.36	14240	168.71
69													1810.15		156.64
69	54.ESC-PP-20	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.70	20.70	20.80	20.73	79.59	3258	1974.33	15177	190.69
69	54.ESC-PP-20	14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.70	20.80	20.70	81.18	3226	1919.76	14808	182.41
69	54.ESC-PP-20	14	10.10	10.10	10.20	10.13	20.50	20.50	20.60	20.53	80.65	3231	1951.12	15078	186.96
69													1948.40		186.69
69	54.ESC-PP-20	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.10	20.20	20.17	80.12	3187	1972.49	15331	191.35
69	54.ESC-PP-20	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.20	20.10	20.30	20.20	80.65	3170	1945.87	18518	229.61
69	54.ESC-PP-20	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.10	20.30	20.40	20.27	80.12	3197	1968.92	14973	186.89
69													1962.43		202.62
70	47.ESC-ESC-10	7	10.20	10.40	10.20	10.27	20.80	20.80	20.40	20.67	82.78	3038	1775.70	10069	121.63
70	47.ESC-ESC-10	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.80	20.80	20.80	20.80	84.95	3158	1787.28	13776	162.17
70	47.ESC-ESC-10	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.60	20.50	20.60	20.57	84.95	3079	1762.34	12855	151.33
70													1775.10		145.04
70	47.ESC-ESC-10	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.60	20.60	20.70	20.63	81.18	3184	1900.89	15702	193.42
70	47.ESC-ESC-10	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.60	20.70	20.80	20.70	79.59	3265	1981.76	15582	195.78
70	47.ESC-ESC-10	14	10.20	10.20	10.20	10.20	20.50	20.50	20.60	20.53	81.71	3257	1941.19	15547	190.26
70													1941.28		193.15
70	47.ESC-ESC-10	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.30	20.20	20.23	80.12	3154	1945.64	16334	203.87
70	47.ESC-ESC-10	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.20	20.20	20.30	20.23	80.12	3174	1957.97	16566	206.77
70	47.ESC-ESC-10	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.10	20.20	20.40	20.23	80.12	3164	1951.80	17480	218.18
70													1951.80		209.61
71	47.ESC-ESC-20	7	10.20	10.40	10.40	10.33	21.00	20.90	21.00	20.97	83.86	3287	1869.39	9329	111.24
71	47.ESC-ESC-20	7	10.40	10.40	10.40	10.40	20.80	20.70	20.60	20.70	84.95	3191	1814.68	9220	108.54
71	47.ESC-ESC-20	7	10.30	10.20	10.20	10.23	20.40	20.70	20.70	20.60	82.25	3042	1795.43	8462	102.88
71													1826.50		107.55
71	47.ESC-ESC-20	14	10.10	10.20	10.00	10.10	20.20	20.20	20.20	20.20	80.12	3041	1879.02	8624	107.64
71	47.ESC-ESC-20	14	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.20	20.30	20.23	79.59	3076	1910.11	10658	133.91
71	47.ESC-ESC-20	14	10.10	10.00	10.10	10.07	20.00	20.20	20.20	20.13	79.59	3051	1903.99	9808	123.23
71													1897.71		121.59
71	47.ESC-ESC-20	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.10	20.20	20.10	20.13	80.65	3202	1972.02	12625	156.54
71	47.ESC-ESC-20	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.00	20.10	20.20	20.10	81.18	3064	1877.78	11718	144.35
71	47.ESC-ESC-20	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.30	20.20	20.40	20.30	81.18	3008	1825.30	10459	128.84
71													1891.70		143.24
72	50.ESC-ARE-10	7	10.40	10.40	10.50	10.43	20.90	20.80	20.70	20.80	85.49	3358	1888.34	13635	159.48
72	50.ESC-ARE-10	7	10.20	10.40	10.30	10.30	20.60	20.70	20.80	20.70	83.32	3270	1895.89	12942	155.32
72	50.ESC-ARE-10	7	10.40	10.40	10.30	10.37	20.40	20.50	20.70	20.53	84.40	3156	1821.00	11823	140.07
72													1868.41		151.63
72	50.ESC-ARE-10	14	10.10	10.10	10.20	10.13	20.60	20.40	20.60	20.53	80.65	3283	1982.52	15479	191.93
72	50.ESC-ARE-10	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.60	20.70	20.70	20.67	78.54	3281	2021.37	17273	219.93
72	50.ESC-ARE-10	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.50	20.50	20.60	20.53	80.65	3270	1974.67	16547	205.18
72													1992.85		205.68
72	50.ESC-ARE-10	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.40	20.30	20.60	20.43	81.18	3134	1889.35	14840	182.80
72	50.ESC-ARE-10	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.00	20.20	20.20	20.13	80.65	3299	2031.76	20290	251.59
72	50.ESC-ARE-10	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.50	20.70	20.80	20.67	80.12	3225	1947.72	20060	250.38
72													1956.28		228.26

Nº	Codigo de diseño	Edad días	d 1 cm	d 2 cm	d 3 cm	d prom cm	h 1 cm	h 2 cm	h 3 cm	h prom cm	Area cm ²	Peso g	Densidad kg/m ³	Fuerza kgf	Resistencia kgf/cm ²
73	50.ESC-ARE-20	7	10.40	10.30	10.30	10.33	20.50	20.30	20.50	20.43	83.86	3217	1877.33	11262	134.29
73	50.ESC-ARE-20	7	10.60	10.40	10.20	10.40	20.20	20.50	20.70	20.47	84.95	3256	1872.75	10571	124.44
73	50.ESC-ARE-20	7	10.40	10.40	10.50	10.43	20.70	20.70	20.70	20.70	85.49	3291	1859.61	10572	123.66
73													1869.90		127.46
73	50.ESC-ARE-20	14	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.10	20.20	20.17	80.12	3033	1877.18	13659	170.49
73	50.ESC-ARE-20	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.30	20.20	20.30	20.27	80.65	3081	1885.02	14867	184.34
73	50.ESC-ARE-20	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.20	20.10	20.10	20.13	80.65	3051	1879.02	14547	180.38
73													1880.41		178.40
73	50.ESC-ARE-20	28	10.00	10.00	10.20	10.07	20.80	20.80	20.70	20.77	79.59	3032	1834.43	15450	194.12
73	50.ESC-ARE-20	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.60	20.50	20.57	81.18	3106	1860.33	18210	224.32
73	50.ESC-ARE-20	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.50	20.40	20.40	20.43	79.59	3161	1943.68	15430	193.87
73													1879.48		204.10
	PROFAM	7	10.20	10.20	10.00	10.13	20.20	20.30	20.40	20.30	80.65	3471	2120.14	4097	50.80
	PROFAM	7	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.20	20.20	20.13	80.12	3463	2146.86	4303	53.71
	PROFAM	7	10.20	10.00	10.00	10.07	20.30	20.40	20.50	20.40	79.59	3504	2158.11	5222	65.61
													2141.70		56.71
	PROFAM	14	10.00	10.00	10.00	10.00	20.20	20.20	20.30	20.23	78.54	3514	2211.28	5500	70.03
	PROFAM	14	10.10	10.20	10.10	10.13	20.00	20.20	20.10	20.10	80.65	3347	2064.74	5487	68.04
	PROFAM	14	10.10	10.00	10.00	10.03	20.30	20.20	20.50	20.33	79.06	3458	2150.98	5478	69.29
													2142.33		69.12
	PROFAM	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.20	20.30	20.20	20.23	79.06	3510	2194.11	6574	83.15
	PROFAM	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.20	20.10	20.10	80.12	3410	2117.51	6674	83.30
	PROFAM	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.30	20.30	20.40	20.33	79.59	3310	2045.31	6498	81.64
													2118.98		82.70





ANEXO IV

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm²
1	28	10.20	10.10	10.30	10.20	20.40	20.40	20.40	20.40	8713	26.66
1	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.40	20.40	20.40	20.40	6020	18.36
											22.51
2	28	10.20	10.30	10.10	10.20	20.20	20.20	20.50	20.30	7269	22.35
2	28	10.10	10.20	10.30	10.20	20.40	20.40	20.30	20.37	7460	22.86
											22.61
3	28	10.50	10.20	10.30	10.33	20.60	20.60	20.70	20.63	7891	23.56
3	28	10.30	10.50	10.20	10.33	20.90	20.70	20.80	20.80	10291	30.48
											27.02
4	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.70	20.60	20.60	20.63	5611	17.08
4	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.80	20.60	20.80	20.73	5500	16.56
											16.82
5	28	10.40	10.30	10.00	10.23	20.60	20.50	20.70	20.60	4835	14.60
5	28	10.40	10.00	10.30	10.23	20.40	20.50	20.50	20.47	4753	14.45
											14.52
6	28	10.30	10.40	10.50	10.40	20.50	20.50	20.50	20.50	9623	28.73
6	28	10.20	10.10	10.30	10.20	20.50	20.30	20.20	20.33	9331	28.64
											28.69
7	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.30	20.30	20.50	20.37	6861	21.23
7	28	10.20	10.20	10.00	10.13	20.50	20.60	20.70	20.60	7057	21.52
											21.38
8	28	10.10	10.40	10.20	10.23	20.60	20.70	20.60	20.63	7797	23.51
8	28	10.40	10.20	10.40	10.33	20.50	20.60	20.60	20.57	9787	29.32
											26.41
9	28	10.40	10.40	10.10	10.30	20.30	20.30	20.20	20.27	10295	31.40
9	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.70	20.70	20.70	20.70	7869	23.34
											27.37
10	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.50	20.70	20.70	20.63	6741	20.66
10	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.40	20.40	20.60	20.47	7587	23.21
											21.94
11	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.60	20.70	20.70	20.67	6156	18.59
11	28	10.30	10.30	10.30	10.30	20.60	20.70	20.70	20.67	9715	29.05
											23.82
12	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.40	20.40	20.40	20.40	6263	19.10
12	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.10	20.20	20.10	6730	21.10
											20.10
13	28	10.00	10.20	10.20	10.13	20.50	20.60	20.60	20.57	5148	15.73
13	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.40	20.40	20.40	20.40	6250	19.31
											17.52
14	28	10.10	10.20	10.20	10.17	20.60	20.60	20.60	20.60	5251	15.96
14	28	10.20	10.10	10.40	10.23	20.30	20.40	20.40	20.37	5238	16.00
											15.98

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm²
15	28	10.20	10.40	10.00	10.20	20.50	20.50	20.50	20.50	7115	21.66
15	28	10.40	10.30	10.20	10.30	20.40	20.50	20.30	20.40	5771	17.48
											19.57
16	28	10.10	10.40	10.00	10.17	20.50	20.50	20.50	20.50	8546	26.10
16	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.40	20.50	20.30	20.40	9512	29.01
											27.56
17	28	10.30	10.30	10.30	10.30	20.60	20.60	20.50	20.57	4670	14.03
17	28	10.00	10.20	10.10	10.10	20.20	20.20	20.20	20.20	6126	19.12
											16.57
18	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.30	20.20	20.40	20.30	6587	20.32
18	28	10.10	10.20	10.00	10.10	20.70	20.70	20.60	20.67	11124	33.93
											27.12
19	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.70	20.80	20.70	20.73	6955	21.14
19	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.60	20.60	20.50	20.57	7532	22.93
											22.04
20	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.70	20.60	20.60	20.63	12797	38.09
20	28	10.00	10.20	10.00	10.07	20.50	20.60	20.50	20.53	10230	31.51
											34.80
21	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.50	20.20	20.00	20.23	5780	18.19
21	28	9.90	10.00	10.30	10.07	20.50	20.40	20.20	20.37	8625	26.78
											22.48
22	28	10.50	10.00	10.00	10.17	20.50	20.50	20.50	20.50	6433	19.65
22	28	10.50	10.00	10.00	10.17	20.50	20.50	20.20	20.40	8117	24.92
											22.28
23	28	10.00	10.10	10.00	10.03	20.50	20.50	20.40	20.47	5699	17.67
23	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.20	20.30	20.20	20.23	7443	23.26
											20.47
24	28	10.40	10.40	10.20	10.33	20.70	20.80	20.60	20.70	5741	17.09
24	28	10.50	10.00	10.40	10.30	20.60	20.50	20.00	20.37	9152	27.77
											22.43
25	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.00	20.00	20.00	20.00	4729	14.95
25	28	10.20	10.00	10.10	10.10	20.50	20.50	20.50	20.50	4743	14.58
											14.77
26	28	10.30	10.40	10.20	10.30	20.60	20.50	20.60	20.57	4506	13.54
26	28	10.00	10.20	10.60	10.27	20.50	20.60	20.60	20.57	5086	15.33
											14.44
27	28	10.50	10.50	10.50	10.50	20.70	20.70	20.50	20.63	7010	20.60
27	28	10.40	10.40	10.30	10.37	20.70	20.70	20.40	20.60	6861	20.45
											20.53
28	28	10.20	10.30	10.60	10.37	20.70	20.70	20.70	20.70	5521	16.38
28	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.40	20.40	20.40	20.40	7577	23.11
											19.74

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm²
29	28	10.00	10.70	10.20	10.30	20.70	20.50	20.50	20.57	9364	28.14
29	28	10.70	10.20	10.40	10.43	20.70	20.70	20.60	20.67	10059	29.70
											28.92
30	28	10.50	10.30	10.50	10.43	20.60	20.50	20.50	20.53	4508	13.40
30	28	10.20	10.40	10.10	10.23	20.30	20.30	20.40	20.33	5816	17.79
											15.60
31	28	10.20	10.40	10.00	10.20	20.40	20.40	20.40	20.40	5793	17.72
31	28	10.40	10.40	10.50	10.43	20.60	20.70	20.70	20.67	4030	11.90
											14.81
32	28	10.40	10.00	10.40	10.27	20.20	20.30	20.40	20.30	6239	19.06
32	28	10.00	10.40	10.00	10.13	20.60	20.70	20.50	20.60	5988	18.26
											18.66
33	28	10.50	10.00	10.30	10.27	20.50	20.60	20.60	20.57	4114	12.40
33	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.20	20.30	20.50	20.33	4321	13.35
											12.88
34	28	10.50	10.40	10.10	10.33	20.40	20.50	20.40	20.43	4142	12.49
34	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.40	20.50	20.40	20.43	6195	18.86
											15.67
35	28	10.50	10.40	10.10	10.33	20.60	20.50	20.60	20.57	6148	18.42
35	28	10.50	10.10	10.30	10.30	20.80	20.70	20.80	20.77	5788	17.23
											17.82
36	28	10.50	10.40	10.40	10.43	20.40	20.50	20.20	20.37	3596	10.77
36	28	10.40	10.60	10.30	10.43	20.50	20.50	20.50	20.50	3002	8.94
											9.85
37	28	10.20	10.20	10.20	10.20	21.00	21.00	20.70	20.90	3806	11.37
37	28	10.30	10.20	10.20	10.23	20.50	20.40	20.30	20.40	4491	13.70
											12.53
38	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.40	20.40	20.50	20.43	5000	15.27
38	28	10.00	10.00	9.90	9.97	20.00	20.10	20.00	20.03	4167	13.29
											14.28
39	28	10.10	10.20	10.00	10.10	20.50	20.50	20.50	20.50	11174	34.36
39	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.40	20.50	20.60	20.50	10734	32.90
											33.63
40	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.40	20.50	20.70	20.53	13523	41.10
40	28	10.30	10.30	10.20	10.27	20.40	20.50	20.50	20.47	9295	28.16
											34.63
41	28	10.40	10.20	10.30	10.30	20.60	20.70	20.70	20.67	9709	29.04
41	28	10.10	10.50	10.20	10.27	20.70	20.70	20.70	20.70	7904	23.68
											26.36
42	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.70	20.80	20.80	20.77	10138	30.57
42	28	10.20	10.10	10.10	10.13	20.70	20.60	20.80	20.70	8879	26.95
											28.76

