



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información

Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de Grado:

**Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el
cambio de densidad**

Autor:

Jean Carlos Villalobos Arguedas

Tutor:

Ing. Andrés Reyes Bonilla

Lector:

Ing. Minor Murillo Chacón

Fecha de elaboración:

17 de Agosto, 2021



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “**Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el cambio de densidad**”, por el (la) estudiante: Jean Carlos Villalobos Arguedas, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de **Ingeniería Civil** de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en **Ingeniería Civil**:

Andrés Reyes Bonilla

Tutor

Minor Murillo Chacón

Lector

José María Ulate Zárate

Representante



COMITÉ ASESOR

Ing. Andrés Reyes Bonilla

Tutor

Ing. Minor Murillo Chacón

Lector

Ing. José María Ulate Zárate

Representante

CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE
GRADUACIÓN

Heredia, 17 de agosto del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el cambio de densidad", elaborado por el estudiante: Jean Carlos Villalobos Arguedas, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

ANDRES
REYES
BONILLA
(FIRMA)



Firmado
digitalmente por
ANDRES REYES
BONILLA (FIRMA)
Fecha: 2021.08.24
10:16:35 -06'00'

Ing. Andrés Reyes Bonilla

CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE
GRADUACIÓN

Heredia, 17 de agosto del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

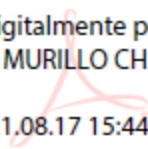
Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el cambio de densidad", elaborado por el estudiante: Jean Carlos Villalobos Arguedas, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Firmado digitalmente por MINOR
EDUARDO MURILLO CHACON
(FIRMA)
Fecha: 2021.08.17 15:44:55 -06'00'



Ing. Minor Murillo Chacón



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
ESCUELA: INGENIERÍA CIVIL

Heredia, 29 de agosto de 2021

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACION

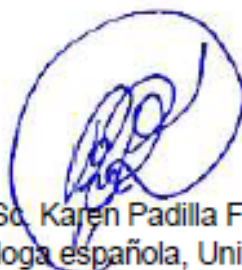
Señores y señoras Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación.

A quien corresponda:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación *Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el cambio de densidad*, elaborado por el sustentante **Jean Carlos Villalobos Arguedas** para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Corregí el trabajo en aspectos tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros puntos relacionados con el campo filológico. Además, se han realizados los ajustes correspondientes al formato APA 7ª Edición, al lenguaje inclusivo; así como a la coherencia y cohesión de la propuesta. Desde ese punto de vista, considero que está listo para ser presentado como Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Civil; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe de ustedes, cordialmente,



M. Sc. Karen Padilla Fallas
Filóloga española, Universidad de Costa Rica
Código 05560
ACFIL 345

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Jean Carlos Villalobos Arguedas

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Con el trabajo de tesis "Optimización del diseño de mezcla para mampostería de concreto basado en el cambio de densidad", para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 24 del mes agosto de año 2021 a las 5:03 p.m. . Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:

JEAN CARLOS
VILLALOBOS
ARGUEDAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por
JEAN CARLOS VILLALOBOS
ARGUEDAS (FIRMA)
Fecha: 2021.08.24 17:04:20
-06'00'



Agradecimientos

Inicialmente, quiero agradecerle a Dios y a la Virgen María por haberme brindado la salud, la sabiduría, la paciencia y perseverancia necesarias a lo largo de toda esta etapa de preparación académica, por cuanto estoy logrando finalizar un objetivo más en mi vida.

También quisiera extender un fuerte agradecimiento a las personas más importantes en mi vida como lo son mi madre Zeneida Arguedas Alvarado y mi padre Freddy Villalobos Chaves, a quienes doy infinitas gracias por todo el apoyo emocional y económico que me han brindado durante el desarrollo del presente trabajo, a lo largo de todos estos años de carrera; principalmente, quiero agradecerles por ser tan amorosos y atentos.

A mis hermanos, Marjorie Villalobos Arguedas y Freddy Villalobos Arguedas, muchísimas gracias por todos sus consejos, por toda esa ayuda que me han brindado desde el día uno hasta hoy, por todas las enseñanzas que me han ofrecido y por ser siempre ejemplos a seguir. A mi novia, Mónica Chacón Vargas, quiero agradecerle toda la paciencia y el apoyo que me ha brindado en toda mi carrera universitaria, especialmente, por toda la motivación y comprensión que recibí de ella durante estos dos últimos años de carrera.

Finalmente, quiero agradecerle muy profundamente a la empresa Productos de Concreto, a los ingenieros Andrés Reyes Bonilla y Minor Murillo Chacón la confianza y la oportunidad que me otorgaron de realizar un trabajo de investigación tan importante como este; a su vez, quisiera darle mi más grato reconocimiento a todos los compañeros del área técnica y de control de calidad de la empresa: Eduardo Artavia, Natalia Castro, Isabel Zúñiga y William Chavarría, quienes me aconsejaron y guiaron durante todo el desarrollo de este trabajo, gracias infinitas por todo su apoyo, paciencia y amistad a lo largo de estos cuatro meses; por que, sin la ayuda de ustedes, hubiese sido mucho más difícil alcanzar la calidad y los resultados finales que se obtuvieron.

Resumen

La presente investigación procura, de manera exhaustiva, encontrar una mejora en la dosificación de mezclas secas implementadas actualmente en una planta de producción de bloques de concreto; en la misma línea, la investigación se centra en realizar una serie de cambios con respecto a las proporciones o cantidades de los agregados, de manera que se logre definir una variación capaz de mejorar o igualar los resultados de resistencia final a la compresión, absorción y densidad que se obtienen en dicha planta.

Para la fabricación de los elementos de prueba denominados como especímenes cilíndricos, a lo largo de este quehacer, se trabajó con tres tipos distintos de agregados de los cuales dos provienen de la cantera de dicha planta productora, mientras que el otro proviene de una fuente externa. Por otra parte, se efectuaron cuatro variaciones en las proporciones de los agregados que componen la mezcla, esto en relación con la mezcla referencia utilizada actualmente en la planta con la cual, además, se elaboraron dos muestreos más, usados de manera comparativa y evaluativa.

Este proceso se plantea mediante la aplicación de la metodología internacional de diseño de mezclas secas propuesta por Frasson Jr., la cual se basa en la fabricación de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm, a los que se les somete a pruebas de resistencia a la compresión, cohesión y absorción. Consecutivamente, la metodología propone realizar una correlación entre las densidades y la resistencia final a la compresión para lograr una proyección de una curva de resistencia para cada grupo de especímenes, las mismas serán evaluadas a través del uso de la herramienta Microsoft Excel.

Como parte final de la investigación, se da una comparación de costos de producción entre la mezcla actual que utilizan en la planta productora y la mejor variación encontrada, con la finalidad de demostrar porcentualmente si se logra o no una optimización económica en la producción de bloques de concreto. Esta investigación contó con pruebas de laboratorio avaladas por los estándares de calidad vigentes en Costa Rica, tales como el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), seguido de la normativa “American Society for Testing and Materials [Sociedad Americana de Pruebas y Materiales]” por sus siglas en inglés (ASTM).

Abstract

This research exhaustively seeks to find an improvement in the dosage of dry mixes currently implemented in a concrete block production plant, from another perspective the research focuses on making a series of variations with respect to the proportions or quantities of the aggregates, so that it is possible to define a variation capable of improving or equaling the results of final resistance to compression, absorption and density that are currently obtained in said plant.

For the manufacture of the test elements known throughout this work as cylindrical specimens, we worked with three different types of aggregates within which two of them come from the quarry of said production plant while the other comes from a source. On the other hand, four variations were made in the proportions of the aggregates that make up the mixture, this in relation to the reference mixture currently used in the plant, where in addition to the four variations already mentioned, two more samples were made with the reference mixture which were used in a comparative and evaluative way.

This research is proposed through the application of the international dry mix design methodology proposed by Frasson Jr., which is based on the manufacture of cylindrical specimens of 5 cm x 10 cm, which are subjected to resistance tests to compression, absorption, and moisture. Consecutively to this, the methodology proposes to make a correlation between the densities and the final resistance to compression in order to project a resistance curve for each group of specimens, they will be evaluated through the use of the Microsoft Excel tool.

As a final part of the investigation, a comparison of production costs is concluded between the current mixture used in the production plant and the best variation found, in order to be able to demonstrate in percentage terms whether or not an economic optimization is achieved in the production of concrete blocks. This research had laboratory tests endorsed by the quality standards in force in Costa Rica, such as the Institute of Technical Standards of Costa Rica (INTECO), followed by the standard "American Society for Testing and Materials" for its acronym in English (ASTM).

Índice de Contenidos

Agradecimientos	viii
Resumen.....	ix
Abstract	x
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Antecedentes internacionales.....	1
1.1.2 Antecedentes nacionales	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificación	4
1.5 Alcances y limitaciones	5
1.5.1 Alcances	5
1.5.2 Limitaciones.....	6
1.6 Impacto	6
1.7 Hipótesis	7
Capítulo II: Marco Teórico	8
2.1 Concreto seco o de asentamiento nulo.....	8
2.2 Relación agua-cemento (a/c).....	9
2.3 Concreto vibrocompactado	11
2.3.1 Principio de las mezclas vibrocompactadas.....	12
2.3.2 Cantidad de agua en las mezclas de concreto vibrocompactado	12
2.3.3 Ventajas de la vibrocompactación	13
2.3.3.1 Compacidad.	13

2.3.3.2 Desmoldado rápido.	14
2.3.3.3 Resistencia mecánica.	14
2.3.3.4 Mejora del acabado de los elementos.	14
2.3.4 Tipos de máquinas bloqueras.....	14
2.3.4.1 Máquinas manuales.....	14
2.3.4.2 Máquinas semiautomáticas.	15
2.3.4.3 Máquinas automáticas.....	16
2.4 Proceso de producción de bloques usando máquinas automáticas (Equipo Masa)	17
2.5 Importancia de los Agregados y su granulometría	19
2.6 Curado del concreto	20
2.7 Bloques de concreto (Mampostería).....	22
2.7.1 Ventajas de utilizar bloques de concreto	23
2.7.2 Especificaciones INTE para bloques de concreto.....	24
2.8 Métodos dosificación de mezclas secas para bloques de concreto	25
2.8.1 Método de dosificación de Besser Company (Adaptado por Medeiros)	25
2.8.2 Método de dosificación de la ABCP.....	27
2.8.3 Método de dosificación propuesto por Columbia.....	29
2.8.4 Método de dosificación ITP/Epusp.....	30
2.8.4.1 Paso número 1: Ajuste de agregados.	30
2.8.4.2 Paso número 2: Determinación de resistencia media.	30
2.8.4.3 Paso número 3: Contenido estimado de agregado / cemento (m).....	31
2.8.4.4 Paso número 4: Determinación de la proporción de mortero y humedad óptima. 32	
2.8.4.5 Paso número 5: Confección de mezclas experimentales.	33
2.8.4.6 Paso número 6: Trazado y uso del diagrama de dosificación.	33
2.8.5 Método de diseño de mezclas propuesto por Frasson Jr.....	35

2.8.5.1 Elección y proporción de los agregados.	35
2.8.5.2 Evaluación de cohesión y textura superficial.....	35
2.8.5.3 Preparación de mezclas para trazar una curva de diseño de mezcla.....	36
2.8.5.4 Estimación de la resistencia media compresiva en función de la fuerza a la compresión especificada.	37
2.8.5.5 Determinación de la proporción cemento: agregado.	38
2.8.5.6 Procedimiento y equipo utilizado para implementar el método.	39
2.8.5.7 Procedimiento y equipo utilizado para realizar la prueba de cohesión.....	41
Capítulo III: Marco Metodológico.....	42
3.1 Paradigma	42
3.2 Metodología de la investigación	42
3.3 Enfoque metodológico.....	42
3.4 Operacionalización de variables.	43
3.5 Población y muestra.....	45
3.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	46
3.6.1 INTE C62 (ASTM C702): Norma para reducir muestras a tamaño de ensayo	48
3.6.2 INTE C46 (ASTM C136): Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso	48
3.6.3 INTE C69 (ASTM C128): Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.....	49
3.6.4 INTE C49 (ASTM C117): Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm en agregados minerales.....	49
3.6.5 INTE C71 (ASTM C566): Determinación del contenido de humedad total evaporable de los agregados por secado	49
3.6.6 INTE C147: Cemento Hidráulico	50
3.6.7 Ensayo no Normado: Método de Frasson Jr. para el moldeo de especímenes	50

3.6.8	Ensayo no Normado: Método de Frasson Jr. para la cohesión	52
3.6.9	INTE C18 (ASTM C192): Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en laboratorios	53
3.6.10	Ensayo no Normado: Método propuesto por Frasson Jr. para determinar la densidad seca y la absorción de los especímenes cilíndricos.....	54
3.6.11	INTE C39 (ASTM C39): Resistencia a la compresión de cilindros de concreto ...	56
3.6.12	INTE C50: Unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas	58
3.7	Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos	58
Capítulo IV: Resultados y Análisis de resultados		60
4.1	Resultados	61
4.1.1	Agregados	61
4.1.2	Humedad de los agregados	65
4.1.3	Mezclas de referencia	66
4.1.3.1	Mezcla Referencia 1 (Ref-1).....	68
4.1.3.2	Mezcla Referencia 2 (Ref-2).....	74
4.1.4	Primer variación de mezcla (AG60PO30AO10)	78
4.1.5	Segunda variación de mezcla (AG55PO20AO25)	83
4.1.6	Tercer variación de mezcla (AG20PO50AO30).....	88
4.1.7	Cuarta variación de mezcla (AG10PO45AO45).....	92
4.1.8	Apariencia y textura de los especímenes cilíndricos	97
4.1.8.1	Mezclas referencia.	97
4.1.8.2	Mezcla AG60PO30AO10.	98
4.1.8.3	Mezcla AG55PO20AO25.	99
4.1.8.4	Mezcla AG20PO50AO30.	99
4.1.8.5	Mezcla AG10PO45AO45.	100
4.1.9	Calibración de la máquina productora de bloques	101