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm²
43	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.30	20.30	20.40	20.33	7828	24.19
43	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.30	20.30	20.30	20.30	6859	21.23
											22.71
44	28	10.30	10.40	10.20	10.30	20.50	20.60	20.70	20.60	10137	30.41
44	28	10.00	10.50	10.20	10.23	20.30	20.30	20.30	20.30	9205	28.21
											29.31
45	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.20	20.20	20.20	20.20	5752	17.95
45	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.80	20.80	20.90	20.83	8373	25.08
											21.52
46	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.30	20.20	20.00	20.17	10065	31.77
46	28	10.50	10.00	10.20	10.23	20.30	20.50	20.40	20.40	7215	22.00
											26.89
47	28	10.20	10.20	10.10	10.17	20.70	20.70	20.70	20.70	7174	21.70
47	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.30	20.50	20.70	20.50	7474	22.76
											22.23
48	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.70	20.70	20.70	8337	25.39
48	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.60	20.70	20.70	20.67	8593	26.12
											25.75
49	28	10.50	10.40	10.30	10.40	20.70	20.80	20.70	20.73	7378	21.78
49	28	10.50	10.40	10.40	10.43	20.70	20.60	20.80	20.70	10199	30.06
											25.92
50	28	10.30	10.30	10.30	10.30	20.60	20.70	20.70	20.67	8320	24.88
50	28	10.20	10.20	10.30	10.23	20.50	20.30	20.30	20.37	9126	27.88
											26.38
51	28	10.40	10.30	10.40	10.37	20.50	20.60	20.70	20.60	6231	18.58
51	28	10.00	10.50	10.50	10.33	20.70	20.60	20.50	20.60	7144	21.37
											19.97
52	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.70	20.70	20.60	20.67	8601	25.98
52	28	10.20	10.20	10.20	10.20	20.70	20.60	20.70	20.67	8470	25.58
											25.78
53	28	10.40	10.00	10.20	10.20	20.30	20.40	20.20	20.30	10005	30.76
53	28	10.30	10.40	10.30	10.33	20.50	20.60	20.50	20.53	9427	28.28
											29.52
54	28	10.40	10.00	10.50	10.30	20.60	20.50	20.70	20.60	10846	32.54
54	28	10.00	10.30	10.30	10.20	20.50	20.40	20.40	20.43	8305	25.37
											28.95
55	28	10.30	10.20	10.30	10.27	20.70	20.70	20.50	20.63	9640	28.97
55	28	10.20	10.00	10.20	10.13	20.30	20.60	20.50	20.47	6398	19.64
											24.30
56	28	10.20	10.20	10.00	10.13	20.60	20.60	20.70	20.63	6647	20.24
56	28	10.10	10.00	10.10	10.07	20.60	20.60	20.60	20.60	6126	18.81
											19.52

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm²
57	28	10.10	10.20	10.00	10.10	20.40	20.60	20.50	20.50	6525	20.06
57	28	10.10	10.00	10.00	10.03	20.50	20.50	20.50	20.50	7790	24.11
											22.09
58	28	10.10	10.30	10.20	10.20	20.10	20.00	20.00	20.03	6290	19.60
58	28	10.00	10.20	10.30	10.17	20.60	20.50	20.50	20.53	5585	17.03
											18.31
60	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.70	20.70	20.60	20.67	4819	14.65
60	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.50	20.50	20.50	20.50	6661	20.48
											17.56
61	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.10	20.20	20.30	20.20	8104	25.20
61	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.50	20.50	20.60	20.53	6486	19.98
											22.59
62	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.70	20.70	20.70	20.70	7311	22.26
62	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.70	20.60	20.60	20.63	7310	22.18
											22.22
63	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.70	20.70	20.70	7124	21.69
63	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.80	20.90	20.80	20.83	8019	24.10
											22.90
64	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.70	20.90	20.90	20.83	9778	29.58
64	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.80	20.70	20.70	20.73	9727	29.38
											29.48
65	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.70	20.70	20.70	6682	20.35
65	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.70	20.60	20.60	20.63	9475	28.85
											24.60
66	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.20	20.20	20.20	20.20	8803	27.47
66	28	10.20	10.20	10.00	10.13	20.50	20.50	20.40	20.47	6541	20.08
											23.77
67	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.50	20.70	20.50	20.57	5342	16.32
67	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.50	20.50	20.60	20.53	6733	20.67
											18.49
68	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.60	20.70	20.67	7656	23.35
68	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.70	20.90	20.80	20.80	7007	21.09
											22.22
69	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.90	20.60	20.73	6734	20.47
69	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.80	20.70	20.70	20.73	7200	21.82
											21.14
70	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.70	20.70	20.60	20.67	7739	23.60
70	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.80	20.70	20.60	20.70	8473	25.63
											24.62
71	28	10.10	10.20	10.10	10.13	20.60	20.90	20.90	20.80	6279	18.97
71	28	10.00	10.10	10.20	10.10	20.80	20.70	20.70	20.73	7015	21.33
											20.15

N° de MEZCLA	Edad días	Diam. 1 cm	Diam. 2 cm	Diam. 3 cm	Diámetro promedio cm	Altura 1 cm	Altura 2 cm	Altura 3 cm	Altura promedio cm	Fuerza kgf	Resistencia a la tracción kgf/cm ²
72	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.60	20.60	20.70	20.63	7765	23.72
72	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.70	20.60	20.60	20.63	7414	22.50
											23.11
73	28	10.10	10.10	10.20	10.13	20.70	20.70	20.90	20.77	7256	21.95
73	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.60	20.70	20.70	20.67	7767	23.77
											22.86
74	28	10.20	10.10	10.00	10.10	20.50	20.70	20.70	20.63	7278	22.23
74	28	10.20	10.10	10.20	10.17	20.70	20.50	20.60	20.60	5829	17.72
											19.98



ANEXO V

CÁLCULOS DEL DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN DE ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL

ANEXO DISEÑO ALBAÑILERIA

VERIFICACIÓN POR CARGAS O APLASTAMIENTO EN LOS MUROS EN LA DIRECCIÓN “X” Y “Y”.

Muro	Área Tributaria	Peso Muro (Ton)	Peso de Losa (Ton)	Peso Acab. (Ton)	Peso de la solera (Ton)	Sobrecarga PISO TÍPICO (Ton/m2)	Sobrecarga AZOTEA (Ton/m²)	PISO TÍPICO CD+CL(Ton)	AZOTEA CD+CL(Ton)	Pm (Ton)	$\sigma_m = \frac{P_m}{L \cdot t} \cdot 0,2 \cdot f_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right] \cdot 0,15 f'_m$	(ton/m²)	(ton/m²)	(ton/m²)	
X1	0.70	0.89	0.18	0.07	0.13	0.20	0.10	1.41	1.34	5.58	28.45	98.81	97.50	jOk!	
X2	2.36	3.01	0.59	0.24	0.45	0.20	0.10	4.75	4.51	18.76	28.45	98.81	97.50	jOk!	
X3	1.01	1.29	0.25	0.10	0.19	0.20	0.10	2.04	1.94	8.05	28.45	98.81	97.50	jOk!	
X5	1.83	2.34	0.46	0.18	0.35	0.20	0.10	3.69	3.51	14.58	28.45	98.81	97.50	jOk!	
X6	1.46	1.86	0.37	0.15	0.28	0.20	0.10	2.94	2.80	11.63	28.45	98.81	97.50	jOk!	
Y1	15.44	7.72	3.86	1.54	1.15	0.20	0.10	17.37	15.82	67.92	40.09	98.81	97.50	jOk!	
Y2	9.08	1.44	2.27	0.91	0.21	0.20	0.10	6.65	5.74	25.70	81.22	98.81	97.50	jOk!	
Y3	6.92	1.44	1.73	0.69	0.21	0.20	0.10	5.46	4.77	21.16	66.88	98.81	97.50	jOk!	
Y5	12.66	7.72	3.17	1.27	1.15	0.20	0.10	15.84	14.57	62.08	36.65	98.81	97.50	jOk!	

METRADOS DE CARGA PARA CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL DE LA PLANTA TÍPICA DE LA EDIFICACIÓN

MUROS	L	t	h	γ	P	X	Y	PX	PY
	(m)	(m)	(m)	(tnf/m ³)	(tnf)	(m)	(m)	(tnf.m)	(tnf.m)
M1X	0.90	0.14	2.4	1.9	0.575	4.140	0.075	2.379	0.043
M2X	4.34	0.14	2.4	1.9	2.771	2.430	3.430	6.733	9.503
M3X	1.66	0.14	2.4	1.9	1.060	1.080	5.780	1.145	6.125
T4X	1.82	0.14	2.4	1.35	0.826	2.910	6.380	2.402	5.267
M5X	3.31	0.14	2.4	1.9	2.113	1.975	8.645	4.173	18.268
M6X	2.42	0.14	2.4	1.9	1.545	3.370	12.025	5.206	18.578
M5Y	1.62	0.14	2.4	1.9	1.034	0.075	6.050	0.078	6.257
M1Y	11.62	0.14	2.4	1.9	7.418	7.500	6.050	55.637	44.880
M3Y	2.00	0.14	2.4	1.9	1.277	1.420	2.280	1.813	2.911
M2Y	2.00	0.14	2.4	1.9	1.277	4.780	2.280	6.103	2.911
M4Y	1.50	0.14	2.4	1.35	0.680	6.340	11.350	4.314	7.723
T2	0.6	0.14	2.4	1.35	0.272	4.400	1.131	1.198	0.308
T4	0.6	0.14	2.4	1.35	0.272	3.745	6.005	1.019	1.634
T8	0.6	0.14	2.4	1.35	0.272	0.447	10.145	0.122	2.761
T9	1.15	0.14	2.4	1.35	0.522	1.922	10.145	1.003	5.292
T10	1.15	0.14	2.4	1.35	0.522	2.575	10.045	1.343	5.240
T12	0.6	0.14	2.4	1.35	0.272	2.575	11.650	0.701	3.171
T14	0.65	0.14	2.4	1.35	0.295	5.939	12.027	1.751	3.546

23.002

97.118

144.418

Metrado de muros de cargas por tipo de estructura

LOSA	LX	LY	h	γ	P	X	Y	PX	PY
	(m)	(m)	(m)	(tnf/m ³)	(tnf)	(m)	(m)	(tnf.m)	(tnf.m)
	7.570	12.1	0.2	0.24	21.983	3.785	6.050	83.207	132.999
					21.983			83.207	132.999

Metrado de losa

COLUMNAS	b	h	L	γ	P	X	Y	PX	PY
	(m)	(m)	(m)	(tnf/m ³)	(tnf)	(m)	(m)	(tnf.m)	(tnf.m)
C1	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	7.340	0.125	2.266	0.039
C2	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	7.490	11.990	2.313	3.702
C3	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	7.490	8.600	1.388	1.593
C4	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	7.490	5.820	1.388	1.078
C5	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	7.490	3.790	1.388	0.702
C6	0.250	0.150	2.600	1.900	0.185	4.710	0.125	0.873	0.023
C7	0.250	0.150	2.600	1.900	0.185	3.550	0.075	0.658	0.014
C8	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	1.420	0.125	0.263	0.023
C9	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	0.125	0.125	0.039	0.039
C10	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	1.420	1.120	0.263	0.207
C11	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	4.720	1.120	0.874	0.207
C12	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	0.125	3.380	0.023	0.626
C13	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	1.480	3.380	0.274	0.626
C14	0.250	0.150	2.600	1.900	0.185	4.710	3.380	0.873	0.626
C15	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	0.125	5.840	0.023	1.082
C16	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	2.090	5.840	0.387	1.082
C17	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	0.125	8.630	0.023	1.599
C18	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	3.660	8.630	0.678	1.599
C19	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	0.125	11.975	0.039	3.697
C20	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	2.580	11.975	0.478	2.218
C21	0.150	0.250	2.600	1.900	0.185	4.720	11.975	0.874	2.218
C22	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	4.820	5.720	1.488	1.766
C23	0.250	0.250	2.600	1.900	0.309	4.820	8.650	1.488	2.671
C24	0.250	0.150	2.600	1.900	0.185	2.040	8.700	0.378	1.612
					5.187			18.737	29.050

Metrado de las columnas

VIGAS	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	γ	<i>P</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>PX</i>	<i>PY</i>
	(m)	(m)	(m)	(tnf/m ³)	(tnf)	(m)	(m)	(tnf.m)	(tnf.m)
1	0.250	0.200	1.100	1.900	0.104	0.800	0.125	0.084	0.013
2	0.250	0.200	1.845	1.900	0.175	2.522	0.125	0.442	0.022
3	0.250	0.200	0.906	1.900	0.086	4.147	0.125	0.357	0.011
4	0.250	0.200	2.275	1.900	0.216	5.988	0.125	1.294	0.027
9	0.250	0.200	1.100	1.900	0.105	0.800	3.381	0.084	0.353
10	0.250	0.200	3.000	1.900	0.285	3.100	3.381	0.884	0.964
11	0.250	0.200	2.525	1.900	0.240	6.110	3.381	1.466	0.811
15	0.250	0.200	1.750	1.900	0.166	1.125	5.830	0.187	0.969
16	0.250	0.200	1.400	1.900	0.133	2.850	5.830	0.379	0.775
17	0.250	0.200	3.575	1.900	0.340	5.588	5.830	1.898	1.980
21	0.250	0.200	3.300	1.900	0.314	1.900	8.595	0.596	2.695
22	0.250	0.200	3.575	1.900	0.340	5.588	8.595	1.898	2.919
25	0.250	0.200	2.250	1.900	0.214	1.375	11.975	0.294	2.560
26	0.250	0.200	1.400	1.900	0.133	3.450	11.975	0.459	1.593
27	0.250	0.200	1.764	1.900	0.168	5.282	11.975	0.885	2.007
28	0.250	0.200	0.961	1.900	0.091	6.895	11.975	0.630	1.093
1	0.250	0.200	3.000	1.900	0.285	0.125	1.753	0.036	0.500
2	0.250	0.200	2.200	1.900	0.209	0.125	4.606	0.026	0.963
3	0.250	0.200	2.515	1.900	0.239	0.125	7.212	0.030	1.723
4	0.250	0.200	3.130	1.900	0.297	0.125	10.285	0.037	3.058
5	0.150	0.200	0.806	1.900	0.046	1.475	0.653	0.068	0.030
6	0.150	0.200	2.050	1.900	0.117	1.475	2.231	0.172	0.261
8	0.250	0.200	0.810	1.900	0.077	4.725	0.650	0.364	0.050
9	0.250	0.200	2.000	1.900	0.190	4.725	2.231	0.898	0.424
10	0.250	0.200	2.160	1.900	0.205	4.725	4.640	0.970	0.952
11	0.250	0.200	2.560	1.900	0.243	4.725	7.240	1.149	1.761
12	0.250	0.200	3.100	1.900	0.295	4.725	10.320	1.392	3.039
13	0.250	0.200	3.050	1.900	0.290	7.500	1.780	2.173	0.516
14	0.250	0.200	2.160	1.900	0.205	7.500	4.640	1.539	0.952
15	0.250	0.200	2.560	1.900	0.243	7.500	7.240	1.824	1.761
16	0.250	0.200	3.050	1.900	0.290	7.500	10.320	2.173	2.990
17	0.250	0.200	2.760	1.900	0.262	2.040	7.240	0.535	1.898
18	0.250	0.200	3.200	1.900	0.304	2.040	10.340	0.620	3.143
					6.906			25.839	42.812

Metrado de vigas

CM=	3.94	m	XCM	PESOS
	6.12	m	YCM	74.770 ton

Centro de masas de la planta típica

CALCULO DE LA RIGIDEZ DE CADA MURO Y DEL CENTRO DE RIGIDEZ

$$K = \frac{Em t}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{t}\right)}$$

Cálculo de rigideces de un muro de albañilería

Em 325000 **tn/m²** Módulo de elasticidad de una unidad de albañilería

ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Yi m	ki*yi (ton)
M1x	0.14	2.40	1.40	1,798.81	0.08	134.91
M2x	0.14	2.40	4.71	22,110.18	3.43	75,837.90
M3x	0.14	2.40	2.02	4,429.05	5.78	25,599.93
M5x	0.14	2.40	3.66	14,700.84	8.65	127,088.78
M6x	0.14	2.40	2.34	6,154.83	12.03	74,011.79

Calculo de rigideces de los muros portantes en dirección X

ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Yi m	ki*yi (ton)
M1Y	0.14	2.40	12.10	72,654.17	7.50	544,906.29
M2Y	0.14	2.40	2.26	5,704.47	4.78	27,267.36
M3Y	0.14	2.40	2.26	5,704.47	1.42	8,100.35
M5Y	0.14	2.40	12.10	72,654.17	0.08	5,449.06

Calculo de Rigideces de los muros portantes en dirección Y

CR= 3.737 **m** XCM **PESOS**
5.153 **m** YCM 74.770

Centro de rigideces de la planta típica

DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS CORTANTES A CADA MURO PORTANTE

ANÁLISIS EN X-X	PRIMER PISO	V	31.02 ton
-----------------	-------------	----------	------------------

ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1x	0.14	2.40	1.40	1798.81	1.1342
M2x	0.14	2.40	4.71	22110.18	13.9409
M3x	0.14	2.40	2.02	4429.05	2.7926
M5x	0.14	2.40	3.66	14700.84	9.2692
M6x	0.14	2.40	2.34	6154.83	3.8807
TOTAL				49193.71	31.02

Cálculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección X del primer piso

ANÁLISIS EN Y-Y	PRIMER PISO	V	31.02 ton
-----------------	-------------	----------	------------------

ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	14.3798
M2Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	1.1290
M3Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	1.1290
M5Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	14.3798
TOTAL				156717.280	31.017687

Cálculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección Y del primer piso

ANÁLISIS EN X-X	SEGUNDO PISO	V	25.85 ton
-----------------	--------------	----------	------------------

ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1x	0.14	2.40	1.40	1798.81	0.9451
M2x	0.14	2.40	4.71	22110.18	11.6168
M3x	0.14	2.40	2.02	4429.05	2.3270
M5x	0.14	2.40	3.66	14700.84	7.7239
M6x	0.14	2.40	2.34	6154.83	3.2338
TOTAL				49193.71	25.85

Calculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección X del segundo piso

ANÁLISIS EN Y-Y		SEGUNDO PISO		V	25.85 ton
ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	11.9825
M2Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	0.9408
M3Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	0.9408
M5Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	11.9825
TOTAL				156717.280	25.846521

Cálculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección Y del segundo piso

ANÁLISIS EN X-X		TERCER PISO		V	15.5 ton
ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1x	0.14	2.40	1.40	1798.81	0.5669
M2x	0.14	2.40	4.71	22110.18	6.9684
M3x	0.14	2.40	2.02	4429.05	1.3959
M5x	0.14	2.40	3.66	14700.84	4.6332
M6x	0.14	2.40	2.34	6154.83	1.9398
TOTAL				49193.71	15.50

Calculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección X del tercer piso

ANÁLISIS EN Y-Y		TERCER PISO		V	15.50 ton
ELEMENTO	t (m)	h (m)	L (m)	Ki(ton/m)	Vt (ton)
M1Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	7.1877
M2Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	0.5643
M3Y	0.14	2.40	2.26	5704.47	0.5643
M5Y	0.14	2.40	12.10	72654.17	7.1877
TOTAL				156717.280	15.504189

Calculo de la Fuerza Cortante por cada Muro en dirección Y del tercer piso

VERIFICACIÓN POR FISURACIÓN DE LOS MUROS PORTANTES

1ERO PISO

 $V_e \leq 0.55(V_m)$

Muro	L (m)	T (m)	V diseño (ton)	M diseño (ton.m)	P (ton)i	Alfa	V _m (ton)	0.55*V _m	V _e (ton)	CUMPLE
M1X	1.4	0.14	1.18	2.83	3.90	0.58	5.53	3.04	1.18	OK
M2X	4.71	0.14	14.19	34.05	13.13	1.00	29.73	16.35	14.19	OK
M3X	2.02	0.14	2.80	6.72	5.63	0.84	10.94	6.01	2.80	OK
M5X	3.66	0.14	9.42	22.61	10.20	1.00	23.10	12.70	9.42	OK
M6X	2.34	0.14	4.03	9.67	8.14	0.98	14.81	8.14	4.03	OK
M1Y	12.1	0.14	14.45	34.69	44.76	1.00	78.90	43.40	14.45	OK
M2Y	2.26	0.14	1.35	3.24	15.64	0.94	15.66	8.62	1.35	OK
M3Y	2.26	0.14	1.35	3.24	13.10	0.94	15.08	8.29	1.35	OK
M5Y	12.1	0.14	14.45	34.69	41.50	1.00	78.15	42.98	14.45	OK

Calculo de las fuerzas cortantes elásticas V_e y la fuerza asociada al agrietamiento V_m del primer piso
Fuente: Elaboración Propia

2DO PISO

 $V_e \leq 0.55(V_m)$

Muro	L (m)	T (m)	V diseño (ton)	M diseño (ton.m)	P (ton)i	Alfa	V _m	0.55*V _m	V _e (ton)	CUMPLE
M1X	1.4	0.14	0.98	2.36	2.60	0.58	5.23	2.88	0.98	OK
M2X	4.71	0.14	11.82	28.37	8.73	1.00	28.71	15.79	11.82	OK
M3X	2.02	0.14	2.33	5.60	3.75	0.84	10.50	5.78	2.33	OK
M5X	3.66	0.14	7.85	18.84	6.79	1.00	22.31	12.27	7.85	OK
M6X	2.34	0.14	3.36	8.06	5.41	0.98	14.18	7.80	3.36	OK
M1Y	12.1	0.14	12.04	28.91	29.71	1.00	75.44	41.49	12.04	OK
M2Y	2.26	0.14	1.12	2.70	10.35	0.94	14.45	7.95	1.12	OK
M3Y	2.26	0.14	1.12	2.70	8.68	0.94	14.06	7.73	1.12	OK
M5Y	12.1	0.14	12.04	28.91	27.56	1.00	74.95	41.22	12.04	OK

Calculo de las fuerzas cortantes elásticas V_e y la fuerza asociada al agrietamiento V_m del segundo piso
Fuente: Elaboración Propia

3ER PISO

 $V_e \leq 0.55(V_m)$

Muro	L (m)	T (m)	V diseño (ton)	M diseño (ton.m)	P (ton)i	Alfa	V _m	0.55*V _m	V _e (ton)	CUMPLE
M1X	1.4	0.14	0.59	1.41	0.05	0.58	4.64	2.55	0.59	OK
M2X	4.71	0.14	7.09	17.02	0.18	1.00	26.75	14.71	7.09	OK
M3X	2.02	0.14	1.40	3.36	0.08	0.84	9.66	5.31	1.40	OK
M5X	3.66	0.14	4.71	11.30	0.14	1.00	20.78	11.43	4.71	OK
M6X	2.34	0.14	2.01	4.83	0.11	0.98	12.96	7.13	2.01	OK
M1Y	12.1	0.14	7.22	17.34	1.16	1.00	68.87	37.88	7.22	OK
M2Y	2.26	0.14	0.67	1.62	0.68	0.94	12.22	6.72	0.67	OK
M3Y	2.26	0.14	0.67	1.62	0.52	0.94	12.19	6.70	0.67	OK
M5Y	12.1	0.14	7.22	17.34	0.95	1.00	68.83	37.85	7.22	OK

Cálculo de las fuerzas cortantes elásticas V_e y la fuerza asociada al agrietamiento V_m del tercer piso

VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN CADA PISO

PISO:	1	
Muro	Vm (Ton)	Vei (ton)
M1X	5.53	
M2X	29.73	
M3X	10.94	
M5X	23.10	
M6X	14.81	
M1Y	78.90	
M2Y	15.66	
M3Y	15.08	
M4Y		
M5Y	78.15	
SUMATORIA	271.90	>62.04 OK
	271.90	>186.11OK

Verificación por resistencia a corte del edificio primer piso

PISO:	2	
Muro	Vm (Ton)	Vei (ton)
M1X	5.23	
M2X	28.71	
M3X	10.50	
M5X	22.31	
M6X	14.18	
M1Y	75.44	
M2Y	14.45	
M3Y	14.06	
M4Y		
M5Y	74.95	
SUMATORIA	259.84	>51.69 OK
	259.84	>155.08 OK

Verificación por resistencia a corte del edificio segundo piso

PISO:	3	
Muro	Vm (Ton)	Vei (ton)
M1X	4.64	
M2X	26.75	
M3X	9.66	
M5X	20.78	
M6X	12.96	
M1Y	68.87	
M2Y	12.22	
M3Y	12.19	
M4Y		
M5Y	68.83	
SUMATORIA	236.90	>31.01 OK
	236.90	>93.03 OK

Verificación por resistencia a corte del edificio tercer piso

VERIFICACIÓN POR AGRIETAMIENTO DIAGONAL DE LOS MUROS PORTANTES

PRIMER PISO									
ELEMENTO	Ve1(Ton)	Vm1(Ton)	Vm1/Ve1	$2 \leq k \leq 3$	Ve1(Ton)	Mei(Ton.m)	Vui(Ton)	Mui(Ton.m)	CUMPLE
M1X	1.179	5.528	4.688	3.000	1.179	2.83	3.54	8.49	ok
M2X	14.188	29.73	2.095	2.095	14.188	34.05	29.73	71.34	Refuerzo.
M3X	2.799	10.935	3.906	3.000	2.799	6.72	8.40	20.16	ok
M5X	9.420	23.10	2.452	2.452	9.420	22.61	23.0989	55.44	Refuerzo.
M6X	4.029	14.808	3.675	3.000	4.029	9.67	12.09	29.01	ok
M1Y	14.454	78.903	5.459	3.000	14.454	34.69	43.36	104.07	ok
M2Y	1.349	15.664	11.608	3.000	1.349	3.24	4.05	9.72	ok
M3Y	1.349	15.080	11.176	3.000	1.349	3.24	4.05	9.72	ok
M5Y	14.454	78.152	5.407	3.000	14.454	34.69	43.36	104.07	ok

Verificación del Agrietamiento Diagonal del primer nivel

SEGUNDO PISO										
ELEMENTO	Ve1(Ton)	Vm1(Ton)	Vm1/Ve1	$2 \leq k \leq 3$	Ve1(Ton)	Mei(Ton.m)	Vui(Ton)	Mui(Ton.m)	Vm2(Ton)	CUMPLE
M1X	1.179	5.528	4.688	3.000	0.983	2.36	2.95	7.07	5.23	ok
M2X	14.188	29.73	2.095	2.095	11.823	28.37	24.77	59.45	28.71	ok
M3X	2.799	10.935	3.906	3.000	2.333	5.60	7.00	16.80	10.50	ok
M5X	9.420	23.10	2.452	2.452	7.849	18.84	19.25	46.19	22.31	ok
M6X	4.029	14.808	3.675	3.000	3.358	8.06	10.07	24.17	14.18	ok
M1Y	14.454	78.903	5.459	3.000	12.044	28.91	36.13	86.72	75.44	ok
M2Y	1.349	15.664	11.608	3.000	1.124	2.70	3.37	8.10	14.45	ok
M3Y	1.349	15.080	11.176	3.000	1.124	2.70	3.37	8.10	14.06	ok
M4Y	14.454	78.152	5.407	3.000	12.044	28.91	36.13	86.72	74.95	ok
M5Y	1.179	5.528	4.688	3.000	0.983	2.36	2.95	7.07	5.23	ok

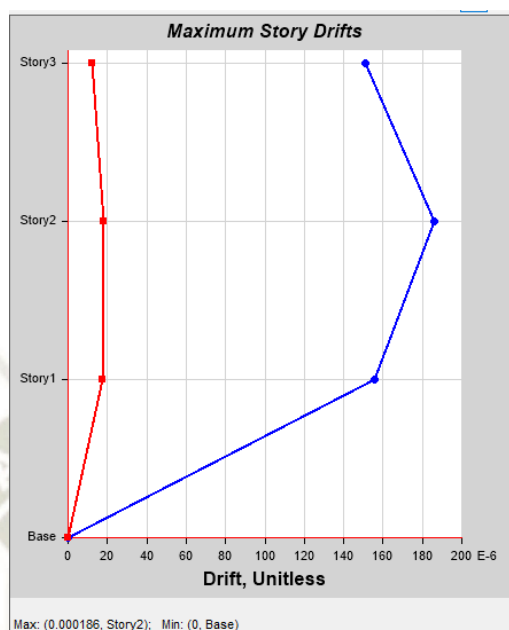
Verificación del Agrietamiento Diagonal del segundo nivel