4.2 Análisis de resultados	106
4.2.1 Humedad de las mezclas	106
4.2.2 Cohesión de las mezclas	108
4.2.3 Densidad seca de especímenes a 28 días	110
4.2.4 Absorción de especímenes	111
4.2.5 Resistencia a la compresión de especímenes	112
4.2.6 Curvas de desarrollo de resistencia de los especímenes	116
4.2.7 Correlación de la resistencia a la compresión de especímenes vs densidad seca .	119
4.2.8 Correlación de la resistencia a la compresión de bloques vs densidad seca.....	122
4.2.9 Método de curado vs resistencia final a la compresión de bloques	126
4.2.10 Comparación relativa de costos de producción	128
Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y hallazgos	132
5.1 Conclusiones	132
5.2 Recomendaciones	132
5.3 Hallazgos.....	133
Referencias bibliográficas.....	134
Anexos	139
Anexo A. Certificado de Calidad del Cemento Industrial Tipo MP/A-28	139
Anexo B. Caracterización de Agregado Fino Guápiles.....	140
Anexo C. Equipo para la Metodología de Frasson Jr.	141
Anexo D. Equipo para la Caracterización de los Agregados.....	141
Anexo E. Coronación de Especímenes Cilíndricos	142
Anexo F. Falla a la Compresión de Especímenes Cilíndricos	143
Anexo G. Toma de Mezcla Referencia 2 del Mixer	143
Anexo H. Falla de Bloques a la Compresión.....	144

Glosario.....	145
---------------	-----

Índice de Figuras

Figura 1 Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia final.....	10
Figura 2 Influencia de la compactación y la relación a/c en la resistencia final.....	11
Figura 3 Máquina manual con tolva para la fabricación de bloques	15
Figura 4 Máquina semiautomática para la fabricación de bloques.....	16
Figura 5 Máquina automática para la fabricación de bloques	17
Figura 6 Proceso de producción de bloques con la máquina automática Masa.....	19
Figura 7 Influencia de los agregados en la textura del bloque.....	20
Figura 8 Efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión final.....	22
Figura 9 Partes fundamentales de un bloque de concreto.....	25
Figura 10 Curvas granulométricas en función de los bloques a producir.....	26
Figura 11 Curva para determinar la combinación de agregados óptima	28
Figura 12 Diagrama de dosificación ITP adaptado para piezas de concreto	34
Figura 13 Equipo utilizado para el moldeo de especímenes.....	39
Figura 14 Proceso de moldeo de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm	40
Figura 15 Prueba de cohesión para especímenes de 5 cm x 10 cm	41
Figura 16 Moldeo de Especímenes por el Método de Frasson Jr.	51
Figura 17 Especímen cilíndrico moldeado por el método de Frasson Jr.	51
Figura 18 Prueba de Cohesión por el Método de Frasson Jr.	52
Figura 19 Caja de espuma de poliestireno, para el curado de especímenes	53
Figura 20 Obtención de peso sumergido	55
Figura 21 Especímenes secos, luego de pasar al horno por 24 horas	56
Figura 22 Máquina de falla a la compresión y sello de calibración de esta (PC, Bloquera Ochoмого)	57
Figura 23 Máquina de falla a la compresión y sellos de calibración de esta (PC, San Rafael, Alajuela).....	58
Figura 24 Curva Granulométrica, Agregado Polvo de Piedra Ochoмого (PO)	62
Figura 25 Curva Granulométrica, Agregado Arena Lavada Ochoмого (AO).....	63
Figura 26 Curva Granulométrica, Agregado Arena Industrial Guápiles (AG).....	65

Figura 27 Medición de especímenes con vernier.....	70
Figura 28 Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas referencia.....	98
Figura 29 Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG60PO30AO10.....	98
Figura 30 Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG55PO20AO25.....	99
Figura 31 Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG20PO50AO30.....	100
Figura 32 Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG10PO45AO45.....	101
Figura 33 Porcentajes de humedad de la mezclas.....	107
Figura 34 Cohesión de Mezclas.....	109
Figura 35 Densidad seca de especímenes cilíndricos.....	110
Figura 36 Porcentajes de absorción de especímenes cilíndricos.....	111
Figura 37 Resistencia a la compresión de especímenes, densidad máxima.....	113
Figura 38 Resistencia a la compresión de especímenes, densidad media.....	114
Figura 39 Resistencia a la compresión de especímenes, densidad mínima.....	115
Figura 40 Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad máxima.....	116
Figura 41 Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad media.....	117
Figura 42 Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad mínima.....	118
Figura 43. Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 1 día.....	120
Figura 44. Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 7 días.....	120
Figura 45. Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 28 días.....	121
Figura 46 Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 28 días, (mezclas óptimas)	122
Figura 47 Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 1 día.....	123
Figura 48. Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 7 días.....	124
Figura 49. Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 28 días.....	124
Figura 50 Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 28 días (mezclas óptimas) ...	125
Figura 51 Método de cura vs resistencia a la compresión de bloques.....	127
Figura 52 Costos relativos de producción por batida, mezclas referencia.....	128
Figura 53 Costos relativos de producción por batida, mezcla AG55PO20AO25.....	129
Figura 54 Costos relativos de producción por batida, mezcla AG10PO45AO45.....	130

Índice de Tablas

Tabla 1 Caracterización de mezclas según el asentamiento obtenido del cono de Abrams	8
Tabla 2 Cantidad de agua de mezclado para diferentes consistencias y tamaños de agregado ...	13
Tabla 3 Clasificación de bloques en función de su resistencia a la compresión, absorción y densidad	24
Tabla 4 Dimensiones mínimas de espesores en caras internas y externas.....	25
Tabla 5 Trazos sugeridos en función de la resistencia a la compresión media a los 28 días.....	27
Tabla 6 Composiciones granulométricas de agregado fino sugeridas para la fabricación de bloques en función de la textura final	29
Tabla 7 Valores de Knt en función de n.....	31
Tabla 8 Valores sugeridos de Knt para la primera fase de producción.....	31
Tabla 9 Sugerencias para rangos de contenidos de agregado/cemento (m).....	32
Tabla 10 Coeficiente de variación para los datos de resistencia a la compresión	38
Tabla 11 Definición de Variables	44
Tabla 12 Número de muestras a realizar.....	46
Tabla 13 Matriz de Ensayos.....	46
Tabla 14 Ensayos por realizar para la caracterización de los agregados	47
Tabla 15 Ensayos por realizar a los especímenes cilíndricos	48
Tabla 16 Granulometría del Agregado Polvo de Piedra Ochomogo (PO).....	61
Tabla 17 Propiedades del Agregado, Polvo de Piedra Ochomogo (PO)	62
Tabla 18 Granulometría del Agregado Arena Lavada Ochomogo (AO).....	63
Tabla 19 Propiedades del Agregado, Arena Lavada Ochomogo (AO).....	64
Tabla 20 Granulometría del Agregado Arena Industrial Guápiles (AG).....	64
Tabla 21 Propiedades del Agregado, Arena Industrial	65
Tabla 22 Humedad de los Agregados	66
Tabla 23 Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la Mezcla Ref-1	67
Tabla 24 Matriz de ensayos de la mezcla Ref-1	67
Tabla 25 Relación Cemento: Agregado	68
Tabla 26 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla referencia 1	68
Tabla 27 Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla referencia 1 ..	69
Tabla 28 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	69

Tabla 29 Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla referencia 1	71
Tabla 30. Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	72
Tabla 31 Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla referencia 1	72
Tabla 32. Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	73
Tabla 33 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla referencia 1	73
Tabla 34 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla referencia 2	74
Tabla 35 Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla referencia 2..	74
Tabla 36 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	75
Tabla 37 Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla referencia 2	75
Tabla 38. Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	76
Tabla 39. Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla referencia 2	76
Tabla 40 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días	77
Tabla 41 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla referencia 2	77
Tabla 42 Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG60PO30AO10.....	78
Tabla 43 Matriz de ensayos, mezcla AG60PO30AO10	78
Tabla 44. Relación Cemento: Agregado	79
Tabla 45 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG60PO30AO10.	79
Tabla 46 Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG60PO30AO10	79
Tabla 47 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	80
Tabla 48 Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG60PO3AO10	80
Tabla 49 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	81
Tabla 50 Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG60PO30AO10.....	81
Tabla 51 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días	82
Tabla 52 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG60PO3AO10.....	82
Tabla 53 Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG55PO20AO25.....	83
Tabla 54 Matriz de ensayos, mezcla AG55PO20AO25	83
Tabla 55 Relación Cemento: Agregado	83
Tabla 56 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG55PO20AO25.	84
Tabla 57 Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG55PO20AO25	84

Tabla 58 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	85
Tabla 59 Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG55PO20AO25	85
Tabla 60 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	86
Tabla 61 Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG55PO20AO25	86
Tabla 62 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días	87
Tabla 63 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG55PO20AO25	87
Tabla 64 Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG20PO50AO30.....	88
Tabla 65 Matriz de ensayos, mezcla AG20PO50AO30	88
Tabla 66 Relación Cemento: Agregado	88
Tabla 67 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG20PO50AO30.	89
Tabla 68 Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG20PO50AO30	89
Tabla 69 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	89
Tabla 70. Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG20PO50AO30	90
Tabla 71 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	90
Tabla 72. Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG20PO50AO30.....	91
Tabla 73 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días	91
Tabla 74 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG20PO50AO30.....	92
Tabla 75 Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG10PO45AO45.....	92
Tabla 76 Matriz de ensayos, mezcla AG10PO45AO45	93
Tabla 77 Relación Cemento: Agregado	93
Tabla 78 Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG20PO50AO30.	93
Tabla 79. Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG10PO45AO45	94
Tabla 80. Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día	94
Tabla 81 Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG10PO45AO45	95
Tabla 82 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días	95
Tabla 83 Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG10PO45AO45.....	96
Tabla 84 Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días	96
Tabla 85 Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG10PO45AO45.....	97
Tabla 86 Falla a escala real de bloques a 1 día	102

Tabla 87 Falla a escala real de bloques a 7 días.....	102
Tabla 88. Falla a escala real de bloques a 28 días.....	103
Tabla 89 Estimación de la resistencia promedio a la compresión de bloques	104
Tabla 90 Datos para determinar el coeficiente variación.....	104
Tabla 91 Estimación de la resistencia promedio a la compresión de especímenes cilíndricos a partir de la resistencia promedio de bloques.....	104
Tabla 92 Resistencias a la compresión de bloques (F _{bm}), utilizando un factor de calibración de 0,78.....	105

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	9
Ecuación 2	30
Ecuación 3	33
Ecuación 4	33
Ecuación 5	33
Ecuación 6	34
Ecuación 7	37
Ecuación 8	38
Ecuación 9	54
Ecuación 10	54
Ecuación 11	56

Capítulo I: Introducción

1.1 Antecedentes

1.1.1 *Antecedentes internacionales*

Según Gonzales (2008), la primera planta productora de bloques de concreto en América fue fundada bajo una patente propia por parte de un constructor de apellido Frear en 1868, la cual tenía una particularidad de agregar elementos decorativos en dichos bloques. Se menciona que estos bloques llegaron a Latinoamérica hasta la primera década del siglo XX.

Lamb y Ramírez (2008) mencionan que se produjeron bloques de concreto, en los cuales se reemplazó el cemento por ceniza volante en porcentajes de hasta un 20 %, para ello se basaron en un diseño experimental de mezcla en donde se manipularon o cambiaron únicamente la variables independientes como el agua, el cemento y la ceniza volante, esto con la finalidad de ver el efecto de la variable dependiente que es la resistencia a la compresión, donde se busca obtener una adecuada resistencia y lograr una optimización en el diseño.

Álvarez (2014) señala que se implementó el uso de lodos de papel en la producción de bloques de concreto, esto como remplazo del agregado grueso de las mezclas secas convencionales, en donde lo que se busca es variar las densidades a partir de la implementación de lodos para observar el comportamiento de la resistencia a la compresión en estos bloques; el diseño de la mezcla se basa en un enfoque convencional de la misma, solamente cambiando la variable independiente del agregado grueso por los lodos de papel, y comparándolos con la variable dependiente que es la resistencia. Todo con la finalidad de lograr un mejor aprovechamiento y optimización de los desechos de la industria papelera.

Frasson (2000) menciona la gran importancia de los bloques de concreto, así como la falta de estudios en el área de dosificación y resistencia en los bloques de concreto, para esto desarrolló un programa experimental que probó una dosificación de hormigón seco en un laboratorio a partir de propiedades básicas de los materiales, la cual resultó ser exitosa en cuanto a las resistencias mecánicas de los bloques mientras que, a su vez, logró determinar la importancia de controlar las variables en un proceso productivo que influye directamente en la resistencia de las unidades.

1.1.2 Antecedentes nacionales

Incera (2017) plantea la gran importancia de la dosificación de las mezclas secas, así como las metodologías de diseño existentes desde donde se adapta la sistematización de diseño propuesto por Frasson Jr., quien resalta que tal metodología es aplicable a los agregados que se manejan a nivel nacional; mientras que su investigación se sustenta, de forma concreta, en la importancia del curado de los bloques de concreto para lograr las resistencias a la compresión deseadas; concluye que las piezas con una cura mínima logran desarrollar un 12% más de resistencia final a la compresión que los bloques que no tienen cura mientras que los bloques logran desarrollar una resistencia a la compresión final de hasta un 46% si se aplica un curado ideal, más que los que no llevan un proceso de curado.

Por otro lado, Zúñiga y Martínez (2002) describen la aplicación de una metodología de diseño basada en las normativas ACI y ASTM con la creación de un software como herramienta, en donde adaptaron las metodologías a los materiales que se tienen en el país, y lograron obtener valores teóricos y experimentales a partir de los cuales obtuvieron los resultados que consideraron satisfactorios, además de que el software creado les era funcional; sin embargo, existen datos prácticos que son difíciles de manejar como el tipo de proceso y los materiales de los que dispusiera la empresa.