TERCER PISO										
ELEMENTO	Ve1	Vm1	Vm1/Ve1	$2 \leq k \leq 3$	Ve1(Ton)	Mei(Ton.m)	Vui(Ton)	Mui(Ton.m)	Vm3(Ton)	CUMPLE
M1X	1.179	5.528	4.688	3.000	0.589	1.41	1.77	4.24	4.64	ok
M2X	14.188	29.73	2.095	2.095	7.092	17.02	14.86	35.66	26.75	ok
M3X	2.799	10.935	3.906	3.000	1.399	3.36	4.20	10.07	9.66	ok
M5X	9.420	23.10	2.452	2.452	4.708	11.30	11.55	27.71	20.78	ok
M6X	4.029	14.808	3.675	3.000	2.014	4.83	6.04	14.50	12.96	ok
M1Y	14.454	78.903	5.459	3.000	7.225	17.340	21.67	52.02	68.87	ok
M2Y	1.349	15.664	11.608	3.000	0.674	1.619	2.02	4.86	12.22	ok
M3Y	1.349	15.080	11.176	3.000	0.674	1.619	2.02	4.86	12.19	ok
M4Y	14.454	78.152	5.407	3.000	7.225	17.340	21.67	52.02	68.83	ok
M5Y	1.179	5.528	4.688	3.000	0.589	1.41	1.77	4.24	4.64	ok

Verificación del Agrietamiento Diagonal del tercer nivel

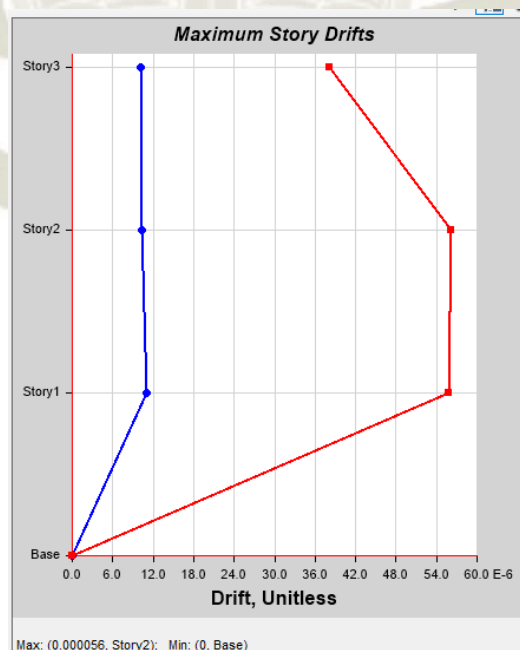
VERIFICACIÓN POR DESPLAZAMIENTOS (Max 0.005 norma E0.30)

En X-X



Verificación del Desplazamientos en los tres niveles

En Y-Y



Verificación del Desplazamientos en los tres niveles

DISEÑOS DE LAS COLUMNAS EN LA DIRECCIÓN X

DISEÑO DE LOS MUROS X-X			EXTERNA		INTERNA		
ELEMENTO	UNIDADES	M1X	M2X		M3X	M5X	M6x
COLUMNA		C6-C7	C14/C12	C13	C15/C16	C17/C18	C20-C21
UBICACIÓN		EXTERNA	EXTERNA	INTERNA	EXTERNA	EXTERNA	EXTERNA
Pg	ton	3.903	13.130	13.130	5.631	10.203	8.140
Vm	ton	5.528	29.726	29.726	10.935	23.099	14.808
Mu	ton.m	8.490	71.341	71.341	20.156	55.437	29.011
L	m	1.4	4.71	4.710	2.02	3.66	2.34
Lm	m	1.4	3.2	3.200	2.15	1.83	1.9
Nc		2	3	3.000	2	3	2
M	ton.m	1.856	35.671	35.671	7.034	27.719	11.241
F	ton	6.064	15.147	15.147	9.978	15.147	12.398
Pc	ton	1.951	4.377	4.377	2.816	3.401	4.070
MURO			M3Y	M2Y			
Pgmuro	ton	0.000	13.103	15.641	0.000	0.000	0.000
Pt	ton	0	3.276	3.910	0.000	0.000	0.000
Traccion	ton	4.113	7.494	6.860	7.162	11.746	8.328
COMPRESION	ton	8.015	19.523	-3.197	12.794	18.548	16.468
Vc cortante columna	ton	2.764	7.573	5.049	5.819	4.331	6.012
REFUERZO VERTICAL							
Asf	cm ²	0.77	2.12	1.41	1.63	1.21	1.68
Ast	cm ²	1.09	1.98	1.81	1.89	3.11	2.20
As	cm ²	1.87	4.10	3.23	3.52	4.20	3.89
As a usar	cm ²	2.84	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
As/Ø		4.000	1.817	4.000	4.000	2.580	5.000
As a usar		4Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"	6Ø 3/8"
Asmin	cm ²	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
VERIFICAR	As > 0.1f'cAs/fy	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CORTE FRICCION							
Acf	cm ²	77.42	212.14	141.43	163.01	121.32	168.40
COMPRESION							
δ		0.8	1	1	0.8	0.8	0.8
DIMENSIONES	cm	15	15	15	15	15	15
	cm	25	25	25	25	25	25
15t		225	225	225	225	225	225
An(Au)		26.99	63.79	-98.33	27.84	62.80	54.30
		1.80	4.25	-6.56	1.86	4.19	3.62
Ac	cm ²	375	375	375	375	375	375
An usada	cm ²	231	231	231	231	231	231
VERIFICAR	Ac > 15t	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CONFINAMIENTO							
Asmin	cm ²	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
s1	cm	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222
s2	cm	9.697	9.697	9.697	9.697	9.697	9.697
s3	cm	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
s4	cm	10	10	10	10	10	10
S min	cm	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222
zona C	cm	45	45	45	45	45	45
Av	cm ²	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4	Ø 1/4
S- @		1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm
SOLERAS							
Ts	ton	2.764	10.098		5.819	5.775	6.012
As	cm ²	0.73	2.67		1.54	1.53	1.59
VERIFICAR		146.25	534.28		307.91	305.54	318.09
d		9.7498	21.3712		20.5271	20.3694	21.2061
DIMENSIONES	cm	25	25		25	25	25
	cm	20	20		20	20	20
Acs	cm ²	500	500		500	500	500
		2.5	2.5		2.5	2.5	2.5
As usar	cm2	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"		4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"
ESTRIBOS MINIMOS		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm

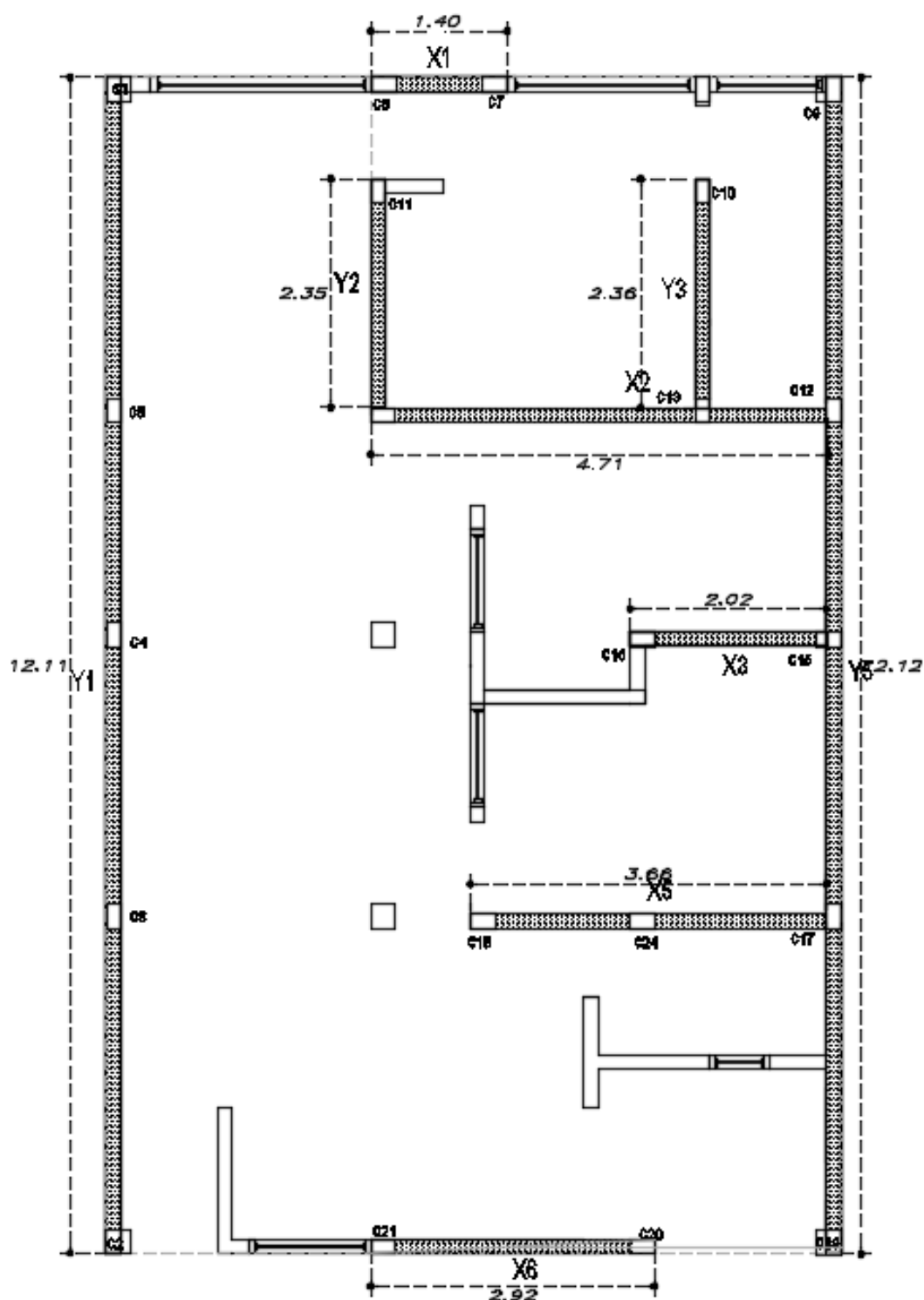
Diseño de Muros en dirección X

DISEÑOS DE LAS COLUMNAS EN LA DIRECCION Y

DISEÑO DE LOS MUROS YY				EXTERNA	INTERNA				
ELEMENTO	UNIDADES	M5Y				M2Y	M3Y	M1Y	
COLUMNA		C9-C19	C12	C15	C17	C11-C14	C13-C10	C1-C2	C3-C4-C5
UBICACIÓN		EXTERNA	INTERNA	INTERNA	INTERNA	EXTERNA	EXTERNA	EXTERNA	INTERNA
Pg	ton	41.498	41.498	41.498	41.498	15.641	13.103	44.764	44.764
Vm	ton	78.152	78.152	78.152	78.152	15.664	15.080	78.903	78.903
Mu	ton.m	104.070	104.070	104.070	104.070	9.716	9.716	104.070	104.070
L	m	12.1	12.100	12.100	12.100	2.26	2.26	12.1	12.100
Lm	m	6.05	6.050	6.050	6.050	2.26	2.26	6.05	6.050
Nc		5	5.000	5.000	5.000	2	2	5	5.000
M	ton.m	10.289	10.289	10.289	10.289	9.081	-8.381	9.387	9.387
F	ton	8.601	8.601	8.601	8.601	4.299	4.299	8.601	8.601
Pc	ton	8.300	8.300	8.300	8.300	7.821	6.552	8.953	8.953
MURO			M2Y	M3Y	M5Y				
Pgmuro	ton	0.000	30.357	5.631	10.203	0.000	0.000	0.000	0.000
Pt	ton	0	7.589	1.408	2.551	0.000	0.000	0.000	0.000
T	ton	0.301	-0.388	5.794	4.651	-3.522	-2.253	-0.352	6.697
C	ton	16.900	0.549	0.549	0.549	12.120	10.851	17.554	1.128
Vc	ton	9.769	6.513	6.513	6.513	7.832	7.540	9.863	6.575
REFUERZO VERTICAL									
Asf	cm²	2.74	1.82	1.82	1.82	2.19	2.11	2.76	1.84
Ast	cm²	0.08	-0.10	1.53	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00
As	cm²	2.82	1.72	3.36	3.05	2.19	2.11	2.76	1.84
As a usar	cm²	2.84	2.84	4.26	4.26	2.84	2.84	2.84	2.84
As/Ø		2.202	2.202	2.752	2.752	2.202	2.202	2.202	2.202
As a usar		4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	6 Ø 3/8"	6 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"
Asmin	cm²	2.205	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	2.205	1.875
VERIFICAR	As >0.1f _c As/fy	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CORTE FRICCION									
Acf	cm2	273.64	182.43	182.43	182.43	219.39	211.21	276.27	184.18
COMPRESION									
δ		0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.8	0.8
DIMENSIONES	cm	25	15	15	15	15	15	25	15
	cm	25	25	25	25	25	25	25	25
15t		375	225	225	225	225	225	375	225
An(Au)		88.38	59.59	75.59	75.59	40.56	27.86	94.92	69.41
Ac	cm²	625	375	375	375	375	375	625	375
An usada	cm²	441	231	231	231	231	231	441	231
VERIFICAR	Ac >15t	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CONFINAMIENTO									
Asmin	cm²	2.205	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	2.205	1.875
s1	cm	4.870	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222	4.870	6.222
s2	cm	5.079	9.697	9.697	9.697	9.697	9.697	5.079	9.697
s3	cm	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
s4	cm	10	10	10	10	10	10	12	13
S min	cm	4.870	6.222	6.222	6.222	6.222	6.222	4.870	6.222
zona C	cm	45	45	45	45	45	45	45	45
Av	cm²	Ø 1/4	Ø1/4	Ø 1/4	Ø1/4	Ø 1/4	Ø1/4	Ø1/4	Ø1/4
S- @		1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm	1/4" 5@ 5, 4 @ 10, rto. 25 cm
SOLERAS									
Ts	ton	19.538				7.832	7.540	19.726	
As	cm²	5.17				2.07	1.99	5.17	
VERIFICAR		1033.75				414.40	398.95	1034.00	
d		41.3500				27.6265	26.5970	41.3600	
DIMENSIONES	cm	25				25	15	25	
	cm	20				20	20	20	
Acs	cm²	500				500	300	500	
		2.5				2.5	1.5	2.5	
As usar	cm²	4 Ø 1/2"				4 Ø 3/8"	4 Ø 3/8"	4 Ø 1/2"	
ESTRIBOS MINIMOS		1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm				1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	1φ 1/4" @5.0 cm , 4 @ 10 cm resto @ 25cm	

Diseño de Muros en dirección Y

PLANO DE UBICACIÓN DE COLUMNAS



Diseño de Muros en dirección Y Y X distribución de columnas

ANEXO VI

CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO



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 (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

JOSE MANUEL TICONA HUILCA

(COD - 2013242491)

MILAGROS YAQUELINE ITUZA REVILLA

(COD - 2013701912)