Asimismo, Molina (2010) señala la implementación de la cascarilla de arroz como un método innovador y amigable con el medio ambiente, este se aplica en el proceso de diseño de mezcla convencional, solamente que se hace un cambio de la variable independiente al incluir la cascarilla del arroz, esto con el fin de determinar cuál es el comportamiento de la variable dependiente; en este caso, la resistencia analizada se vio seriamente afectada, es decir, conforme más porcentaje de cascarilla de arroz se agregara, menor era su resistencia. Se resalta que los bloques producidos no cumplieron con los parámetros mínimos para ser considerados como bloques clase A, y entraron en la clase B, siendo estos inclusive más costosos de producir que los bloques clase A convencionales.

1.2 Planteamiento del problema

Según las diferentes normativas tales como ASTM, INTE, CSCR y los diferentes documentos consultados; para la fabricación de mampostería de alta calidad se requiere de una serie de factores sumamente importantes, tales como el tipo de cemento utilizado, la granulometría

de los agregados, la vibrocompactación y los tiempos de curado. Hoy día, la empresa Productos de Concreto cuenta con investigaciones que respaldan de forma teórica y experimental el cómo influyen las cantidades, tipos de cemento utilizado y los tiempos de curado en la producción de bloques de concreto; empero, no cuentan con un respaldo teórico-experimental en cuanto a un diseño de mezclas que les permita utilizar, en mayor cantidad, los agregados que se extraen del Quebrador Ochomogo ubicado en Banderillas del Cobado (Cartago). Los diseños de mezcla se realizan, principalmente, con agregados provenientes de fuentes lejanas que presentan mejores propiedades.

En términos de porcentajes, se puede decir que los diseños de mezcla actuales se componen un 80% de agregados provenientes de fuentes externas, y un 20% de agregados provenientes de la cantera de dicho quebrador; por lo que la empresa está presentando una serie de inconvenientes dentro de los cuales se podría mencionar: atrasos en los procesos de producción, ya que deben esperar a que lleguen los agregados de fuentes externas a la planta, exceso de materiales de la cantera de dicho quebrador que no se puede utilizar en mayor medida hasta el momento, entre otros.

Estos son algunos de los factores que generan que los bloques fabricados en la Bloquera Ochomogo tengan un mayor costo de producción, por lo que con el presente trabajo de investigación se pretendió que, a través de la aplicación de la metodología de diseño propuesta por Frasson Jr. (variando, a su vez, las densidades de las mezclas), se obtuviera un nuevo método para el diseño de combinaciones que permitiera utilizar, en mayor cantidad, los agregados extraídos del Quebrador Ochomogo, optimizando de esta forma los costos de producción; así como también se pretendía comprobar que la metodología utilizada es efectiva y aplicable para los agregados de dicha planta productora. A la vez, se buscaba sustentar teóricamente la importancia e influencia que tiene la vibrocompactación de las mezclas secas en la fabricación de bloques de concreto.

Dada la falta de un respaldo investigativo, podrían plantearse algunas interrogantes tales como:

¿ Los agregados extraídos del Quebrador Ochomogo tienen la granulometría adecuada para poder aumentar su porcentaje en el diseño de mezclas? ¿Es efectiva la aplicación de la metodología de diseño propuesta por Frasson Jr. para estos agregados? ¿La utilización de estos agregados en mayor cantidad lograría reducir los costos de producción en la planta?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Optimizar el diseño de mezclas secas para la producción de unidades de mampostería de concreto con base en el cambio de densidad.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Demostrar que la metodología de diseño de mezclas secas propuesta por Frasson Jr. para los agregados a implementar (arena industrial, polvo de piedra y arena lavada) es factible para ser implementada como nuevo método de diseño.
- Calibrar la máquina productora de bloques de concreto a partir de los resultados obtenidos de la metodología de diseño a implementar y de las variaciones de densidad realizadas.
- Efectuar una comparación de costos de manera relativa para determinar si se logra una optimización económica con la implementación de la nueva metodología de diseño, en relación con la que se aplica actualmente.
- Evaluar cómo influye la utilización en mayor cantidad de los agregados del Quebrador Ochomogo en la producción de los bloques de concreto, y su consecuente resistencia a la compresión final.

1.4 Justificación

Parte importante del ejercicio profesional de la Ingeniería Civil es el poder dar soluciones a problemas de manera satisfactoria, pero al menor costo; a nivel nacional e internacional, es bien conocido que el área de los concretos es bastante innovadora, por lo que aplicación de nuevas técnicas de experimentación -tanto en laboratorio como en la práctica- permiten implementar soluciones ingenieriles que hacen que los procesos, tipos y métodos de producción sean más eficaces, prácticos y económicos.

En Costa Rica, muchas compañías se dedican a la producción de bloques de concreto; sin embargo, la mayoría de ellas carecen de investigaciones y fundamentos teóricos experimentales. Por tal motivo, el presente trabajo pretendió dotar a la empresa con una investigación exhaustiva a través de la cual se lograra demostrar o comprobar, teórica y experimentalmente, la importancia y la gran influencia que tienen la granulometría de los agregados, el diseño de mezcla utilizado y la vibrocompactación en la resistencia final de los bloques de concreto fabricados con mezclas secas. De esta forma, la implementación de la novedosa metodología de diseño propuesta por

Frasson Jr. y variación de las densidades de las mezclas buscan generar un nuevo método de diseño de mezclas, y una optimización del proceso de producción actual que aplica la empresa Productos de Concreto en la Bloquera Ochomogo.

Como parte de la calidad final que brinda este negocio en sus productos, es que se buscaba que, con los resultados obtenidos, se demostrara que el nuevo método de diseño mezclas cumple de manera satisfactoria con los parámetros necesarios que dictan las normativas; a su vez, esto contribuye con que se puedan generar mejoras a futuro, tales como el contar con un proceso de producción más rápido y eficaz, lo que se traduciría en una reducción de costos; así como también se busca el lograr un mayor consumo de los materiales que se extraen de la cantera de dicha planta a fin de favorecer, por un lado, que las cantidades excedentes que se tienen actualmente de agregado disminuyan; por otro, se les deje de considerar como desecho y, en cambio, sean consideradas como materia prima para la producción de bloques.

Finalmente, el contar con este tipo de investigaciones marca un antes y un después en la producción de bloques de la empresa Productos de Concreto, debido a que el nuevo método de diseño de mezclas, en manos de profesionales especialistas de la empresa, sería un método útil y flexible para adaptarlo a los requerimientos de las diferentes plantas productoras de PC, lo que le convierte en un aspecto muy importante desde un punto de vista productivo, por propiciar que sus procesos sean cada vez más eficaces y con menor costo.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

- Efectuar una nueva metodología de diseño de mezclas secas a partir de una propuesta de diseño internacional que sea efectiva y aplicable para los agregados extraídos en el Quebrador Ochomogo.
- Desarrollar el nuevo método de diseño de mezclas secas cumpliendo con lo que establecen las normativas INTE, ASTM y Código Sísmico de Costa Rica.
- Determinar cómo se ve afectada la resistencia de los bloques a la compresión de concreto al aumentar en mayor cantidad los agregados provenientes del Quebrador Ochomogo.
- Demostrar, a través de una comparación de costos, si es posible una optimización de los insumos de producción una vez implementado este nuevo método de diseño de mezclas en relación con el método de diseño aplicado actualmente.

- Sistematizar una propuesta con sustento teórico-experimental basado en una novedosa metodología de diseño que podría ser ampliamente utilizada para diferentes agregados que se encuentran en el país.
- Realizar fallas a escala real de unidades de mampostería a través de lo cual se obtendrá el valor final de la resistencia de los bloques a la compresión, valorando con cual se podrá aplicar un factor de conversión que permite determinar la resistencia final que tendrán los especímenes cilíndricos al reproducirlos a escala real.
- Siguiendo la metodología de Frasson Jr., se efectuarán fallas de especímenes cilíndricos a diferentes edades con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión final de estos.

1.5.2 Limitaciones

- La presente investigación se efectuó únicamente para la Bloquera Ochomogo de la empresa Productos de Concreto, y para bloques cuyas dimensiones son de 12 cm x 20 cm x 40 cm.
- Para el diseño de mezcla a implementar se usó cemento tipo MP/A-28 de uso Industrial (HSO IP), fabricado en Costa Rica.
- Los agregados con los que se trabajó fueron únicamente aquellos que se encontraban disponibles en la Bloquera Ochomogo.
- Toda la investigación y los procedimientos se llevaron a cabo en el laboratorio central de la empresa Productos de Concreto.
- Producción a escala real de mampostería de concreto con las mezclas óptimas encontradas en la presente investigación.

1.6 Impacto

Este estudio ofrece un sustento teórico y experimental para un nuevo método de diseño de mezclas secas que tiene su aplicación a nivel internacional; al haber muy poca investigación de este tipo a nivel nacional, se genera un impacto económico positivo por la implementación de este nuevo método, debido a que se podrían reducir los costos de producción en las plantas productoras como consecuencia de que se podrán consumir, en mayor cantidad, los agregados excedentes que se tienen en la planta productora; a la vez, el implementar la nueva metodología de diseño permitiría reducir costos ligados al realizar pruebas para diferentes diseños de mezcla, ya que no

es necesario efectuar pruebas a gran escala, que son sumamente costosas, para poder obtener el diseño de mezcla óptimo.

Por otra parte, la presente investigación marca un punto de partida importante a nivel social para abordar aún más en la investigación de las mezclas secas, ya que muchas de las empresas productoras del país fabrican bloques basados en la experiencia adquirida con el tiempo; de cierta forma, se basan en un método de diseño preestablecido carente de un fundamento teórico-experimental que les permita adaptar los diseños de mezcla a las características o propiedades de los agregados de los que disponen; de forma que no pueden optimizar aún más los procesos de producción al no determinar si un aumento en la cantidad de cierto agregado, o la implementación de uno nuevo, contribuye de manera positiva o negativa a la resistencia y el costo final.

1.7 Hipótesis

Demostrar teórica y experimentalmente que el nuevo método de diseño de mezclas secas, a través de la implementación de la metodología de diseño propuesta por Frasson Jr., variando la densidad de las mezclas, y utilizando los agregados del Quebrador Ochomogo en un mayor porcentaje, funciona como método alternativo para generar una optimización de los costos de producción de dicha planta.

Capítulo II: Marco Teórico

El presente capítulo se desarrolla con la finalidad de proporcionar a la persona lectora una idea más clara acerca del desarrollo de la investigación, de manera que se definirán los términos o aspectos técnicos que tienen relación directa con la investigación en curso, para esto se describirá desde los conceptos más sencillos hasta los más complejos con el objetivo de que, aunque se desconozca de estos temas, se desarrolle rápidamente un conocimiento progresivo y ordenado de los conceptos básicos desde los que se sustentan los resultados obtenidos en capítulos posteriores.

2.1 Concreto seco o de asentamiento nulo

Los concretos secos se denominan así porque su mezcla tiene características de concreto ligeramente humedecido, lo que provoca que tengan un asentamiento nulo, requiriendo que la remoción del aire atrapado sea realizada por un equipo especial. Como ejemplo están las máquinas de proyección a rotor para concreto proyectado, el rodillo compactador, y las máquinas vibroprensadoras para la producción de bloques de concreto. En estos concretos, la calidad y regulación de los equipos, así como el proceso de producción, tienen una gran influencia en las propiedades finales. Para los concretos secos utilizados en la producción de bloques, la humedad utilizada en las mezclas es fundamental, normalmente se utilizan valores de entre 6,0% y 8,0%.

Para varios autores como Tango (1994), Rodríguez (1995) y Ferreira (1996), la cantidad de agua en una mezcla para la producción de bloques de hormigón debe ser la mayor posible, siempre que los artefactos no presenten dificultades de deformación por adherencia al molde, o problemas de pérdida de forma por exceso de agua (Frasson Jr. et al., s. f.).

Tabla 1

Caracterización de mezclas según el asentamiento obtenido del cono de Abrams

Consistencia	Asiento en el cono de Abrams (mm)	Tolerancia (mm)
Seca (S)	0 - 20	0
Plástica (P)	30 - 50	±10
Blanda (B)	60 - 90	±10
Fluida (F)	100 - 150	±20
Líquida (L)*	>150	0

* ésta consistencia sólo debe conseguirse mediante la utilización de superplastificantes

Nota. De *Manual de Consejos prácticos sobre el concreto*, por El Instituto costarricense del cemento y del concreto [ICCYC], s. f. <https://bit.ly/38ymwtt>

Muchas de las reglas básicas que rigen las propiedades del concreto con asentamiento normal también se pueden emplear en los concretos con asentamiento nulo. Como ejemplo se pueden mencionar las propiedades del concreto endurecido que dependen especialmente de la relación agua-cemento, y de que se consolide el concreto adecuadamente (Barahona et al., 2013). Además, según Kosmatka et al. (2004):

La medición de la consistencia del concreto de asentamiento cero difiere de aquella del concreto de asentamiento más elevado, porque no se puede utilizar el cono de revenimiento (cono o Ley de Abrams) de manera práctica con consistencias más secas. (p. 378)

2.2 Relación agua-cemento (a/c)

De acuerdo con Kosmatka et al. (2004):

La relación agua-material cementante es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas naturales). La relación agua-material cementante elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas. (p. 186)

Según lo menciona García (2004), la relación que existe entre la resistencia y la relación agua-cemento es atribuida a Duff Abrams, quien demostró en el año 1919, a través de la siguiente ecuación (Ecuación 1), que la resistencia final de una mezcla es directamente proporcional a la relación agua-cemento, así como también mencionó que esto depende de algunas otras variables como los tiempos de curado, edad de la mezcla, del aire, tipo de cemento utilizado y otras constantes empíricas.