Han realizado los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD CON AGREGADOS NATURALES E INDUSTRIALES, APLICADA EN EL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN SOBRE UN SUELO CON BAJA CAPACIDAD PORTANTE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados por los señores Bachilleres fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN	C.U al 25%	CANTIDAD	TOTAL
Contenido de Humedad de Agregados	5.00	8.00	40.00
Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos - Incluye Módulo de Fineza	12.50	8.00	100.00
Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	11.25	4.00	45.00
Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	11.25	4.00	45.00
Peso Unitario Suelto	6.25	8.00	50.00
Peso Unitario Suelto (combinación de agregados)	6.25	48.00	300.00
Peso Unitario Varillado	8.75	8.00	70.00
Peso Unitario Varillado (combinación de agregados)	8.75	48.00	420.00
Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6 "	3.00	669.00	2007.00
Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6 "(tracción de probetas método brasileño)	3.00	148.00	444.00
Diseño de Mezclas	82.50	74.00	6105.00
TOTAL			9626.00

El costo total de los ensayos realizados asciende a: S/. 9,626.00

El costo cancelado por dichos ensayos asciende a: S/. 500.00* (Comprobante BO17-00001756)

*Según autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el 07/09/18 y el 14/12/18.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 19 De diciembre Del 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Alejandro Hidalgo Valdivia
Dr. Ing. ALEJANDRO VÍCTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
EPIC-FAICA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL

Cayetano Arenas N°152 - Parque Industrial - Arequipa - Perú Telf : 054 382038 anexo 1465 email: labcivil@ucsm.edu.pe

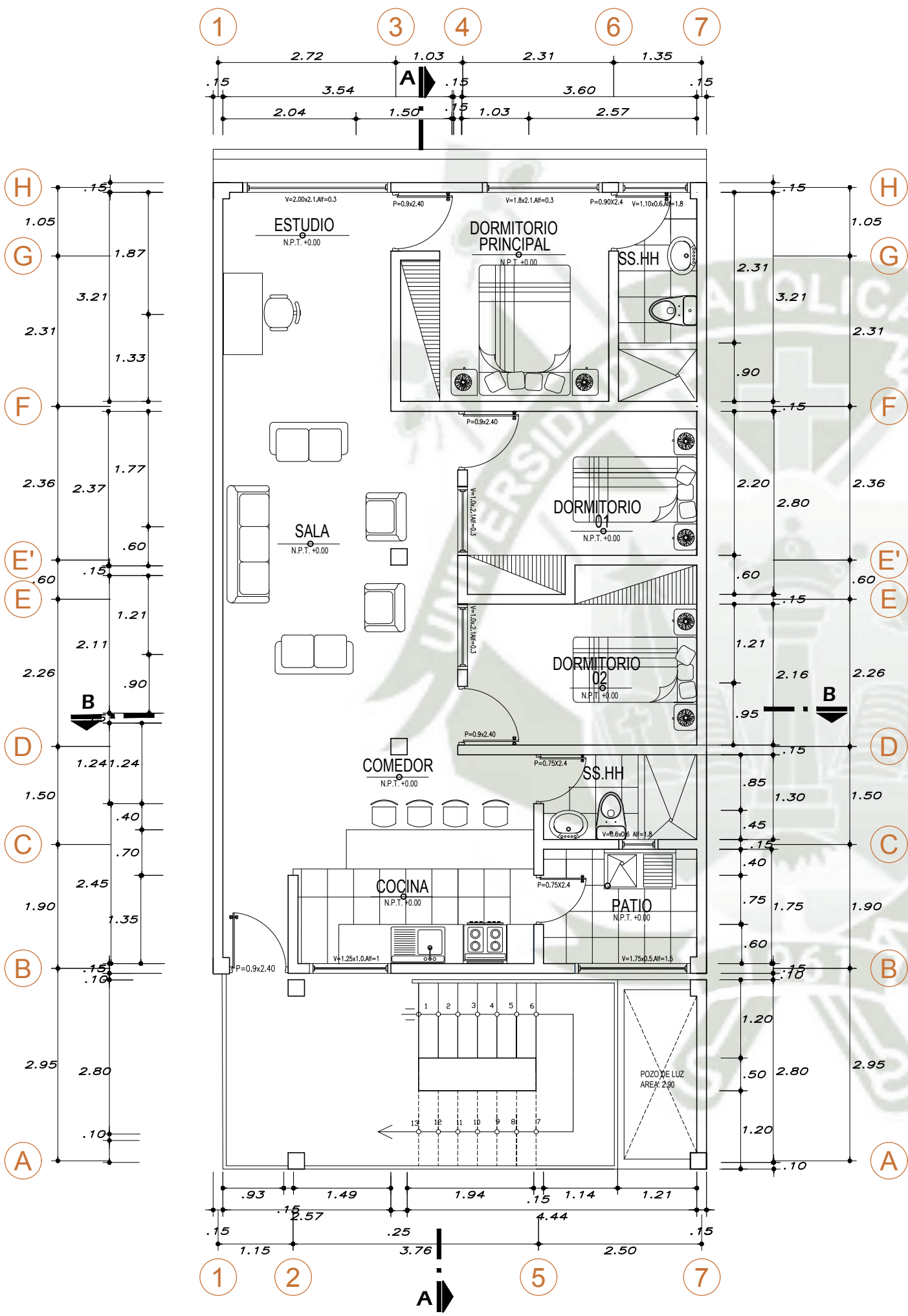
ANEXO VII

PLANOS DE ARQUITECTURA

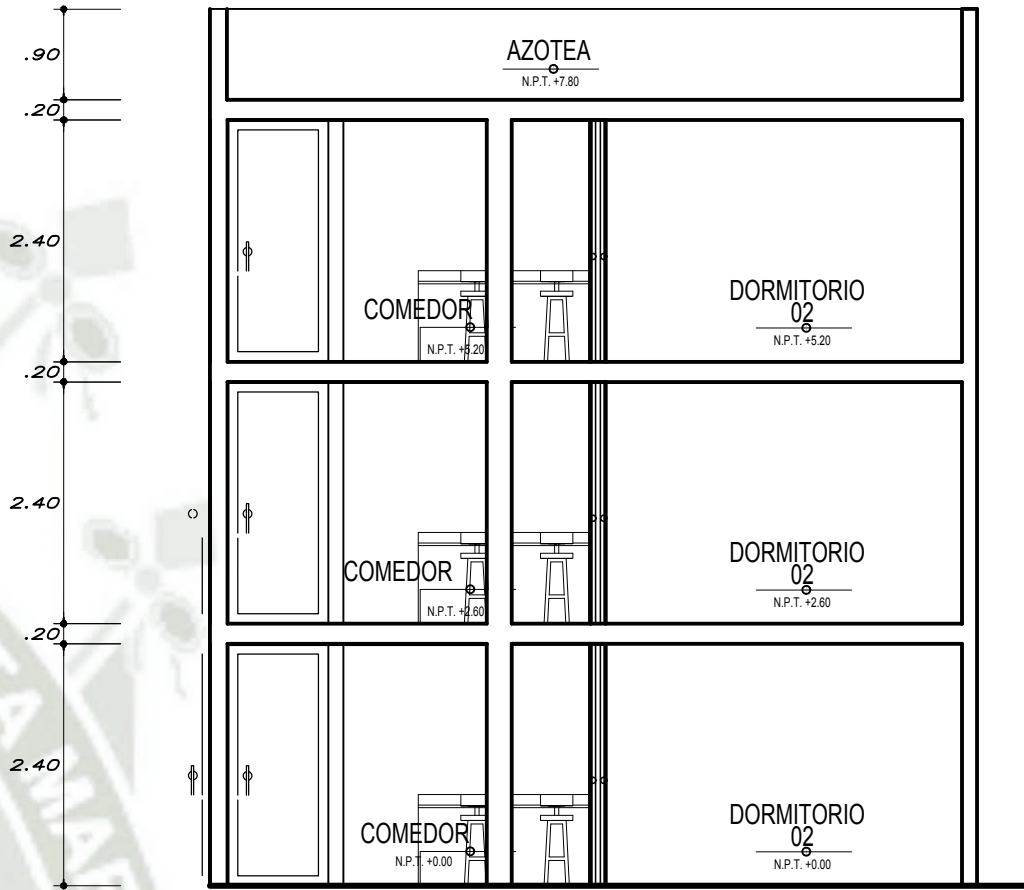
PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE
CARGA DE LA EDIFICACIÓN

PLANOS DE ESTRUCTURAS

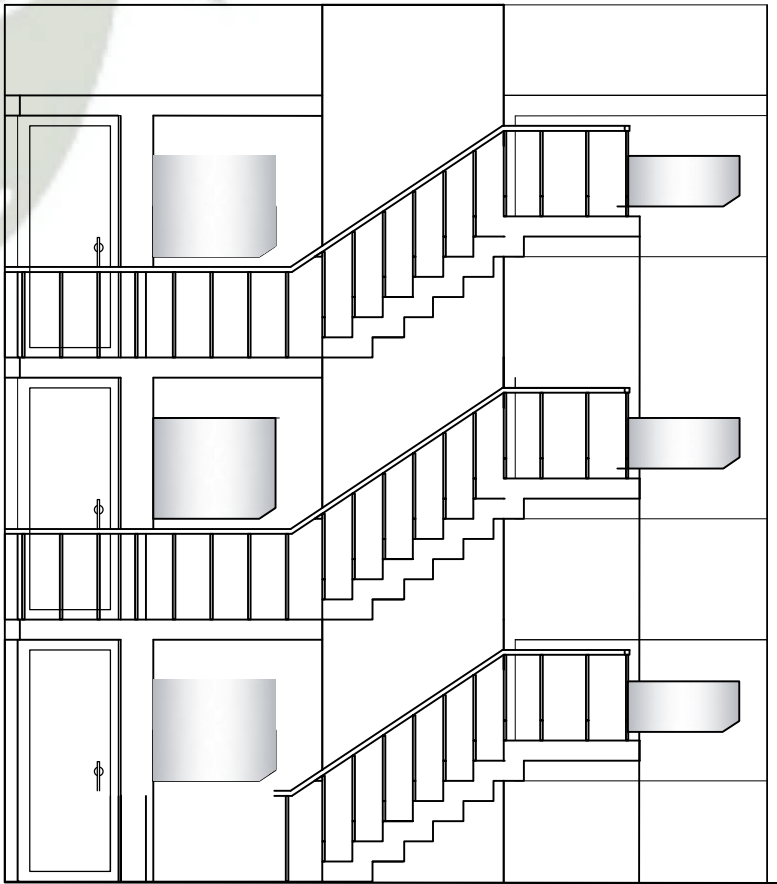
CUADRO DE VANOS	
VENTANAS (V):	ANCHO X ALTO X ALFEIZER
PUERTAS (P):	ANCHO X ALTO
MAMPARAS (M):	ANCHO X ALTO
VIDRIO BLOCK (BV):	CANTIDAD X DISTANCIA



PLANTA TIPICA
ESC. 1/75

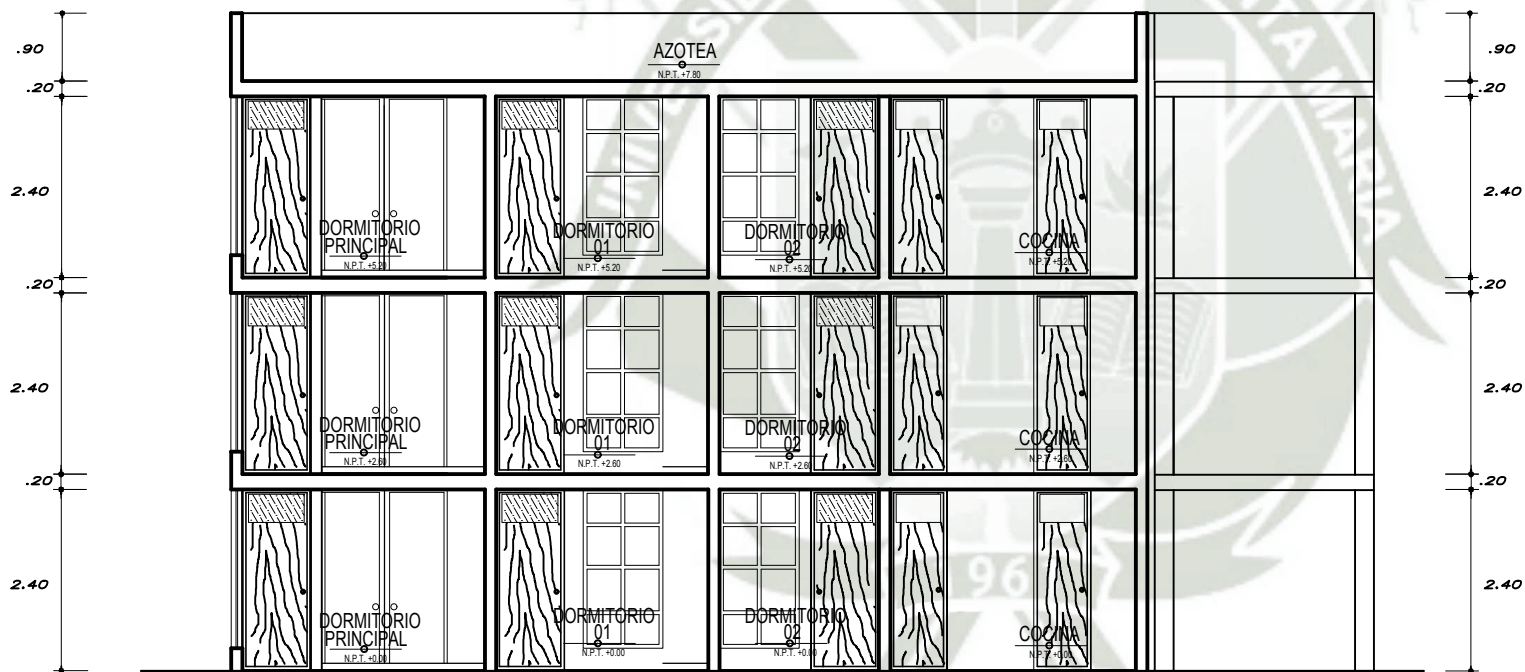


CORTE B-B
ESC. 1/50



ELEVACION PRINCIPAL
ESC. 1/50

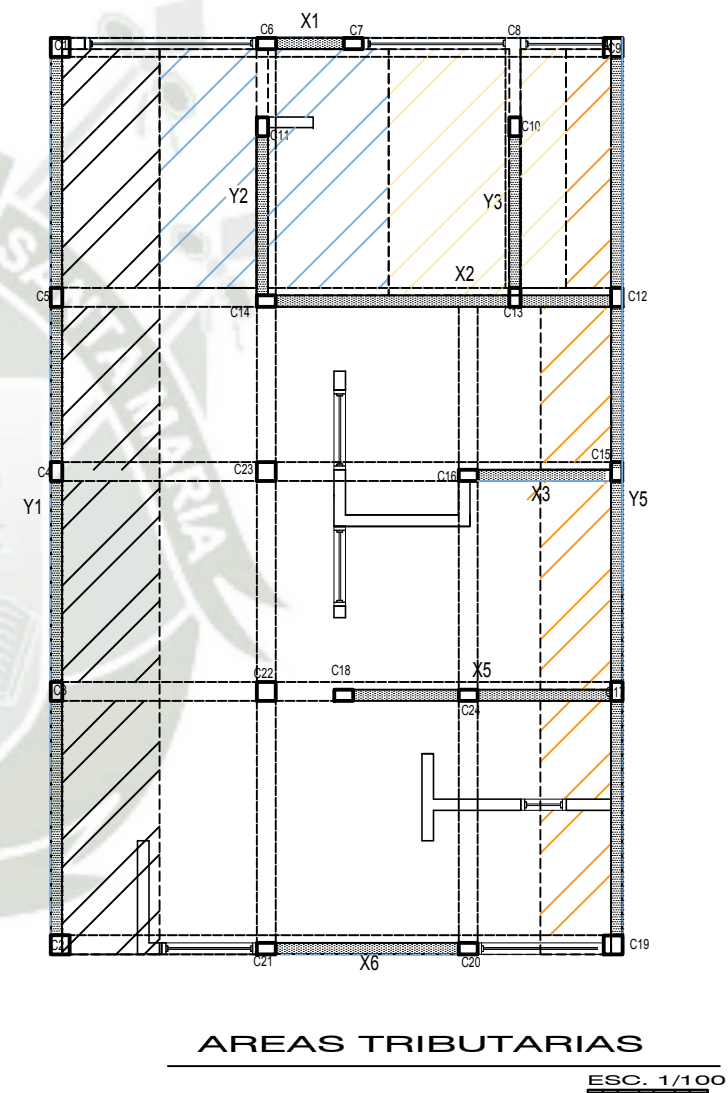
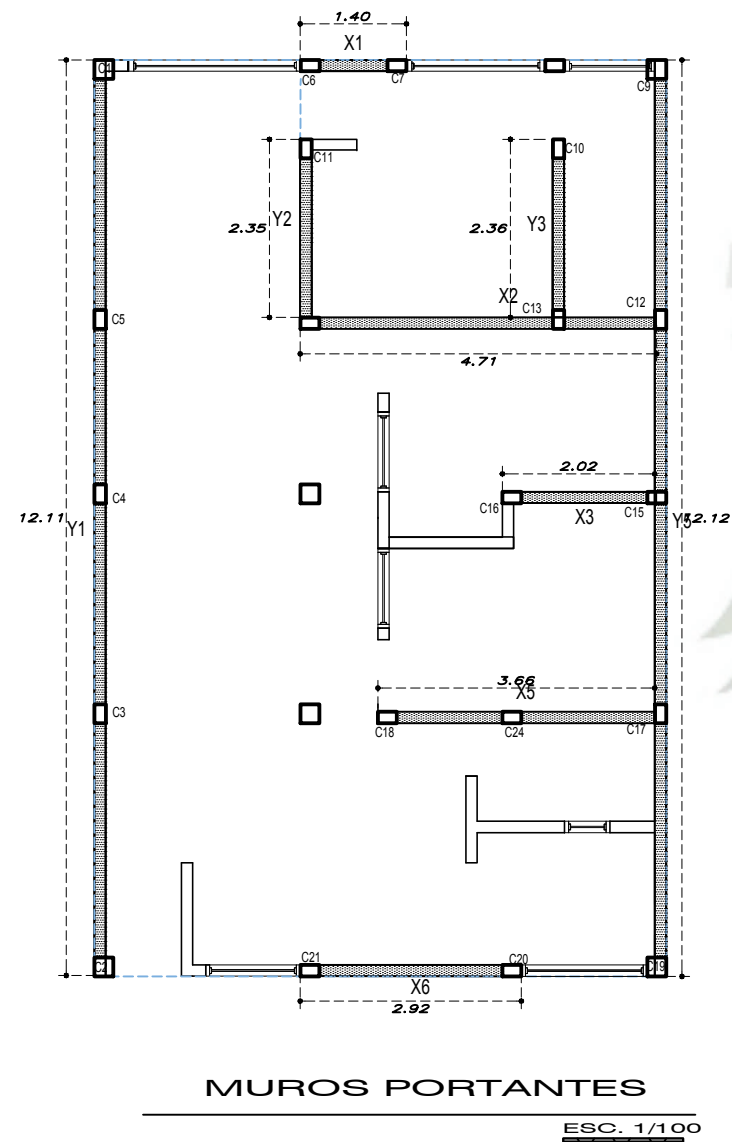
PROYECTO : VIVIENDA UNIFAMILIAR	
UNIVERSIAD: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
DISEÑADO: JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA	
PLANO : DISTRIBUCION DE PLANTAS	
Departamento :	AREQUIPA
Provincia :	AREQUIPA
Distrito :	YURA
Asociacion :	PROFAM ZONA 3
Manzana :	"F"
Lote :	2
ESCALA: 1/75	LAMINA : A 1
FECHA: DICIEMBRE 2018	



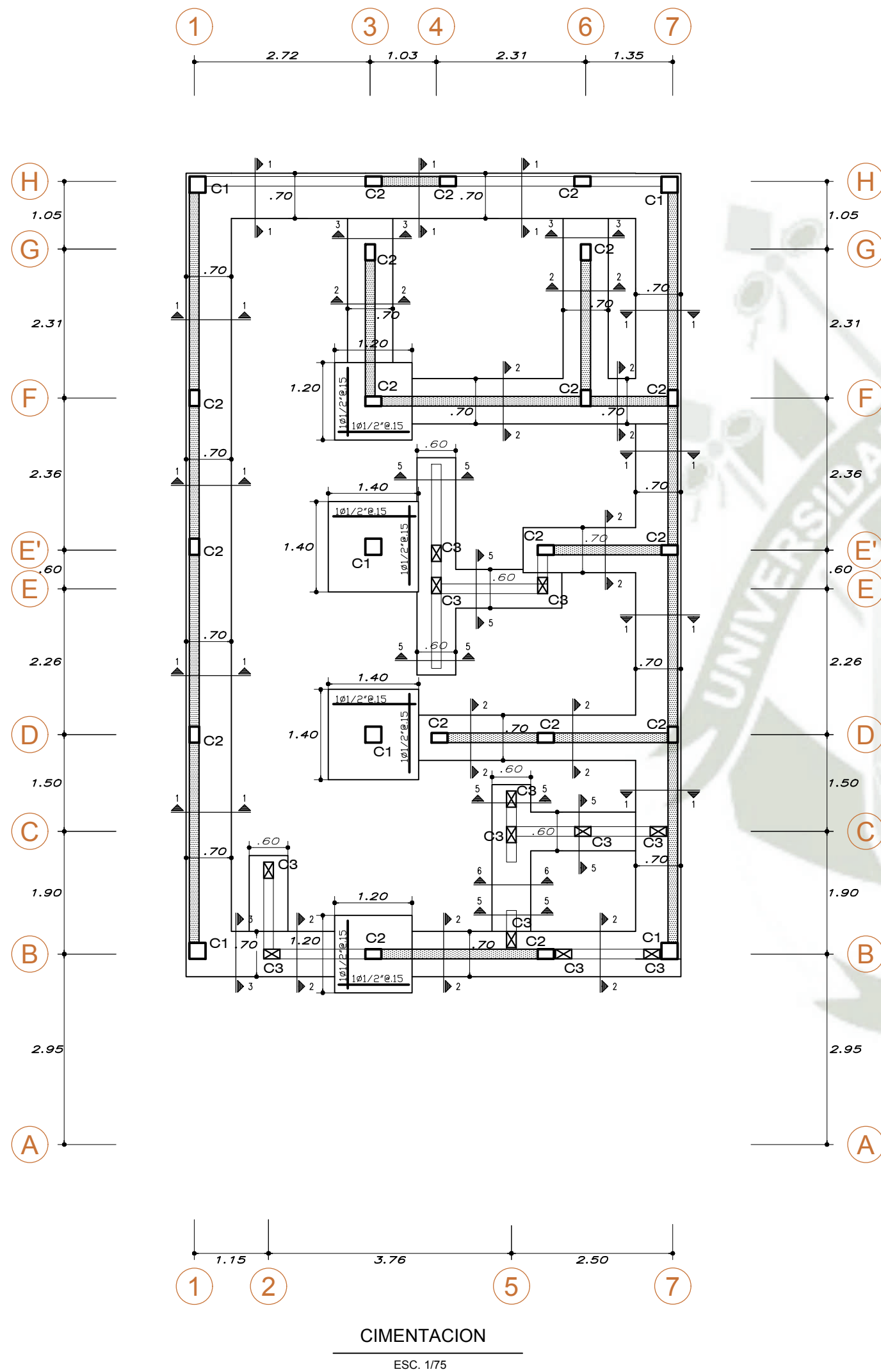
CORTE A-A

ESC. 1/50

PROYECTO :	
VIVIENDA UNIFAMILIAR	
UNIVERSIAD: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
DISEÑADO: JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA	
PLANO :	
DISTRIBUCION DE PLANTAS	
Departamento :	AREQUIPA
Provincia :	AREQUIPA
Dístrito :	YURA
Asociacion :	PROFAM ZONA 3
Manzana :	"F"
Lote :	2
ESCALA: 1/100	LAMINA : A 2
FECHA: DICIEMBRE 2018	

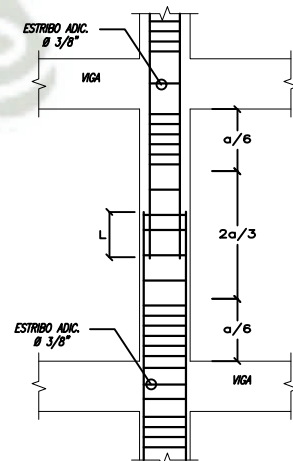


PROYECTO :	
VIVIENDA UNIFAMILIAR	
UNIVERSIAD: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
DISEÑADO: JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA	
PLANO :	
MUROS PORTANTES Y AREAS TRIBUTARIAS	
Departamento :	AREQUIPA
Provincia :	AREQUIPA
Distrito :	YURA
Asociacion :	PROFAM ZONA 3
Manzana :	"F"
Lote :	2
ESCALA: 1/100	LAMINA :
FECHA: DICIEMBRE 2018	AE 1



ESPECIFICACIONES TECNICAS	
A) CONCRETO :	USAR CEMENTO PORTLAND IP - YURA
CIMENTOS C' C'	1:10 (C:H) + 30% P.G. 4' MAX.
SOBRECIMENTOS C' C'	f'c=140 kg/cm2 + 25% P.MED. 3" MAX.
ESTRUCTURAS C' A'	f'c=210 kg/cm2 (SALVO INDICACION)
FALSO PISO C' F'	C50 1:10 (C:A:P) e = 4"
B) ACERO :	
EN GENERAL	f'y = 4200 kg/cm2 ASTM = A615 GRADO 60
C) CARGA DE TRABAJO DEL TERRENO :	
RESISTENCIA DE TERRENO Q _t	: 1.00 Kg/cm ²
PROFUNDIDAD DE CIMENTACION	: - 1.50 m (bajo n.n.l.)
FACTOR DEL SUELO (S)	: 1.15 (Tipo S2)
PERIODO DE VIBRACION T _s (S)	: 0.6 seg
D) ALBAÑILERIA :	
ALBAÑILERIA CONFINADA	: TIPO IV (MECANIZADO)
LADRILLO KK	DIMENSIONES : 24 x 14 x 9 cm
f'm	: 65 kg/cm2
JUNTA	: 15 mm max.
MORTERO	: MEZCLA 1:5 (C:A:F) (TIPO 2)
TABICERIA	: PANDICRETA (MECANIZADO)
DIMENSIONES	: 10 x 14 x 22 cm
E) CARGAS :	
ACABADOS Y PISOS	0.100 TON/M2
LADRILLO HUECO	0.080 TON/M2
SOBRECARGA	INDICADO EN ENCOFRADOS
F) RECURRIMIENTOS MINIMOS :	
VIGAS	3.0 cm
COLUMNAS	3.0 cm
LOSAS	2.0 cm
MUROS	2.0 cm
ZAPATAS	Indicado en detalle
H) PARAMETROS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE	
1) ZONA (S)	: FACTOR DE ZONA : Z = 0.35
2) PERIODO - FACTOR SUELO	: S = 1.15 Ts = 0.60
3) FACTOR DE USO	: U = 1.00
4) AMPLIFICACION SISMICA	: C = Segun Analisis Dinamico RNC < 2.5
5) SISTEMA ESTRUCTURAL	SENTIDO X : ALBAÑILERIA CONFINADA SENTIDO Y : ALBAÑILERIA CONFINADA
6) COEFICIENTE DE REDUCCION	Rx = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA) Ry = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
7) DESPLAZAMIENTO "X" & "Y" RELATIVOS ENTRE PISOS	Δ / he < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA) Δ / he < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
I) PROYECTO : CARGAS PARA SISMO (D = 100% L = 25%)	

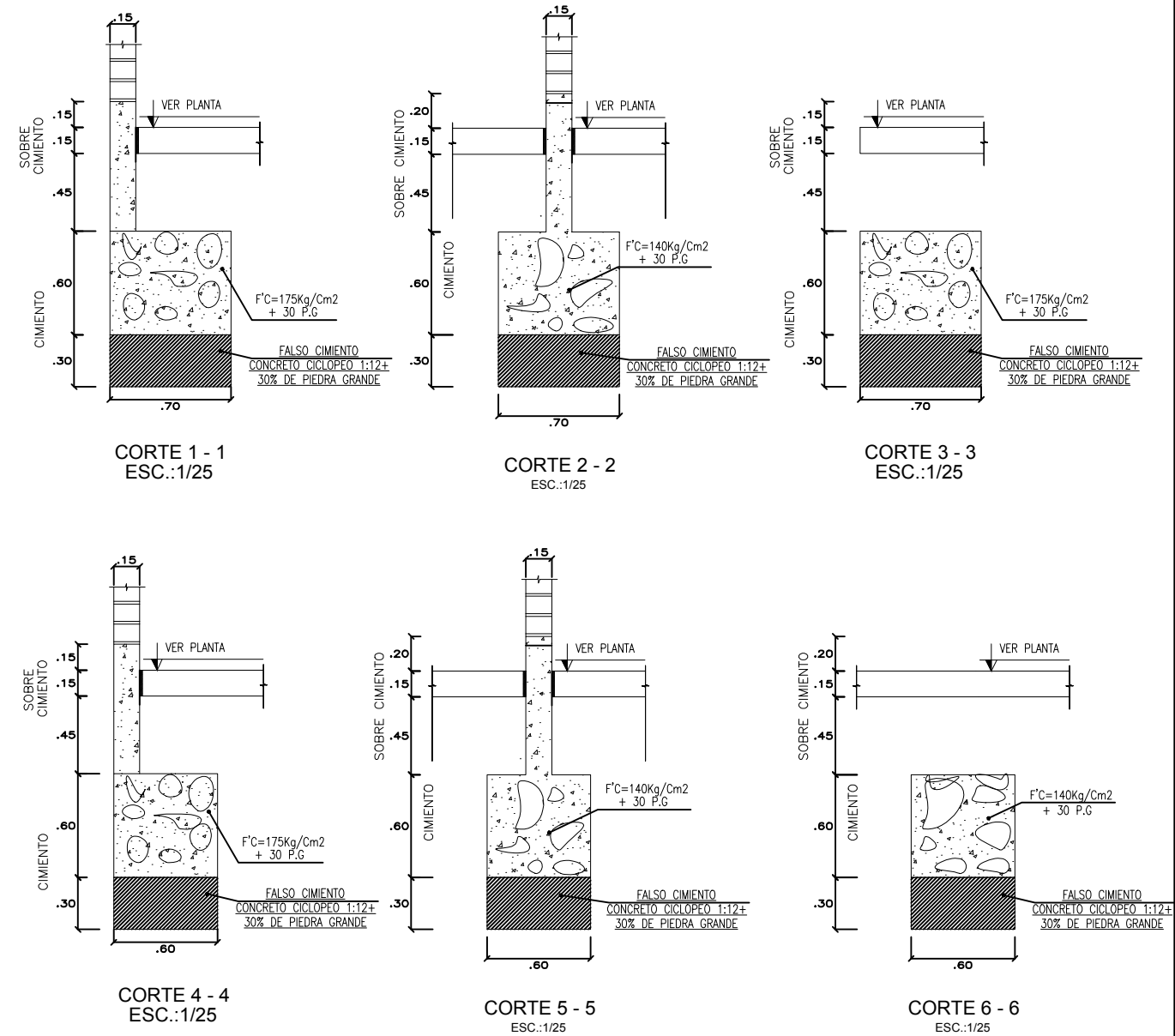
ESTRIBOS		
Ø	L	R mm.
6 mm	6.5 cm.	3.0 cm.
8 mm	7.5 cm.	4.0 cm.
3/8"	10 cm.	4.0 cm.