Ecuación 1

$$R_c = \frac{K_1}{K_2^{a/c}}$$

Donde:

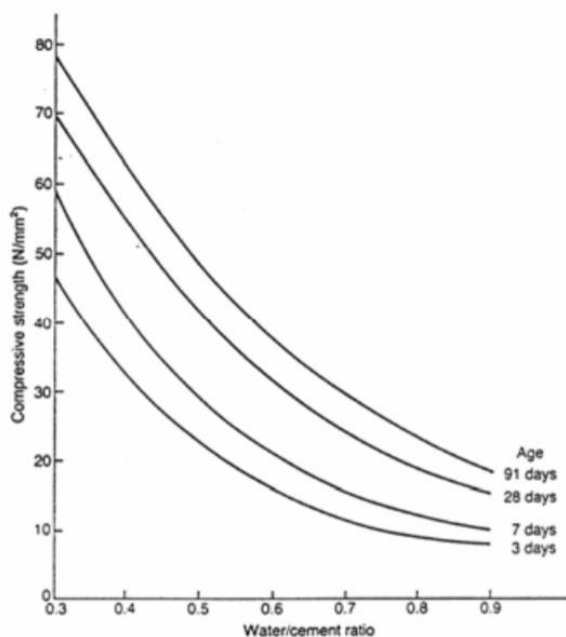
Rc: Resistencia final.

K1 y K2: Constantes empíricas.

a/c: Relación agua-cemento.

Figura 1

Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia final



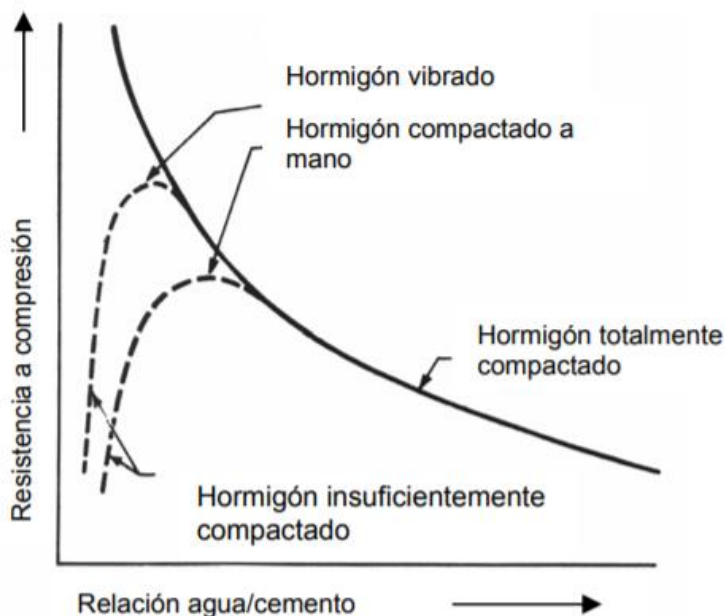
Nota. De *Diseño de hormigones*, por García, 2004).
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3327>

De la figura anterior sobre la relación agua-cemento de las mezclas de concreto, se concluye que la importancia radica en la magnitud de esta, la cual determina o influye en una gran cantidad de propiedades del material final que se tendrá; por lo general, se tiende a aumentar en mayor proporción la cantidad de agua logrando una mejoría en propiedades como la trabajabilidad y plasticidad de la mezcla; esto, a su vez, genera que se reduzcan propiedades sumamente importantes como la resistencia final de la mezcla, debido a que provoca una mayor cantidad de vacíos que están llenos por agua.

Por otra parte, un factor que resulta ser muy importante en la resistencia final de las mezclas, y que tiene influencia en la relación agua-cemento, es la compactación de las mezclas; además, corresponde a uno de los factores más influyentes en la ganancia de resistencia de las mezclas secas debido a que, como se mencionó antes, estas no siguen la ley de Abrams, por lo que la compactación juega un papel fundamental que se estudiará con mayor profundidad en la siguiente sección.

Figura 2

Influencia de la compactación y la relación a/c en la resistencia final



Nota. De *Diseño de hormigones*, por García, 2004).
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3327>

2.3 Concreto vibrocompactado

Hoy en día, la tecnología del concreto seco vibrocompactado es especialmente utilizada en la elaboración de una gran cantidad de productos prefabricados tales como tuberías, bloques, adoquines, entre otros. “Aunque estos productos pueden diferir en las dosificaciones de sus materiales constituyentes y métodos de fabricación, todos ellos comparten importantes características, como el desmoldeo inmediato y asentamiento nulo” (Hincapié y Montoya, 2005, p. 96).

Con respecto a la vibrocompactación y el uso de esta metodología en las mezclas de concreto seco, es importante recalcar que:

El concreto seco vibrocompactado es una mezcla de cemento Pórtland, agregados, agua, y en algunos casos, aditivos y adiciones. La conformación de concreto seco vibrocompactado se consigue sometiendo la mezcla a vibración mecánica y presión, obligando a las partículas del material a acomodarse dentro de la formaleta; por esta razón la mezcla debe ser lo suficientemente rígida como para permitir su consolidación y desmoldeo rápido, pero también debe ser tan húmeda que permita una adecuada distribución de la pasta a través de

la masa de los elementos durante las operaciones de mezclado y vibrado. La manejabilidad requerida en estas mezclas normalmente se alcanza controlando la cantidad de agua o la proporción de pasta de cemento en la mezcla. (Hincapié y Montoya, 2005, p. 96)

Parte importante de la efectividad del proceso de vibrocompactación es tener en cuenta todas las propiedades o características que puedan contraerla, es decir, aspectos importantes en procesos como la dosificación, conformación, porosidades, métodos de curado y resistencia a la compresión. Por lo que controlar todo este tipo de factores se convierte en uno de los objetivos primordiales de las empresas que se dedican a la producción de elementos prefabricados, para tener un mayor control y manejo de sus dosificaciones, permitiéndoles conocer cuáles son las variables que puedan intervenir en las resistencias mecánicas finales de los elementos fabricados.

2.3.1 Principio de las mezclas vibrocompactadas

Para conseguir resultados adecuados y de buena calidad en los elementos fabricados con base de mezclas secas, resulta indispensable considerar aspectos fundamentales que determinan el principio básico sobre el cual se rigen las mezclas vibrocompactadas, para esto se tiene que:

En las mezclas vibrocomprimidas es crítica la eficiencia del equipo empleado, tanto en la forma que se vibra y comprime el elemento, como en el tiempo que se emplea. Este es el método de asentamiento práctico más eficaz conseguido hasta ahora, dando un concreto de características bien definidas; como son: la resistencia mecánica, la compacidad y un buen acabado. Con una vibrocompactación ineficiente se tendrá una consolidación inadecuada, sin importar la cantidad de material cementante que se use por pieza. Generalmente un ciclo de vibrocompactación (incluye el llenado del molde y el desmolde) oscila entre 0.5-1 minuto. (Del Real Davalos, 2013, p. 27)

2.3.2 Cantidad de agua en las mezclas de concreto vibrocompactado

La cantidad de agua requerida por unidad de volumen de concreto para producir una mezcla con una consistencia adecuada y buena trabajabilidad está determinada por aspectos tales como el tamaño máximo, forma de la partícula, la dosificación del agregado y el contenido de aire atrapado. En mezclas más ricas, las cantidades de agua en la mezcla se pueden incrementar significativamente si se aumenta, a la vez, el contenido de material cementante (Zúñiga y Martínez, 2002).

Respecto a la importancia de la cantidad de agua en las mezclas de concreto vibrocompactadas, es de suma importancia tomar en cuenta que:

La graduación del agregado es un importante parámetro en la selección de la proporción de un concreto industrial para fabricación de elementos prefabricados. En procesos extrusivos o vibrocompactados, la forma de los elementos queda completamente definida conforme avanza la máquina industrial, en resumen, para este caso, el concreto no necesita de soportes externos una vez colocado y compactado.

Es notoria la necesidad en este concreto de una alta cohesión, lo cual se obtiene por medio de una cuidadosa selección de la graduación del agregado fino. Ciertas puzolanas, tales como ceniza fina, llegan a ser altamente utilizadas para el incremento de la cohesión en la mezcla. En algunos casos, la cohesión puede ser mejorada con el incremento en la cantidad del material cementante. (Zúñiga y Martínez, 2002, pp. 9-10)

Tabla 2

Cantidad de agua de mezclado para diferentes consistencias y tamaños de agregado

Consistencia			Contenido Agua (%)	Agua en Kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos del agregado indicado				
Descripción	Vebe (seg)	Asentamiento (mm)		10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	40 mm
Concreto sin aire incluido								
Extremo seco	32-18	---	78	178	169	157	148	139
Muy denso	18-10	---	83	187	187	169	157	148
Denso	10-5	0-25.4	88	199	193	178	169	157
Denso plástico	5-3	25.4-76.2	92	208	199	187	178	163
Plástico	3-0	76.2-127	100	228	217	199	193	178
Muy plástico	---	127-190.5	106	243	228	214	208	187
Porcentaje de aire atrapado				3	2.5	2	1.5	1
Concreto con aire incluido								
Extremo seco	32-18	---	78	157	148	139	133	125
Muy denso	18-10	---	83	169	157	148	139	133
Denso	10-5	0-25.4	88	178	169	157	148	139
Denso plástico	5-3	25.4-76.2	92	187	175	166	157	148
Plástico	3-0	76.2-127	100	202	193	178	178	157
Muy plástico	---	127-190.5	106	217	208	193	187	169
Porcentaje recomendado de aire atrapado				8	7	6	5	4.5

Nota. De Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas, por Zúñiga y Martínez, 2002. <https://bit.ly/3n2LxW2>

2.3.3 Ventajas de la vibrocompactación

2.3.3.1 Compacidad. Al someter una mezcla de concreto a un proceso de vibración, se genera una mejora sustancial en su compacidad, la cual es la capacidad de acomodamiento que tienen

las partículas de los ingredientes sólidos que componen la mezcla de concreto, y “está definida como la cantidad de materiales sólidos (en volumen absoluto), por unidad de volumen de concreto” (López y Pinedo, 2015, p. 15).

2.3.3.2 Desmoldado rápido. De acuerdo con López y Pinedo (2015):

En la elaboración de elementos prefabricados de concreto vibrado, se puede conseguir un desmolde inmediato si el concreto es de granulometría adecuada y se ha amasado con el agua necesaria. Si al efectuar esta operación la pieza se rompe, se puede afirmar que la causa se encuentra en una deficiencia de agua o un exceso de material fino.

La rotura puede sobrevenir también al no estar suficientemente consolidado el concreto, es decir, la vibración ha sido de poca duración. (p. 17)

2.3.3.3 Resistencia mecánica. Según López y Pinedo (2015): “La resistencia mecánica del concreto es quizás el factor más importante dentro de las propiedades de este. La resistencia del concreto aumenta considerablemente si se aplica una vibración intensa” (p. 16). Esto debido a que se reducen los vacíos entre partículas provocando una mejor adherencia entre los componentes de la mezcla.

2.3.3.4 Mejora del acabado de los elementos. La compactación o el vibrado del concreto permite mejorar las características estéticas de los elementos debido a que, al reducir los vacíos y compactar las partículas que conforman la mezcla, se evita la formación de porosidades excesivas, lo cual es sumamente importante en el acabado de elementos prefabricados, especialmente los bloques de concreto (Alario, 2014).

2.3.4 Tipos de máquinas bloqueras

Existen una gran variedad de máquinas utilizadas para la producción de bloques de concreto, lo más común es clasificarlas según su mecanismo de producción, de la misma manera son adquiridas o buscadas por los fabricantes de bloques en función de sus necesidades, es decir, en relación con su demanda de producción; por lo tanto, se tiene que las máquinas se pueden clasificar como:

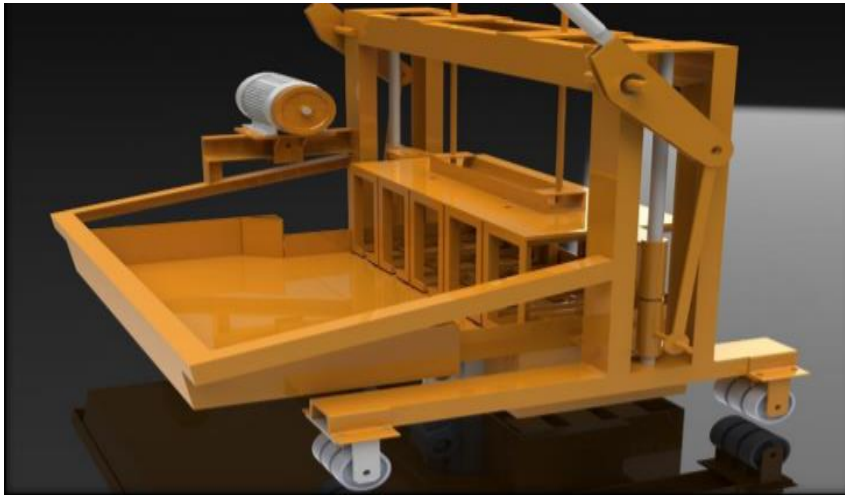
2.3.4.1 Máquinas manuales. Son máquinas ideales para empresas que se dedican a la producción a pequeña escala, ya que estas solo tienen la capacidad de producir pequeñas

cantidades de material. Su producción diaria anda por alrededor de 300 bloques, tiene un funcionamiento a base de motor eléctrico de 3 HP que podría alimentarse a través de una conexión monofásica o trifásica, y un método de compactación hidráulico que es accionado manualmente por el operario de la máquina.

La forma más adecuada de utilizarla y hacer más eficiente la producción de bloques en una fábrica que la implemente es adaptarle a esta una mezcladora que alimente directamente la máquina productora, logrando con esto alcanzar hasta 400 ciclos de fabricación por turno de trabajo.

Figura 3

Máquina manual con tolva para la fabricación de bloques



Nota. De *Elaboración de una máquina que optimice la producción de unidades de mampostería estructural*, por Chaux y Perea, 2016. <https://bit.ly/3mWLiMm>

2.3.4.2 Máquinas semiautomáticas. De acuerdo con Granada Mejía y Perlaza Benavides (s. f.):

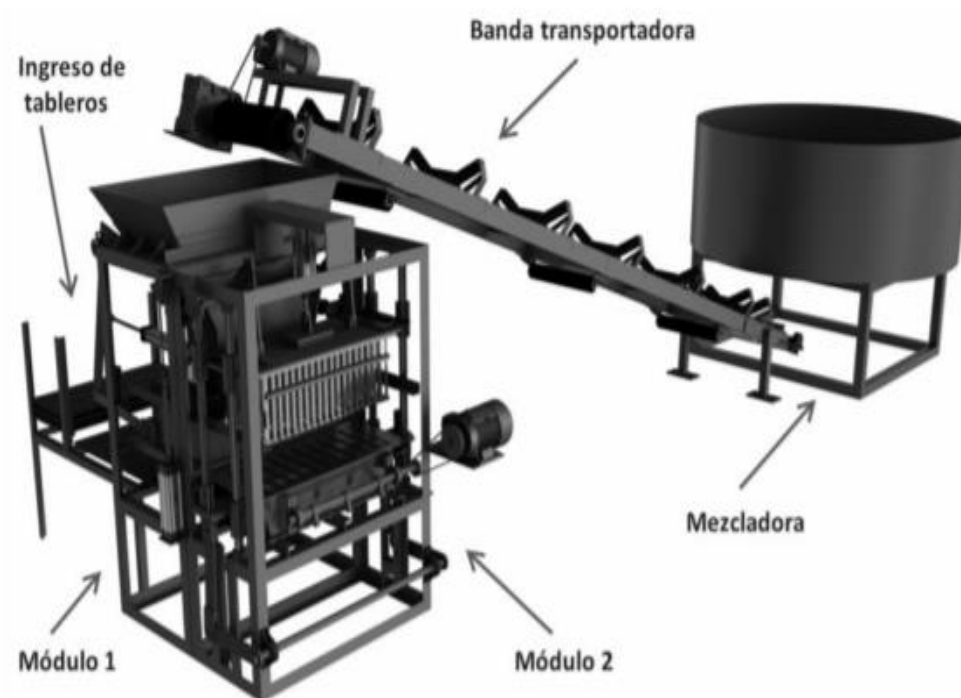
Estas máquinas funcionan con un sistema hidráulico o neumático para el desmolde, de este modo se reduce notablemente el esfuerzo físico de los operadores. Tiene una tolva integrada que puede tener hasta 30 piezas en cola, el peso del cilindro compresor da mayor calidad de compresión.

Para la operación correcta de esta, es necesario considerar el resto del equipo: una mezcladora, una tolva de agregados para alimentar de arenas a la mezcladora, una banda transportadora que alimenta de material mezclado a la máquina bloquera, dos carros saca

tablas. Con este equipo se puede lograr hasta 600 ciclos de producción por turno de trabajo, estos tienden a incrementarse con la producción de piezas macizas como adoquín o bloque sin huecos. Con este tipo de máquinas se puede tener una producción de hasta 1000 bloques diarios, es recomendada para cubrir una demanda mediana de bloques. (pp. 20-21)

Figura 4

Máquina semiautomática para la fabricación de bloques



Nota. De Mise, 2014.

2.3.4.3 Máquinas automáticas. Chaux y Perea (2016) afirman que:

Las empresas fabricantes de máquinas productoras de bloques decidieron modernizar sus máquinas de producción para mejorar la calidad y aumentar la productividad y la versatilidad. Estas máquinas por lo general tienen implementado varios motores, sensores y actuadores que garantizan el buen funcionamiento de los procesos de producción de bloques ya que cuentan con un vibrador de alto rendimiento para fabricar artículos de hormigón como bloques y adoquines de hormigón.

En los últimos años, los bloques de hormigón se han ido perfeccionando constantemente en lo que respecta a nuevos criterios de productividad y desarrollo

sostenible. Así, por ejemplo, existen empresas que lanzaron al mercado en el año 2006 la primera máquina pulidora para bloques de hormigón ligero y hormigón pesado. Esta máquina está pensada para cubrir altas demandas de producto, pudiendo llegarse a fabricar hasta 10000 bloques por día. (pp. 29-32)

Es importante resaltar que, actualmente, la empresa Productos de Concreto cuenta con un sistema de producción de bloques con máquinas automáticas como las que se describen en el párrafo anterior, esto debido a la alta demanda de producción con la que deben cumplir y para la cual se buscó obtener un diseño de mezcla óptimo a través de esta investigación.

Figura 5
Máquina automática para la fabricación de bloques



Nota. De *Servopac*[®], por Larce, s. f. <https://dilarce.com/maquinaria-para-productos-concreto/>

2.4 Proceso de producción de bloques usando máquinas automáticas (Equipo Masa)

En la presente sección se detalla el proceso, paso a paso, a través del cual se logró fabricar un lote completo de bloques de concreto utilizando una máquina de producción automática como la que ofrece la empresa Masa; con la finalidad de brindar una mejor descripción del proceso de fabricación más utilizado en los últimos años por las grandes empresas productoras de bloques de concreto.

El proceso inicia en los silos de agregados, desde donde se transportan las diferentes materias primas hasta la planta dosificadora y mezcladora (01), las cuales se procesan para convertirse en la mezcla principal de concreto.

El concreto se desplaza según el tipo o diseño de planta, a través de bandejas transportadoras (02) hasta la máquina fabricadora de bloques (03), donde el concreto es vertido en los moldes correspondientes, a los cuales se les aplica el proceso de vibrocompactación. Seguidamente, los bloques de concreto llegan aún frescos por medio de bandejas transportadoras para piezas húmedas (04) hasta el elevador (05).

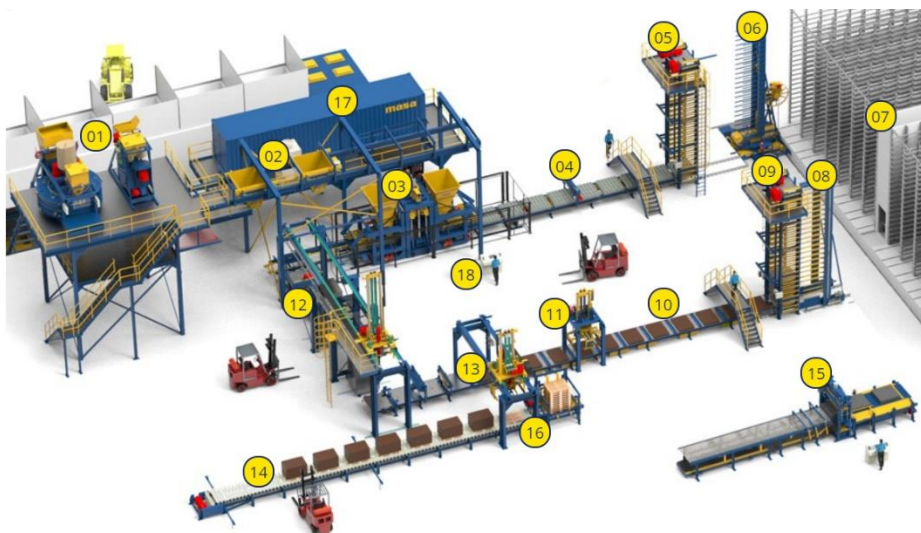
Las bandejas se trasladan a un carro con rodillos (06) que las almacena en estanterías para el secado (07). Tras el curado de las piezas, las bandejas son desplazadas en el carro con rodillos a la carretilla de horquilla intermedia (08) hacia el descensor (09). El cual permite bajar las piezas de manera intermitente a las bandas de retorno (10). Un dispositivo de centrado (11) suelta y centra las piezas endurecidas sobre las bandejas de producción (Grupo Masa, 2021). Finalmente, “en el sistema de empaquetado (13), las piezas se juntan en paquetes de bloques y se preparan para la recepción.

Por medio del transporte de empaquetados (14), los paquetes de bloques llegan hasta la posición final de recepción” (Grupo Masa, 2021, s. p.). Por otra parte, las bandejas usadas vuelven por medio del transporte transversal al almacenamiento de bandejas de producción (12) en la máquina de productora. “Para fabricar productos con carácter de la superficie extraordinarias, Masa ofrece gran número de equipos de refinamiento (15) tanto en el lado mojado como en el lado seco” (Grupo Masa, 2021, s. p.). El sistema de alimentación eléctrica es sugerido por la empresa Masa a través de paneles de energía en un *Power tainer* (17).

Por último, la empresa sugiere que se tenga un control de la planta (18) y los dispositivos de seguridad, garantizando así que los procesos se desarrollen de forma óptima y segura, lo que contribuye a un gran rendimiento de la planta de fabricación de bloques de concreto (Grupo Masa, 2021).

Figura 6

Proceso de producción de bloques con la máquina automática Masa



Nota. De *Fabricación de prefabricados de hormigón*, por Grupo Masa, 2021. <https://www.masa-group.com/es/productos/betonsteinfertigung/>

2.5 Importancia de los Agregados y su granulometría

El Instituto Colombiano de Productores de Cemento (s. f.) señala que se deben utilizar agregados con granulometrías continuas para la fabricación de bloques de concreto, buscando obtener mayores densidades en las mezclas y lograr elementos con superficies más cerradas, es decir elementos con texturas más finas.

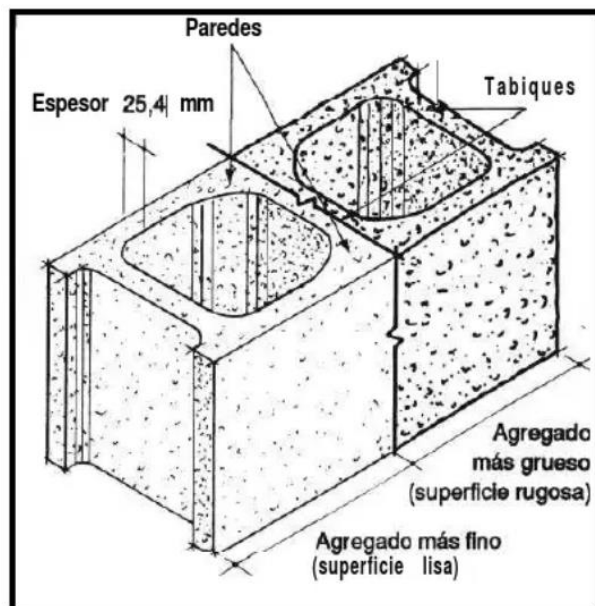
Si se utilizaran agregados con altos porcentajes de finos, se obtendrían superficies con un acabado más cerrado, es decir, con menos porosidad en el elemento. Mientras que un porcentaje mayor de agregado grueso dará una superficie más rugosa, pero se ganará mayor resistencia.

Es importante mencionar que, con cualquier cambio que se aplique a los agregados, se modificarán sustancialmente las características de los bloques dentro de las cuales se pueden ver afectados elementos como la resistencia, la absorción, el peso, color y textura.

Por otra parte, si se utiliza una combinación de agregados con el tamaño máximo compatible de estos, se podrá obtener una reducción en las proporciones de agua y material cementante, necesarias para lograr una resistencia dada con mejor calidad y una mayor economía.

Figura 7

Influencia de los agregados en la textura del bloque



Nota. *De Fabricación de bloques de concreto*, por ICPC, s. f.
[https://www.academia.edu/35739775/Fabricacion de bloques de concreto](https://www.academia.edu/35739775/Fabricacion_de_bloques_de_concreto)

2.6 Curado del concreto

Uno de los procesos más importantes y fundamentales cuando se trabaja con elementos de concreto es el de curado de estos, la mayoría de los concretos logra alcanzar las resistencias deseadas gracias a los procesos idóneos de curado que evitan que las mezclas pierdan agua por evaporación, consiguiendo que se desarrolle adecuadamente la ganancia de resistencia en los elementos; por otra parte, es importante resaltar que, en los componentes prefabricados con mezclas secas de concreto, el curado representa uno de los parámetros más influyentes, junto con la vibrocompactación, en la resistencia final a la compresión.

El curado del concreto, así como los diversos procedimientos que este conlleva, se podría definir, de manera correcta, así:

El término "curado" se usa frecuentemente para describir el proceso por el cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla propiedades de endurecimiento con el tiempo como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente agua y calor. Si bien todo el concreto se cura a diferentes niveles de madurez con el tiempo, la velocidad a la que se produce este desarrollo depende del entorno natural que rodea al

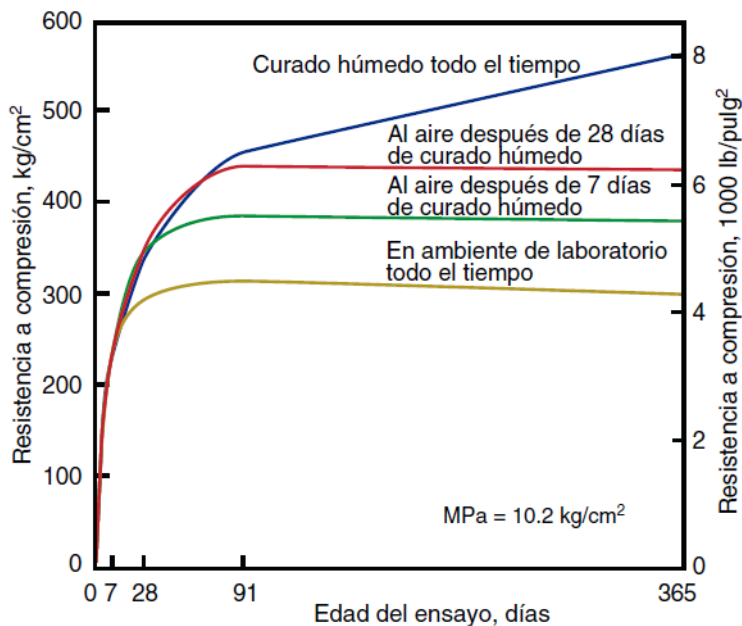
concreto y de las medidas tomadas para modificar este entorno limitando la pérdida de agua, calor o ambos, del hormigón, o proporcionando externamente humedad y calor. El término "curado" también se usa para describir la acción tomada para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa recién colocada para permitir la hidratación del cemento hidráulico y, si corresponde, las reacciones puzolánicas para que se desarrollen las propiedades potenciales de la mezcla.