LONGITUD DE EMPALME (m)	
Ø 3/8"	0.40
Ø 1/2"	0.45
Ø 5/8"	0.60
Ø 3/4"	0.70
Ø 1"	1.10

EMPALME EN DIFERENTES PARTES TRATANDO DE HACER LOS EMPALMES FUERA DE LA ZONA DE CONFINAMIENTO

EMPALME Y TRASLAPES EN COLUMNAS



DETALLE DE ZAPATAS AISLADA

CUADRO DE COLUMNAS			
TIPO	C-1	C-2	C-3
ESTRIBOS.	1 [] Ø1/4"; 1Ø.05, 6Ø.10, Rto Ø.25 c/a.	1 [] Ø1/4"; 1Ø.05, 6Ø.10, Rto Ø.25 c/a.	1 [] Ø1/4"; 1Ø.05, 4Ø.10, Rto Ø.25 c/a.
SECCION			

PROYECTO :
VIVIENDA UNIFAMILIAR

UNIVERSIAD:
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

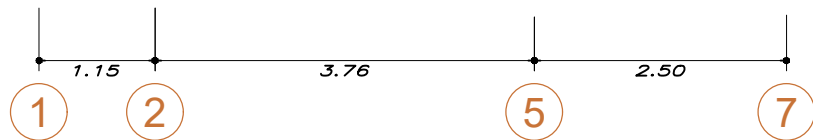
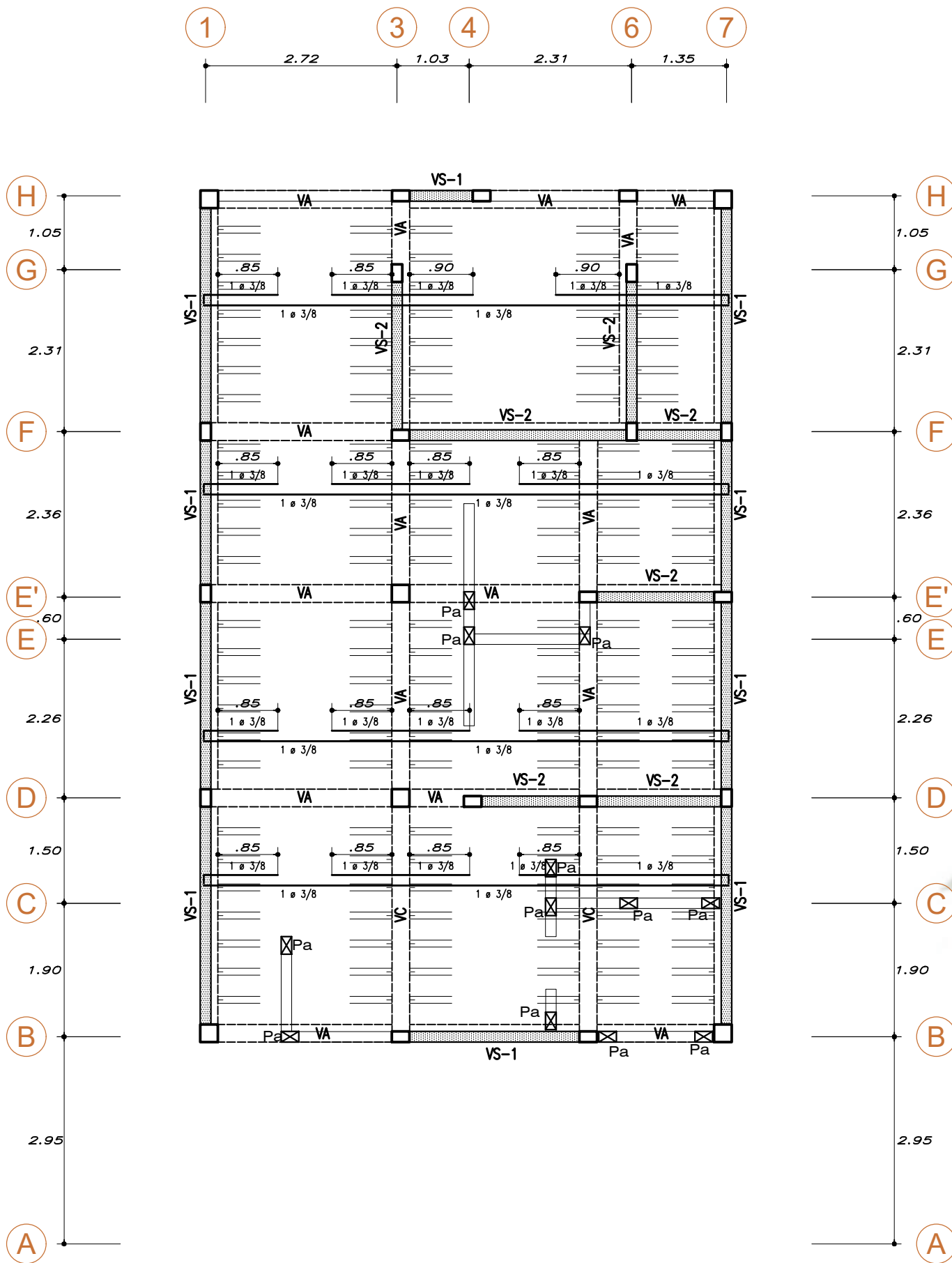
DISEÑADO:
JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA

PLANO :
CIMENTACIONES

Departamento : AREQUIPA
Provincia : AREQUIPA
Distrito : YURA
Asociacion : PROFAM ZONA 3
Manzana : "F"

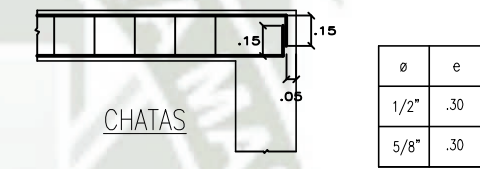
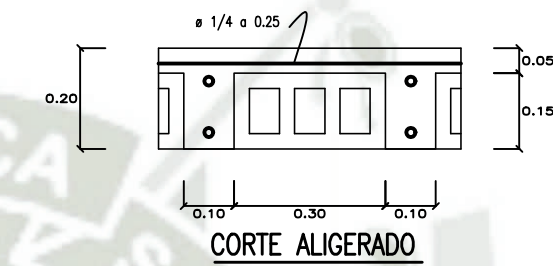
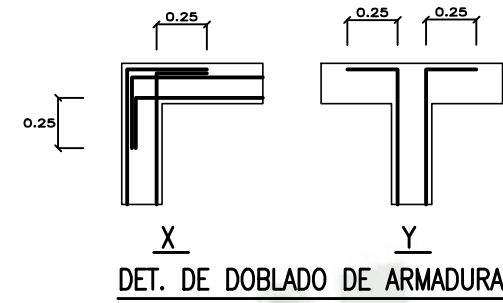
Lote : 2

ESCALA: 1/75
FECHA: DICIEMBRE 2018
LAMINA :
E1

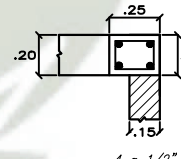
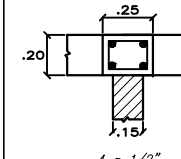
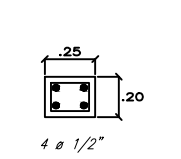
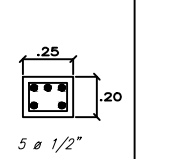


ENCOFRADO 1ER Y 2DO NIVEL
ESC. 1/75

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
A) CONCRETO :	USAR CEMENTO PORTLAND IP - YURA
COMENTOS C' C'	: 110 (C10) - 30% F.C. MAX.
SUBCIMENTOS C' C'	: (F=140) kg/cm ² + 20% P.MED. 3 ^{er} MAX.
ESTRUCTURAS C' A'	: f'c=210 kg/cm ² (SALVO INDICACION)
FALSO PISO C' S'	: C' S' 1:10 (CAP) e = 4"
B) ACERO :	
EN GENERAL :	f _y = 4,200 kg/cm ² ASTM - A615 GRADO 60
C) CARGA DE TRABAJO DEL TERRENO :	
RESISTENCIA DE TERRENO σ _t	: 1.00 Kg/cm ²
PROFUNDIDAD DE CIMENTACION	: - 1.50 m (bajo n.n.l.)
FACTOR DEL SUELO (S)	: 1.15 (Tipo S2)
PERIODO DE VIBRACION T _s (S)	: 0.6 seg
D) ALBAÑILERIA :	
ALBAÑILERIA CONFINADA	: TIPO IV (MECANIZADO)
LADRILLO KK	: 24 x 14 x 9 cm
MEZCLA	: 65 kg/cm ²
JUNTA	: 15 mm max.
MORTERO	: MEZCLA 1:5 (C: A:F) (TIPO 2)
TABQUERA	: PANDERETA (MECANIZADO)
DIMENSIONES	: 10 x 14 x 22 cm
E) CARGAS :	
ACABADOS Y PISOS	: 0.100 TON/M ²
LADRILLO HUECO SOBRECARGA	: 0.080 TON/M ²
INDICADO EN ENCOFRADOS	
F) RECURRIMIENTOS MINIMOS :	
VIGAS	: 3.0 cm
COLUMNAS	: 3.0 cm
LOGAS	: 2.0 cm
MUROS	: 2.0 cm
ZAPATAS	: Indicado en detalle
H) PARAMETROS DE DISEÑO SISMORESISTENTE	
1) ZONA (3)	: FACTOR DE ZONA : Z = 0.35
2) PERIODO - FACTOR SUELO	: S = 1.15 T _p = 0.60
3) FACTOR DE USO	: U = 1.00
4) AMPLIFICACION SISMICA	: C = Según Análisis Dinámico RNC < 2.5
5) SISTEMA ESTRUCTURAL	: SENTIDO X : ALBAÑILERIA CONFINADA SENTIDO Y : ALBAÑILERIA CONFINADA
6) COEFICIENTE DE REDUCCION	: R _x = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA) R _y = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
7) DESPLAZAMIENTO "X" y "Y" RELATIVOS ENTRE PISOS	: Δ / h _e < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA) Δ / h _e < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
I) PROYECTO : CARGAS PARA SISMO (D = 100% L = 25%)	

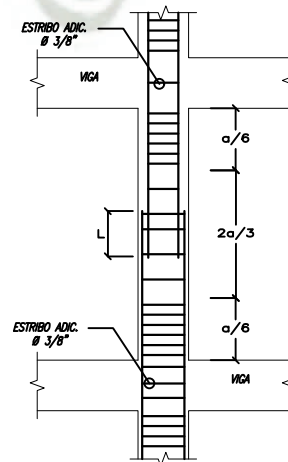


ANCLAJE DE VIGAS

CUADRO DE VIGAS				
TIPO	VS-1	VS-2	VA	VC
ESTRIBOS.	1 [] Ø1/4"; 10.05, 40.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4"; 10.05, 40.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4"; 50.05, 40.10, Rto Ø.25 c/e.	1 [] Ø1/4"; 50.05, 40.10, Rto Ø.25 c/e.
SECCION				

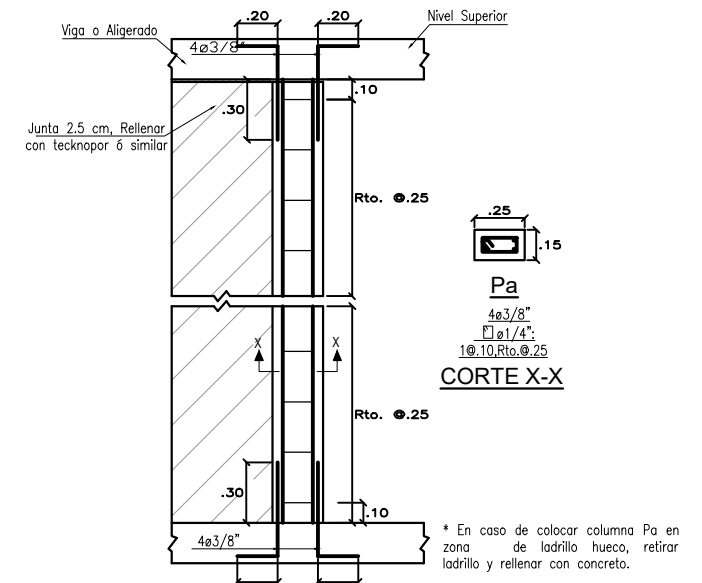
LONGITUD DE EMPALME (m)			
# 3/8"	0.40		
# 1/2"	0.45		
# 5/8"	0.60		
# 3/4"	0.70		
# 1"	1.10		