El período de curado se define como el período de tiempo que comienza en la colocación, a través de la consolidación y el acabado, y se extiende hasta que se hayan desarrollado las propiedades deseadas del hormigón. Los objetivos del curado son evitar la pérdida de humedad del concreto y, cuando sea necesario, suministrar humedad adicional y mantener una temperatura favorable del concreto durante un período de tiempo suficiente. El curado adecuado permite que el material cementoso dentro del concreto se hidrate adecuadamente. La hidratación se refiere a los cambios químicos y físicos que tienen lugar cuando el cemento Portland reacciona con el agua o participa en una reacción puzolánica. (American Concrete Institute, 2008, p. 308R-2)

Tal y como se menciona en la cita anterior, parte importante del curado corresponde a los tiempos de cura, es ahí donde se debe prestar mayor atención con motivo de que, durante este tiempo, el concreto desarrollará su resistencia máxima a la compresión; generalmente, cuando se estudian concretos y se desea hacer pruebas de control de calidad, se someten a examen especímenes cilíndricos a edades de 3, 7 y 28 días, esto con la finalidad de poder tener claro cuál es el progreso de la resistencia vs el tiempo de curado; si se detectan adormecimientos en el concreto, o sea, que la mezcla aun no desarrolla la resistencia deseada para determinada edad, se somete a más pruebas de manera que se pueda tener un control más estricto, a fin de asegurar la resistencia de diseño.

Figura 8

Efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión final



Nota. De *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, por PCA, 2004.

2.7 Bloques de concreto (Mampostería)

A nivel mundial, existen diversas formas de definir el concepto de bloques de concreto, dentro de las variaciones que podrían presentar estos a nivel mundial; por lo que, dentro de algunas de las definiciones que más se ajustan al ámbito nacional, se podría acotar que:

Los bloques o unidades de mampostería de perforación vertical son elementos constructivos prefabricados, de mortero o concreto en forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta, formados a partir de moldeo (manualmente o con maquinaria) en matrices o moldes, utilizando como materia prima agregado grueso, cemento, agregado fino y agua en proporciones tales que generan una mezcla trabajable en el molde. (Ordoñez y Villanueva, 2012, p. 24)

A nivel mundial los bloques de mampostería o bloques de concreto son ampliamente utilizados para diversas funciones; la mayoría de ellos son relativamente parecidos en sus procesos de fabricación y dimensiones; sin embargo, suelen presentarse algunas variaciones según las normativas de cada país y los fabricantes, dado esto, resulta importante resaltar que:

El orden habitual para designar las dimensiones es longitud x altura x anchura. Se puede acotar que las dimensiones de los bloques más habituales se encuentran entre los siguientes rangos de medidas: longitud (40 cm - 50 cm), altura (10 cm - 20 cm) y anchura (10 cm - 30 cm). El número de piezas existentes en el mercado es prácticamente ilimitado, teniendo cada fabricante una gama determinada en la que juega con las dimensiones, formas, porcentaje de huecos, acabados, materiales o prestaciones. La pieza estándar presenta perforaciones en el eje normal al plano de asiento, para reducir el peso de la pieza, aumentar la capacidad de aislamiento térmico y posibilitar, cuando sea necesario, la introducción de armado vertical. Se fabrican también bloques que pueden disponer de relieves o rebajes especiales y variedades en el color de este. (Andece, 2019, p. 9)

2.7.1 Ventajas de utilizar bloques de concreto

Dentro de algunas de las ventajas que se logra al implementar el uso de bloques de concreto es que, en comparación con otras alternativas, el número de unidades de este necesarias por metro cuadrado es menor; por otra parte, los sistemas construidos con bloques tienden a ser simples, y se adapta fácilmente a una gran cantidad de usos (Avelar Durán et al., 2010). Dentro de los cuales se podría mencionar su uso en paredes estructurales y no estructurales, muros de retención, vigas y columnas.

También por sus características generan que las paredes terminadas, posean un espesor uniforme y muy buena apariencia mejorando aspectos como el aislamiento térmico, acústico, la resistencia al fuego y la facilidad para la colocación de diversos ductos (instalaciones eléctricas e hidráulicas) y refuerzos verticales y horizontales resultan ser una gran virtud para estos. (Avelar Durán et al., 2010, p. 10)

2.7.2 Especificaciones INTE para bloques de concreto

La normativa INTE C90:2017 establece una clasificación diferente en cuanto a los tipos de bloques en función de su resistencia a la compresión, la absorción y su densidad. Además de esto, la presente normativa especifica los requisitos mínimos de espesores de capas internas y externas que deben cumplir los bloques de concreto, las mismas se pueden consultar en la Tabla 3 y Tabla 4 de la presente investigación.

Tabla 3

Clasificación de bloques en función de su resistencia a la compresión, absorción y densidad

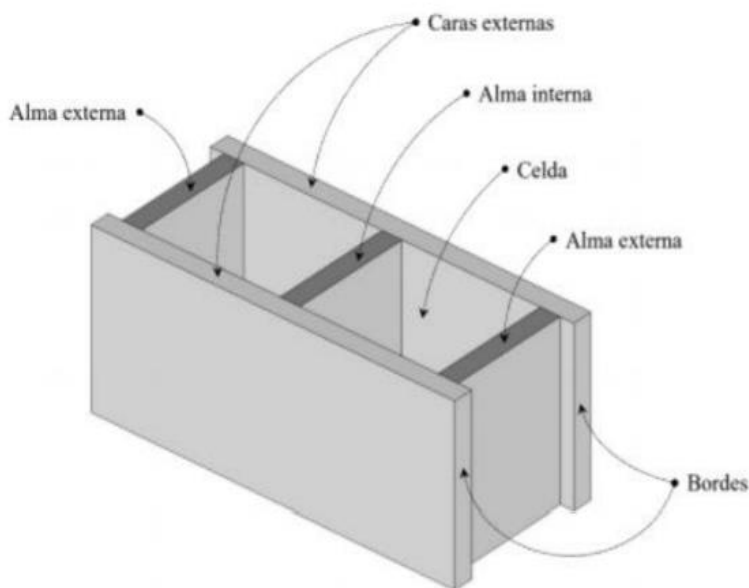
Clasificación por Densidad	Densidad seca al horno del concreto	Absorción de agua máxima		Resistencia mínima a la compresión sobre el área neta	
	kg/m ³	kg/m ³		MPa	
	Promedio de 3 unidades	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales
Peso Liviano	Menor de 1680	288	320	13,0	11,8
Peso Intermedio	De 1680 a menos de 2000	240	272	13,0	11,8
Peso Normal	Mayor o igual que 2000	208	240	13,0	11,8

Nota. Por INTECO, INTE C90, 2017.

La normativa define las partes fundamentales que componen un bloque de concreto como:

- Almas externas e internas.
- Caras externas.
- Bordes.
- Celdas.

Cada parte tiene una ubicación específica dentro de la estructura del bloque para una mejor compresión de cada una; a partir de su descripción, se presenta la siguiente figura.

Figura 9*Partes fundamentales de un bloque de concreto*

Nota. Por INTECO, INTE C90, 2017.

Tabla 4*Dimensiones mínimas de espesores en caras internas y externas*

Ancho nominal de las unidades (W)	Espesor mínimo de caras externas ^{B,C}	Almas	
		Espesor mínimo ^C (t_w)	Área normalizada mínima de las almas (A_{nw}) ^D
mm	mm	mm	mm ² /m ²
$W \leq 120$	19	19	45 140
$120 < W < 200$	25	19	45 140
$W \geq 200$	32	19	45 140

Nota. Por INTECO, INTE C90, 2017.

2.8 Métodos dosificación de mezclas secas para bloques de concreto

2.8.1 Método de dosificación de Besser Company (Adaptado por Medeiros)

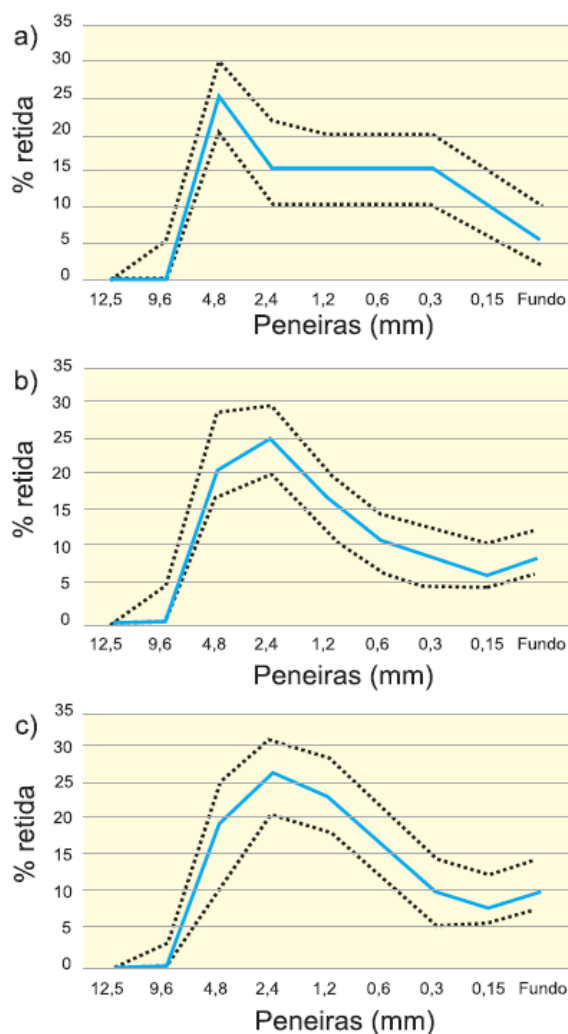
Este método fue desarrollado por Pfeiffenberger en 1985 y adoptado por el fabricante de máquinas de vibropresado, Besser Company. Sin embargo, Medeiros desarrolló en sus plantas, y

con equipos de autoridades nacionales, un procedimiento con un enfoque sistemático que se adapta mejor a situaciones específicas de los fabricantes brasileños.

El método describe que los agregados deben ser proporcionados de tal manera que la mezcla resultante esté dentro de los límites prácticos sugeridos por Pfeiffenberger, según el tipo de bloque a producir. Con las proporciones entre los agregados definidas, la muestra piloto debe ser determinada para usarse en el equipo de vibrocompresión a gran escala.

Figura 10

Curvas granulométricas en función de los bloques a producir



Nota. La curva granulométrica: a) corresponde a bloques de densidad normal, la curva b) corresponde a bloques de densidad leve y la curva c) corresponde a bloques de textura liza y densidad media. De: *Metodología de Dosagem*, por Frasson Jr. et al., s. f.). <https://bit.ly/3DH0P98>

El diseño final deseado dependerá del nivel resistencia esperada, sugerida por el método a través del uso de valores cercanos como los que se describen en la Tabla 5 de la presente investigación.

Medeiros (1993) señala que los valores presentados en la tabla sirven como una primera indicación de la línea que se utilizará como piloto, y esta definición puede sufrir influencias de numerosos factores, tales como: el tipo de máquina vibroprensadora, las características de los materiales utilizados (cemento, arena y piedra) y el uso de curado al vapor, entre otros.

Respecto a la cantidad de agua utilizada en mezclas para la producción de bloques de hormigón, el método prescribe el uso de valores alrededor del 6,0% al 7,5%, y debe definirse en la propia máquina vibroprensadora, cuando se están realizando las pruebas con la muestra piloto. La cantidad de agua ideal dependerá de los materiales utilizados, los equipos y el uso o no de aditivos. (Frasson Jr. et al., s. f., p. 33)

Tabla 5

Trazos sugeridos en función de la resistencia a la compresión media a los 28 días

Resistencia a la compresión media	4,5 MPa	6,0 MPa	8,0 MPa	9,0 MPa
Trazo seco (cemento:agregado)	1:9 a 1:12	1:8 a 1:10	1:7 a 1:9	1:6 a 1:8

Nota. Los datos tabulados corresponden a bloques de dimensiones de 14.5 cm x 19 cm x 29.5 cm.

De: *Metodología de Dosagem*, por Frasson Jr. et al., s. f. <https://bit.ly/3DH0P98>.

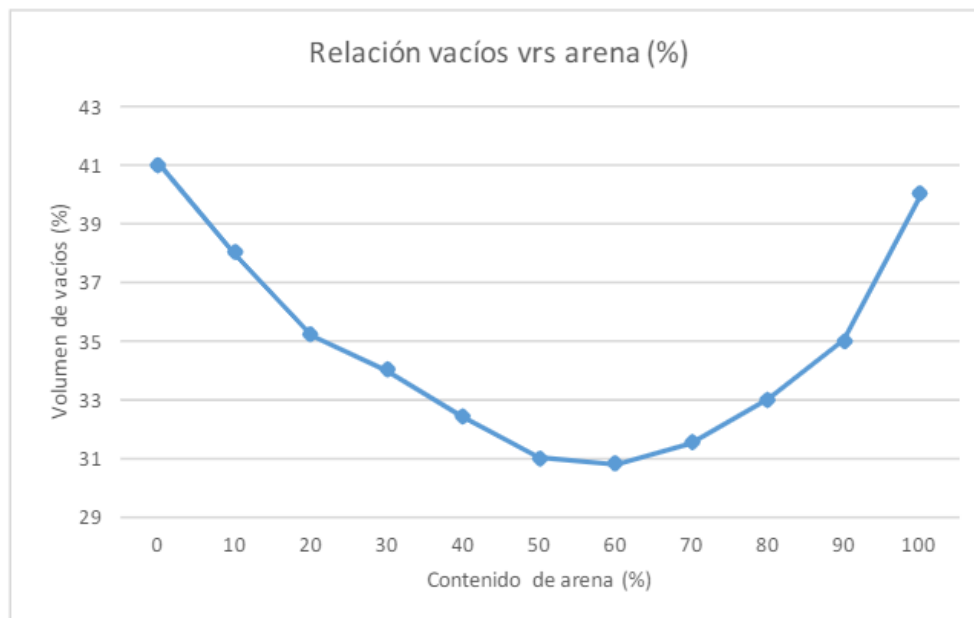
2.8.2 Método de dosificación de la ABCP

El método tiene el objetivo de poder determinar cuál es la proporción entre agregados gruesos y agregados finos que da como resultado la combinación con el menor volumen de vacíos. Para ello, el método sugiere que las combinaciones entre agregados gruesos y finos se hagan en cantidades variables en su estado seco con el objetivo de poder determinar si las masas unitarias compactadas influyen para cada combinación.

A partir de los resultados obtenidos en las primeras pruebas, el método propone que se grafique una curva a partir de la cual se podrá determinar el punto óptimo de las combinaciones realizadas, para encontrar la mezcla que menor volumen de vacíos tenga.

Figura 11

Curva para determinar la combinación de agregados óptima



Nota. De *Propuesta de metodología de dosagem*, por Frasson Jr., 2000. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78274>

Piorotti (1989) menciona que la prueba debe realizarse en primera instancia con los dos agregados gruesos si se utilizan más de dos; una vez encontrada la proporción ideal, se debe realizar una segunda prueba con la combinación ideal de los dos primeros agregados, con una proporción del tercer agregado más fino.

Una vez que se logra determinar la combinación óptima de agregados, el método detalla que el ensayo se debe llevar a escala real en la máquina de vibrocompactación con la que se fabrican los bloques, para determinar cuál debe ser la relación cemento-agregado.

Finalmente, el método menciona que la relación agua-cemento a utilizar debe de ser la máxima posible, hasta que los bloques empiecen a perder cohesión o cuando estos empiecen adherirse a los moldes, lo que dificulta su desmolde. Ferreira (1995) menciona que el tiempo óptimo de vibrocompactación debe de ser el menor necesario para que los bloques puedan tener la mayor compactación posible (Frasson Jr. et al., s. f.).

2.8.3 Método de dosificación propuesto por Columbia

La metodología de dosificación actual propuesta por el fabricante de vibroprensas Columbia para PCD se basa, prácticamente, en el ajuste de agregados gruesos y finos, de manera que la mezcla resultante se encuentre dentro de un rango predeterminado.

Según el productor, el rango de tamaño recomendado proviene de años de experiencia en equipos propios, obteniendo buenos resultados en cuanto a trabajabilidad, textura superficial y resistencia mecánica. También recomienda que los áridos utilizados no deben presentar cambios, principalmente en términos de granulometría, con motivo de que pueden comprometer significativamente la calidad final y la productividad de las piezas.

Tabla 6

Composiciones granulométricas de agregado fino sugeridas para la fabricación de bloques en función de la textura final

Tamiz (mm)	Porcentaje retenido acumulado		
	Textura fina	Textura media	Textura gruesa
9,5	0	0	0
4,8	21	25	30
2,4	36	40	50
1,2	51	55	67
0,6	66	70	81
0,3	82	85	91
0,15	94	95	98
Módulo de finura	3,50	3,70	4,17

Nota. Por Incera, 2017.

Una vez definidas las proporciones entre agregados, se realizan ensayos en el propio equipo utilizando, inicialmente, cantidades de cemento del 14% al 15%, lo que da como resultado trazos que van de 1: 5,5 a 1: 6,0 (cemento: áridos). Según los niveles de resistencia deseados y en función de los resultados de resistencia conseguidos a la compresión, estas cantidades pueden sufrir cambios (reducciones o aumentos). La cantidad de agua inicial a utilizar durante las pruebas en el propio equipo de vibración-compresión varía de 5,0% a 5,5%, dependiendo fundamentalmente de los agregados utilizados en la producción (Oliveira, 2004).

2.8.4 Método de dosificación ITP/Epusp

De acuerdo con Oliveira (2004), este método de dosificación fue propuesto por Carlos Tango y se basó en el conocido método de dosificación de ITP/Epusp, el mismo fue adaptado para bloques de concreto producidos en máquinas vibrocompactadoras. Su proceso se describe a través de los siguientes seis pasos.

2.8.4.1 Paso número 1: Ajuste de agregados. El tamaño máximo característico del agregado grueso debe ser inferior a la mitad del menor espesor de las piezas moldeadas (bloques) en el encofrado, salvo que, bajo verificación experimental, se pueda demostrar la viabilidad de utilizar otras dimensiones de agregado grueso.

En cuanto a la dosificación ideal entre los agregados, el método establece que el ajuste se realice durante la determinación del contenido de mortero, que se describirá en el paso número 4. Este ajuste también se puede definir mediante curvas y rangos granulométricos preestablecidas o mediante la prueba de masa unitaria.

2.8.4.2 Paso número 2: Determinación de resistencia media. El siguiente paso determina que la resistencia promedio objetivo o la resistencia a la dosificación debe cumplir con los siguientes criterios:

Ecuación 2

$$f_{bd,j} = f_{bk,j} + k_{nt} * s$$

Donde:

$f_{bd,j}$: Resistencia media observada o de dosificación a la edad de j días.

$f_{bk,j}$: Resistencia característica requerida a la edad de j días.

k_{nt} : Coeficiente definido en la Tabla.

s : Estimación de la desviación estándar de producción obtenida a través de "n" probetas en experimentos previos, con resistencia promedio de los bloques, materiales y procesos utilizados.

Tabla 7

Valores de *Knt* en función de *n*.

N	<20	20	25	30	50	>200
Knt	*	2,23	2,15	2,06	1,98	1,82

*Adoptar (Knt.s) conforme Tabla 8 durante la primera fase de producción

Nota. De *Contribución para dosagem...*, por Oliveira, 2004. <https://bit.ly/38qBNfT>.

Tabla 8

Valores sugeridos de *Knt* para la primera fase de producción

Medida de los agregados	Humedad de los agregados	Control de la masa en los bloques	Control tiempos en la mezcladora	Concepto de control		
Todos medidos en masa	La humedad de los agregados considerados en las medidas de áridos y agua	Sí	Sí	Riguroso		
Cemento en masa o en sacos enteros. Demas materiales	Curva hinchamiento y humedad de agregados consideradas en las medidas de agragdos y agua	Sí	Sí	Razonable		
Concepto de control	(Knt*s) en Mpa, para fbk					
	10 MPa	9 MPa	8 MPa	7 MPa	6 MPa	4.5 MPa
Riguroso	3,5	3,2	2,8	2,4	2,1	1,6
Razonable	4,5	4,2	3,8	3,4	3,1	2,6

Nota. De *Contribución para dosagem...*, por Oliveira, 2004. <https://bit.ly/38qBNfT>.

2.8.4.3 Paso número 3: Contenido estimado de agregado / cemento (m). Para la ejecución de los siguientes pasos, es necesario definir, al menos, tres masas de concreto, una "alta", una "media" y una "baja", con la preocupación de que la resistencia media de la dosificación a la edad de interés está dentro del campo de variación de las resistencias obtenidas con estos rangos. En la siguiente tabla (Tabla 9), se presenta una serie de valores *m* iniciales, sugeridos por este método.

Tabla 9

Sugerencias para rangos de contenidos de agregado/cemento (m)

$f_{bd,28}$ (MPa)	M_{b15}	m_{rico}	m_{medio}	m_{pobre}	Relação mínima A_{liq}/A_{bruta}
5,0	12,6	6,6	8,6	10,6	0,50
7,0	13,4	5,6	7,6	9,6	0,50
9,0	14,0	4,6	6,6	8,6	0,50
11,0	14,5	4,1	6,1	8,1	0,50
13,0	15,1	3,5	5,5	7,5	0,50
15,0	15,6	3,0	5,0	7,0	0,50
17,0*	16,2*	3,0*	5,0*	7,0*	0,56
19,0*	16,8*	3,0*	5,0*	7,0*	0,63
21,0*	17,4*	3,0*	5,0*	7,0*	0,70

Nota. De *Contribución para dosagem...*, por Oliveira, 2004. <https://bit.ly/38qBNFT>.

De la tabla anterior, se tiene que:

$f_{bd,28}$: resistencia de dosificación o resistencia media observada a los 28 días.

M_{b15} : masa media esperada para cada bloque M15.

m : contenido de mortero/cemento.

A_{liq} : área líquida de la sección transversal del bloque.

A_{bruta} : área bruta de la sección transversal del bloque (vacíos incluidos).

*: indica un probable aumento en la relación A_{liq}/A_{bruta} o el uso de equipo con una capacidad elevada de compactación.

2.8.4.4 Paso número 4: Determinación de la proporción de mortero y humedad óptima. Utilizando la mezcla media, se deben realizar bloques de hormigón en el equipo a gran escala, variando el contenido de mortero seco. El contenido ideal de mortero será aquel que, en estado fresco, presente buen aspecto superficial, elevada masa unitaria y buena trabajabilidad.

La cantidad de agua para cada experimento debe ser lo mayor posible, suficiente para que las piezas no se deshagan por falta de cohesión; y no demasiado alta, hasta el punto de dificultar el desmoldeo del hormigón causado por adhesión a los moldes, o pérdida de la forma. Normalmente, la cantidad ideal de agua o humedad óptima es aquella que

permite moldear con las manos una bolita de hormigón, sin que se deshaga (falta de agua) o ensucie excesivamente las manos (exceso de agua); este punto se denomina comúnmente "punto pelota".

2.8.4.5 Paso número 5: Confección de mezclas experimentales. Con los datos numéricos obtenidos de los cuatro pasos anteriores y los rangos de las pruebas ricas, medias y pobres que serán sometidos a pruebas de resistencia a la compresión. Se pueden confeccionar correctamente mezclas experimentales utilizando:

- Contenido ideal de mortero seco definido en el cuarto paso.
- Contenido de agregado / cemento definido en el tercer paso.
- Se debe determinar una humedad óptima cercana al valor definido en el cuarto paso; de preferencia, se debe determinar la humedad ideal de cada uno de los rangos experimentales a producir.

2.8.4.6 Paso número 6: Trazado y uso del diagrama de dosificación. Con los resultados de resistencia a la compresión de la piezas hechas en el paso anterior, se puede trazar el diagrama de dosificación adaptado para determinar los trazos deseados en función de las resistencias características, o bien, determinarlos usando el método de los mínimos cuadrados a través de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3

$$f_{cb} = \frac{k_1}{k_2}$$

Ecuación 4

$$m = k_3 + k_4 * x$$

Ecuación 5

$$c_c = \frac{1}{(k_5 + k_6 * m)}$$

Ecuación 6

$$c_c = \frac{1}{(k_7 + k_8 * \log(f_{cb}))}$$

Donde:

k1 a k8: Constantes inferidas a partir de resultados experimentales.

m: Relación agregado/cemento.

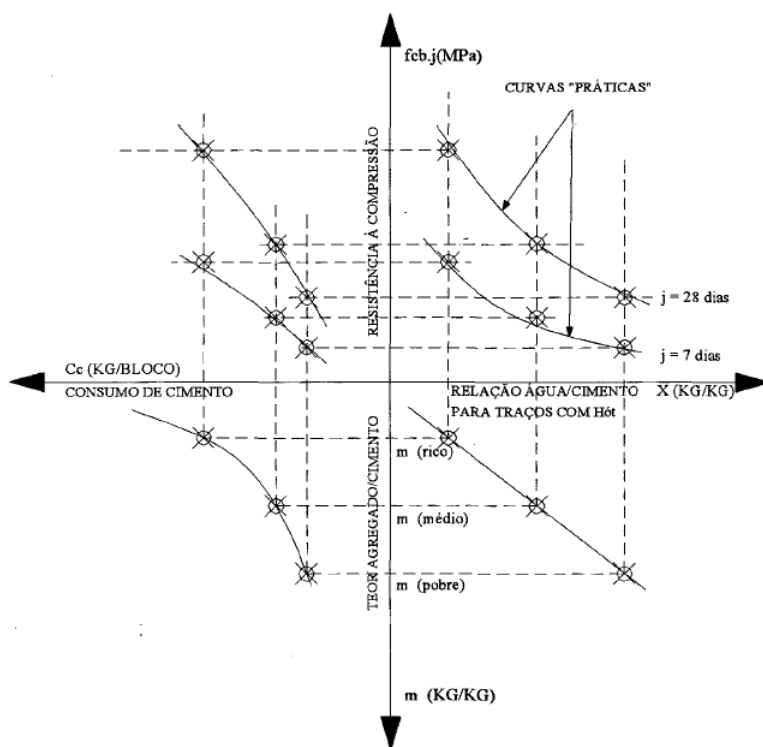
x: Relación agua/cemento.

f_{cb}: Resistencia media de los bloques.

A través de la siguiente figura, y después del estudio de dosificación en el que se tienen cuatro cuadrantes, cada uno de ellos con su propia relación que se interconecta con los cuadrantes adyacentes, se puede tener acceso a nuevos rangos (Incera, 2017).

Figura 12

Diagrama de dosificación ITP adaptado para piezas de concreto



Nota. De *Propuesta de metodología de dosagem*, por Frasson Jr., 2000.

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78274>

2.8.5 Método de diseño de mezclas propuesto por Frasson Jr.

2.8.5.1 Elección y proporción de los agregados. Los agregados gruesos más empleados en la producción de bloques de hormigón son los que pasan a través de un tamiz de 3/8 pulg. (9,5 mm) y son retenidos por un tamiz número 4 (4,8 mm). Preferiblemente, la forma de las partículas agregadas debe ser cúbica, lo que permite el uso de cantidades mayores en las mezclas de concreto, sin alterar la textura de la superficie del bloque. Para asegurar una adecuada cohesión de la mezcla, el agregado fino (o mezcla de agregados finos) debe tener un módulo de finura de 2.20 a 2.80, y el porcentaje de agregado fino que pasa por un tamiz número 50 (0.3 mm) debe estar entre el 25 y el 35%.