EMPALME EN DIFERENTES PARTES TRAZANDO DE HACER LOS EMPALMES FUERA DE LA ZONA DE CONFINAMIENTO



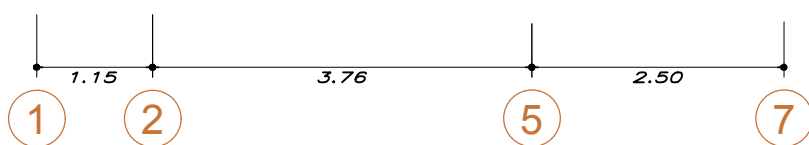
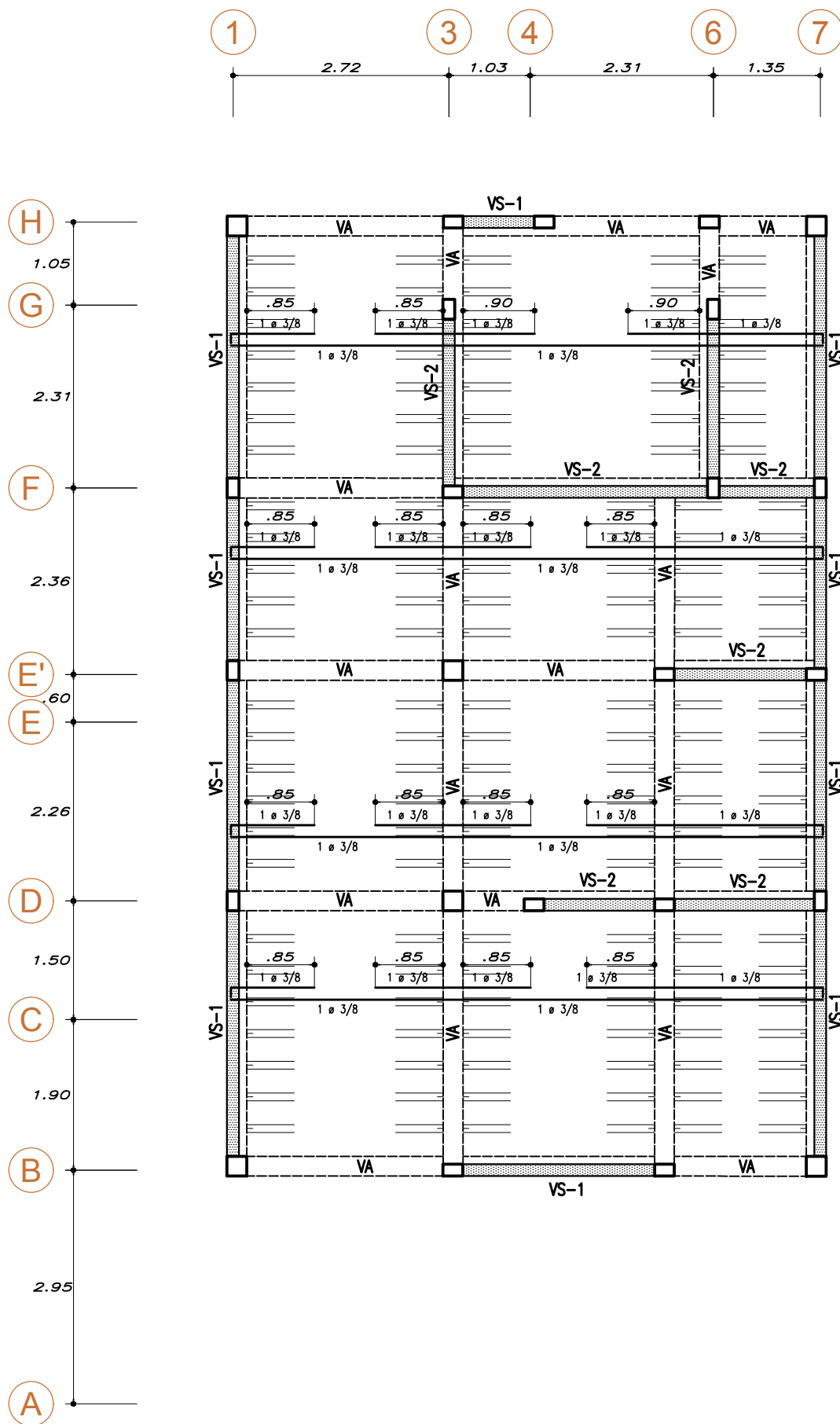
EMPALME Y TRASLAPES EN COLUMNAS

GANCHOS ESTANDAR			
Barras longitud y estribos			
#	Ø (cm)	m (cm)	r (cm)
3/8"	0.952	6.50	3.00
1/2"	1.270	6.50	4.00
5/8"	1.587	6.50	5.00
3/4"	1.905	8.00	6.00
1"	2.540	11.00	8.00



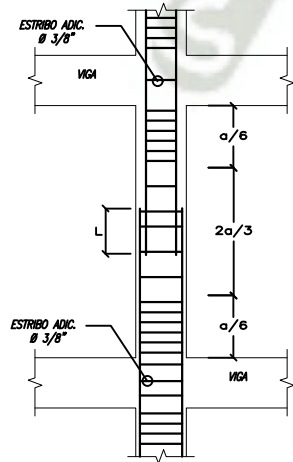
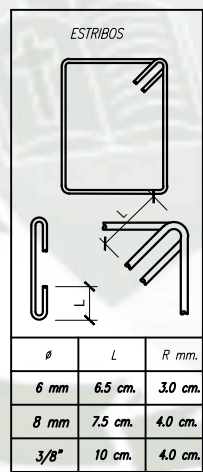
COLUMNETAS Pa
(Las columnas Pa estarán separadas con una junta de 2.5 cm. de cualquier elemento estructural. La junta se rellenará con technopor o similar).

PROYECTO :	VIVIENDA UNIFAMILIAR
UNIVERSIAD:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DISEÑADO:	JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA
PLANO :	ENCOFRADO 1ER Y 2DO NIVEL
Departamento :	AREQUIPA
Provincia :	AREQUIPA
Distrito :	YURA
Asociación :	PROFAM ZONA 3
Manzana :	"F"
Lote :	2
ESCALA:	1/75
FECHA:	DICIEMBRE 2018
LAMINA :	E2



ENCOFRADO 1ER Y 2DO NIVEL
ESC. 1/75

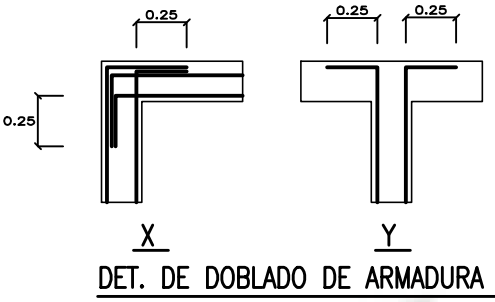
ESPECIFICACIONES TECNICAS	
A) CONCRETO :	USAR CEMENTO PORTLAND IP - YURA
CIMENTOS C/C :	1:10 (C/H) + 30% P.G. 6" MAX.
SORRECCIONES C/C :	f _c = 140 kg/cm ² + 25% P.MED. 3" MAX.
ESTRUCTURAS C/H :	f _c = 10 kg/cm ² (SALVO INDICACION)
FALSO PISO C/S :	C/S* 1:10 (C/A) e = 4"
B) ACERO :	
EN GENERAL :	f _y = 4,200 kg/cm ² ASTM - A615 GRADO 60
C) CARGA DE TRABAJO DEL TERRENO :	
RESISTENCIA DE TERRENO :	1.00 Kg/cm ²
PROFUNDIDAD DE CIMENTACION :	~ 1.50 m (bajo n.n.l.)
FACTOR DEL SUELO (S) :	1.15 (Tipo S2)
PERIODO DE VIBRACION T _s (S) :	0.6 seg
D) ALBAÑILERIA :	
ALBAÑILERIA CONFINADA :	TIPO IV (MECANIZADO)
LADRILLO HK :	24 x 14 x 9 cm
DIMENSIONES :	f _m : 65 kg/cm ²
UNION :	15 mm max.
MORTERO :	MEZCLA 1:5 (C: A.F.) (TIPO 2)
TABICQUERIA :	PANDERETA (MECANIZADO)
DIMENSIONES :	10 x 14 x 22 cm
E) CARGAS :	
ACABADOS Y PISOS :	0.100 TON/M ²
LADRILLO HUECO :	0.080 TON/M ²
SOBRECARGA :	INDICADO EN ENCOFRADOS
F) RECURRIMIENTOS MINIMOS :	
VIGAS :	3.0 cm
COLUMNAS :	3.0 cm
LOSAS :	2.0 cm
MUROS :	2.0 cm
ZAPATAS :	Indicado en detalle
H) PARAMETROS DE DISEÑO SISMORESISTENTE :	
1) ZONA (S) :	FACTOR DE ZONA : Z = 0.35
2) PERIODO - FACTOR SUELO :	S = 1.15 T _p = 0.60
3) FACTOR DE USO :	U = 1.00
4) AMPLIFICACION SISMICA :	C = Según Análisis Dinámico RNC < 2.5
5) SISTEMA ESTRUCTURAL :	SENTIDO X : ALBAÑILERIA CONFINADA SENTIDO Y : ALBAÑILERIA CONFINADA
6) COEFICIENTE DE REDUCCION :	R _x = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA) R _y = 3.00 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
7) DESPLAZAMIENTO "X" o "Y" RELATIVOS ENTRE PISOS :	Δ / h _e < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA) Δ / h _e < 0.005 (ALBAÑILERIA CONFINADA)
I) PROYECTO :	CARGAS PARA SISMO (D = 100% L = 25%)



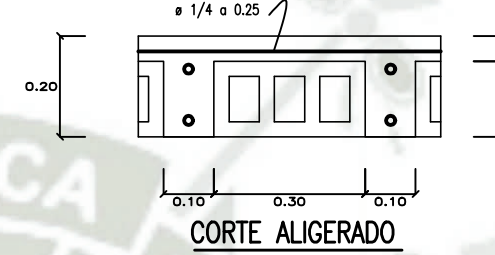
LONGITUD DE EMPALME (m)	
3/8"	0.40
1/2"	0.45
5/8"	0.60
3/4"	0.70
1"	1.10

EMPALME EN DIFERENTES PARES TRAZANDO DE HACER LOS EMPALMES FUERA DE LA ZONA DE CONFINAMIENTO

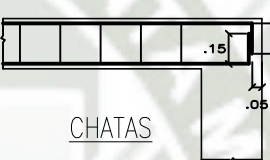
EMPALME Y TRASLAPES EN COLUMNAS



DET. DE DOBLADO DE ARMADURA



CORTE ALIGERADO



CHATAS

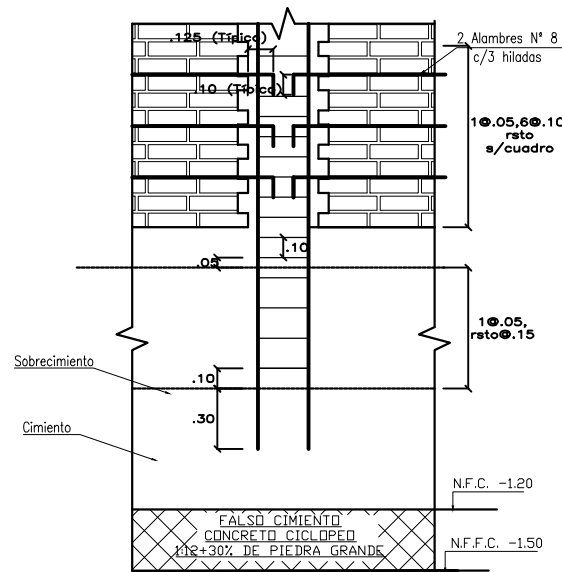
ANCLAJE DE VIGAS

CUADRO DE VIGAS				
TIPO	VS-1	VS-2	VA	VB
ESTRIBOS.	1 [] Ø1/4"; 10.05, 40.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4"; 10.05, 40.10, Rto Ø.20 c/e.	1 [] Ø1/4"; 50.05, 40.10, Rto Ø.25 c/e.	1 [] Ø1/4"; 50.05, 40.10, Rto Ø.25 c/e.
SECCION				

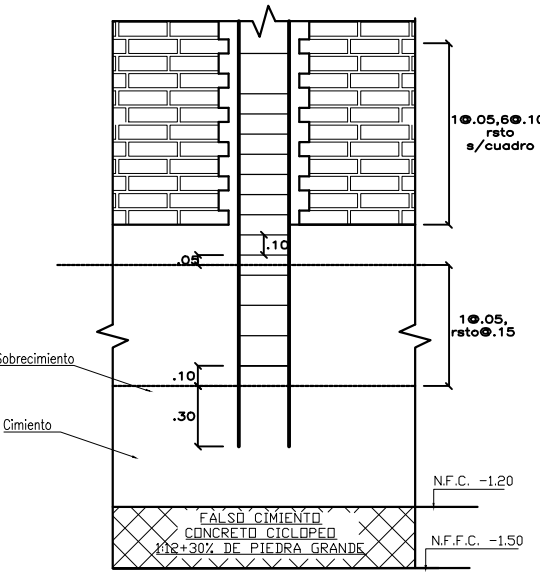
Ø	Ø (cm)	m (cm)	r (cm)
3/8"	0.952	12.00	3.00
1/2"	1.270	16.00	4.00
5/8"	1.587	19.00	5.00
3/4"	1.905	23.00	6.00
1"	2.540	31.00	8.00

Ø	Ø (cm)	m (cm)	r (cm)
3/8"	0.952	6.50	3.00
1/2"	1.270	6.50	4.00
5/8"	1.587	6.50	5.00
3/4"	1.905	6.50	6.00
1"	2.540	11.00	8.00

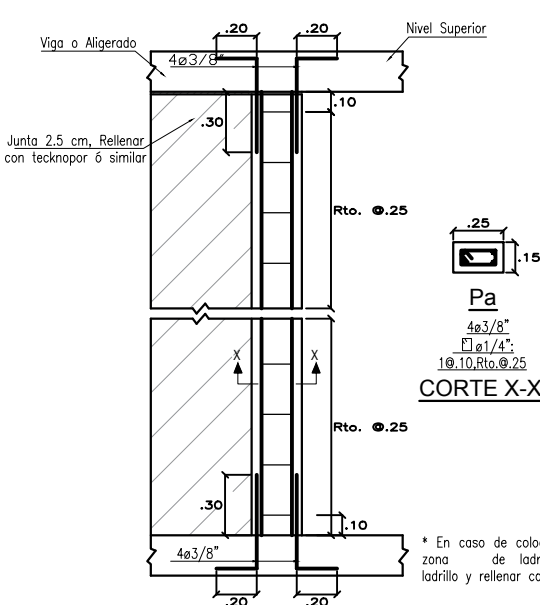
GANCHOS ESTANDAR
Barras longitud y estribos



ANCLAJE DE COLUMNAS EN CIMENTO CORRIDO CON REFUERZO HORIZONTAL EN MUROS



ANCLAJE DE COLUMNAS EN CIMENTO CORRIDO



COLUMNETAS Pa

(Las columnas Pa estarán separadas con una junta de 2.5 cm. de cualquier elemento estructural. La junta se rellenará con tecnopor o similar).

PROYECTO :	
VIVIENDA UNIFAMILIAR	
UNIVERSIAD:	
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
DISEÑADO:	
JOSE MANUEL TICONA HUILCA MILAGROS ITUZA REVILLA	
PLANO :	
ENCOFRADO DE AZOTEA	
Departamento :	AREQUIPA
Provincia :	AREQUIPA
Distrito :	YURA
Asociacion :	PROFAM ZONA 3
Manzana :	"F"
Lote :	2
ESCALA: 1/75	LAMINA :
FECHA: DICIEMBRE 2018	E3