La proporción de agregado grueso (con respecto al total de agregados) debe estar dentro de un rango del 20 al 40%. Además, la proporción exacta debe definirse experimentalmente, teniendo en cuenta tanto la textura de la superficie como la cohesión del hormigón. Esto debe ser hecho para moldear muestras de 5 cm x 10 cm, compuestas por una mezcla de 1:9 (cemento: agregado) con diferentes proporciones de agregado grueso: agregado total que varían de 10% a 50%, en intervalos de 10%. La relación más adecuada es la que permite que la mezcla satisfaga los requisitos de cohesión y textura, pero también la que contiene la mayor cantidad posible de agregado grueso (Frasson et al., 2012).

2.8.5.2 Evaluación de cohesión y textura superficial. Con respecto a la mezcla de cohesión, cuanto menor sea la cantidad de cemento en la mezcla, menos cohesiva será; por lo que resulta sumamente importante tomar en cuenta que:

Las mezclas con pequeñas cantidades de cemento están involucradas en la producción de bloques utilizados para revestimiento. Por tanto, siguiendo la determinación de las proporciones ideales de agregados gruesos y finos, usando una relación cemento: agregado de 1: 9; se recomienda que se realicen más pruebas en mezclas con proporciones más bajas (1:13 a 1:15) para evaluar la cohesión en estos casos críticos. Cabe destacar que el valor de densidad determinado para el moldeo de los especímenes influirá, en gran medida, tanto en su textura como en su cohesión. Por esta razón, el presente método se refiere a una densidad de 2100 kg/m³ que está muy cerca del promedio de densidad de

bloques de hormigón obtenidos con el uso de las mejores máquinas disponibles de vibrocompresión.

Por otra parte, la evaluación de la superficie de la muestra se lleva a cabo durante la fase en la que se determinan las proporciones ideales de los agregados. La textura de las muestras debe evaluarse visualmente para cada tipo de mezcla, con un contenido óptimo de agua y una densidad de 2100 kg/m^3 .

Para poder determinar el contenido óptimo de agua de una mezcla para un grado dado de compactación y textura de la superficie, solo es necesario evaluar el estado de este aspecto de la muestra después de su extracción del molde. Al igual que ocurre en entornos industriales cuando el contenido de agua de la mezcla se acerca al valor óptimo, la superficie de la muestra comenzará a humedecerse ligeramente. Además, las superficies internas del molde y de la base metálica, utilizadas como soporte durante el moldeo, también se volverán ligeramente húmedas.

Las mezclas con contenido de humedad por debajo de este punto requerirán más energía para compactarse, lo que supondrá pérdidas de productividad y más desgaste de la maquinaria de vibrocompresión. Los valores por encima de este punto pueden dificultar o incluso hacer imposible la producción de bloques hormigón debido a problemas relacionados con la deformación del bloque que se produce durante la extracción del molde, y a la adherencia al propio molde (Frasson et al., 2012).

2.8.5.3 Preparación de mezclas para trazar una curva de diseño de mezcla. Como afirma Incera (2017), determinar qué valor de densidad debe usarse en el estudio de un diseño de mezcla es una tarea difícil que depende del equipo de vibrocompresión empleado y de su configuración. Por lo tanto, era recomendable utilizar un rango de cálculos de densidad que cubrieran los valores que se obtienen normalmente en entornos industriales. Tres rubros (densidad mínima, media y máxima) que se encontraran entre $1,95$ y $2,25 \text{ kg/dm}^3$ para estudios de laboratorio.

El uso de las siguientes proporciones cemento: agregado para verificar la influencia de la cantidad de cemento incluida en la mezcla: 1:7, 1:9 y 1:11 son comunes en la producción de bloques de hormigón estructural con una resistencia a la compresión de

652,70 a 1740,54 psi (4,5 a 12 MPa). Para cada proporción y cantidad utilizada en el estudio de diseño de la mezcla, el contenido de humedad debía determinarse siguiendo el procedimiento descrito por Frasson Jr.

Posteriormente, se debía moldear cuatro muestras de 5 cm x 10 cm para que su fuerza a la compresión se pudiera evaluar después de 28 días.

Vale la pena señalar que cuando el estudio de diseño de la mezcla se desarrolló en laboratorio, el curado debía realizarse en estuches de espuma de poliestireno con una lámina de agua en el fondo del estuche. Si la metodología de diseño de la mezcla se aplicaba en la planta de bloques de hormigón, el proceso de curado a utilizar para las muestras debía ser el mismo que el implementado en la planta.

2.8.5.4 Estimación de la resistencia media compresiva en función de la fuerza a la compresión especificada. Para esto se calcularía el coeficiente de variación o bien, en caso de que los valores del coeficiente de variación para la resistencia a la compresión no estuvieran disponibles, se tomó un valor de los sugeridos en la siguiente tabla (Tabla 10).

Ecuación 7

$$F_{bm} = \frac{F_{bk}}{(1 - 1.65 * CV)}$$

Donde se tiene que:

F_{bm}: Resistencia a la compresión media de los bloques concreto a una edad dada.

F_{bk}: Resistencia a la compresión especificada a una edad dada. CV: Coeficiente de variación.

Tabla 10

Coefficiente de variación para los datos de resistencia a la compresión

Tipo de control/equipo	Coeficiente de variación (%), según la condición de producción		
	Buena	Medio	Pobre
1- Control del proceso y experiencia del personal de producción	5	15	25
2- Equipo: vibrocompresión y sensores de humedad	5	15	25
3- Lote por Volumen	5	10	15
4- Lote por Masa	10	15	20

Nota. De *Metodología de diseño de mezcla*, por Frasson et al., 2012. <https://bit.ly/3zxD299>.

2.8.5.5 Determinación de la proporción cemento: agregado. Con los resultados de resistencia a la compresión para las muestras de 5 cm x 10 cm, era posible trazar las curvas de resistencia a la compresión versus densidad para cada relación cemento: agregado utilizada.

Al determinar primero la densidad de los bloques de concreto producidos con la máquina de vibrocompresión que se utilizó en la producción real, y con las curvas trazadas de resistencia a la compresión contra densidad, se determinó la resistencia a la compresión de las probetas de 5 cm x 10 cm por cada relación cemento: agregado. Con la resistencia a la compresión deseada, se podía predecir la resistencia a la compresión promedio (F_{bm}) de los bloques de concreto con la siguiente ecuación (Incera, 2017).

Ecuación 8

$$F_{bm} = \frac{f_s}{0.8} * \frac{A_{net}}{A_{bruta}}$$

Donde se tiene que:

F_{bm} : Resistencia a la compresión media de los especímenes de 5 cm x 10 cm.

A_{net} : Área neta de los bloques de concreto.

A_{bruta} : Área bruta de los bloques de concreto.

2.8.5.6 Procedimiento y equipo utilizado para implementar el método. Como ya se ha mencionado en las secciones anteriores, la presente metodología de diseño de mezclas secas se basa en el moldeado de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm, con la ayuda de un molde de tres paneles curvos sujetos con una abrazadera de 5 cm x 13 cm.

Dicho esto, a continuación se detallará el equipo de muestreo necesario para llevar a cabo el moldeado de cilindros dentro del cual se encuentra:

- Moldes tri-panel de 5 cm x 13 cm, formados por tres paneles curvos unidos con una abrazadera.
- Barra compactadora convencional utilizada para la compactación del mortero (dimensiones según la norma ABNT-NBR 7215 Brasileña).
- Base circular metálica de 2 cm de altura y 7 cm de diámetro que sirve de base para el molde tri-panel.
- Embudo plástico utilizado para facilitar el vertido de la mezcla al molde.
- Pisón de Nylon.
- Mazo de goma (480 g a 680 g).

Figura 13

Equipo utilizado para el moldeo de especímenes



Nota. Elaboración propia, 2021.

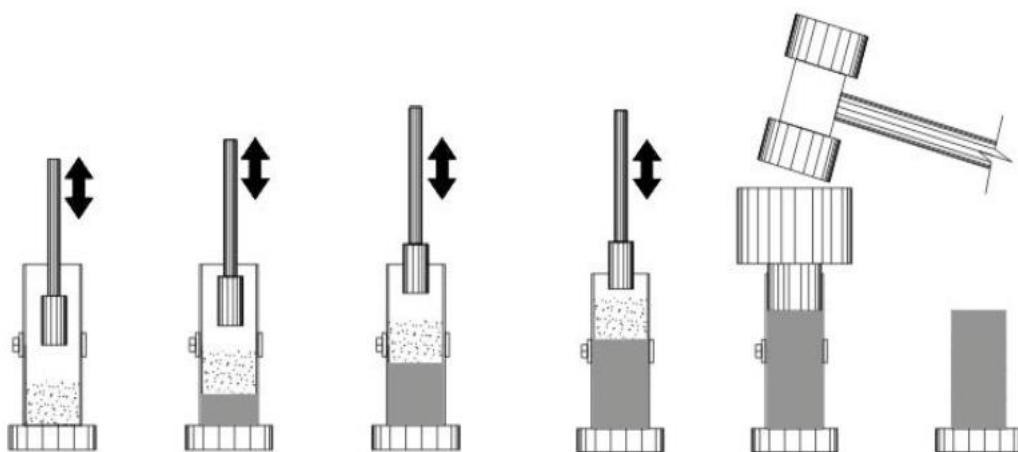
El procedimiento para moldear los especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm inicia con el pesado de la mezcla de concreto, con la finalidad de obtener la densidad deseada del espécimen después de su compactación. Una vez que se tiene la masa total con la que se trabajará, se divide en cuatro porciones de mezcla iguales para generar el moldeo del espécimen en cuatro capas iguales.

Una vez que se tiene la mezcla dividida, se introduce con ayuda de una cuchara y del embudo la primer capa en el molde, a la cual se le deben propinar veinte golpes con la barra compactadora, distribuidos uniformemente; se procede a colocar la segunda capa sobre la primera; también debe recibir veinte golpes con la herramienta especificada, distribuidos uniformemente; este proceso se repite hasta colocar la capa número cuatro, donde se tendrá un espécimen entre 10.3 cm y 10.5 cm.

Finalmente, después de los ochenta golpes propinados con la barra compactadora y para obtener la altura final de 10 cm del espécimen, se deberá aplicar una cantidad determinada de golpes con el mazo de goma y el pisón de nylon. Una vez finalizado el moldeo se deberá desenroscar la abrazadera para desmoldar el espécimen cilíndrico (Frasson Jr., 2000).

Figura 14

Proceso de moldeo de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm



Nota. La figura describe el proceso secuencial de moldeo descrito en los párrafos anteriores. De *Metodología de diseño de mezcla*, por Frasson *et al.*, 2012. <https://bit.ly/3zxD299>.

2.8.5.7 Procedimiento y equipo utilizado para realizar la prueba de cohesión. La prueba de cohesión que fue el punto de partida del presente método tiene su principio en una prueba homónima basada en la compresión diametral de cilindros moldeados con mezclas secas, para esta prueba se requiere de un equipo menor como:

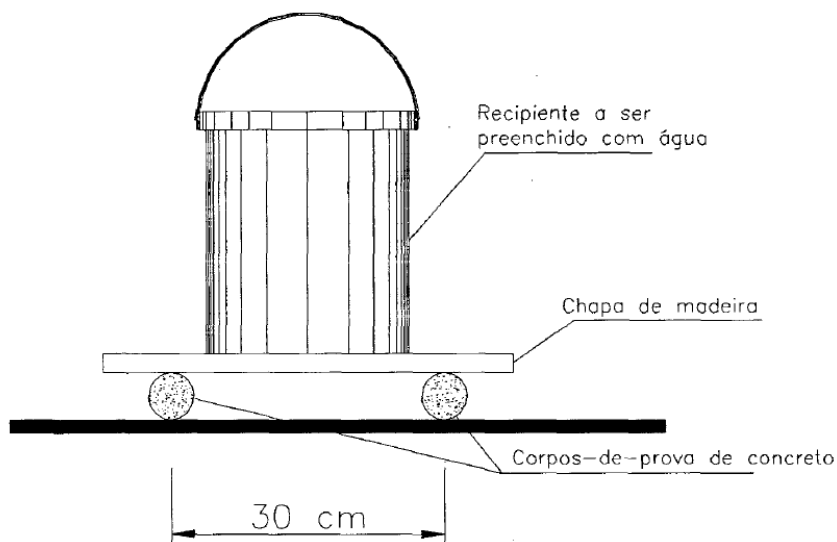
- Tabla con dimensiones de 50 cm x 20 cm y un espesor mínimo de 1.5 cm.
- Balde o recipiente de 19 litros aproximadamente.
- Especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm.

Tal como se describe en la sección anterior, el procedimiento consiste en moldear dos especímenes cilíndricos los cuales, en estado fresco, se colocan a lo largo de su diámetro uno al lado del otro, separados 30 cm entre sus ejes centrales sobre los cuales se coloca la tabla de 50 cm x 20 cm, descrita anteriormente; con el fin de que sirva de transferencia de carga.

Finalmente, se coloca el balde sobre dicha tabla y se llena lentamente con suficiente agua para ejercer una carga uniforme de 1N/s sobre los cilindros, con la finalidad de determinar cuál es la cantidad necesaria para triturar los mismos. Se dice que se tiene una cohesión adecuada cuando los cilindros son capaces de soportar una carga de entre alrededor de 5 Kg a 8 Kg (Frasson Jr., 2000).

Figura 15

Prueba de cohesión para especímenes de 5 cm x 10 cm



Nota. De *Propuesta de metodología de dosagem*, por Frasson Jr., 2000.
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78274>

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1 Paradigma

El diseño de mezclas secas se vio determinado por una serie de factores que influyen de manera directa en la resistencia final a la compresión de los elementos prefabricados; sin embargo, la vibrocompactación es el factor que más impacta en este resultado final, pues con este el elemento se logra hasta un 50% de la resistencia final esperada.

3.2 Metodología de la investigación

La metodología de diseño a implementar en la presente investigación se basó en los parámetros de muestreo, métodos de ensayos a los cuales se encuentran sujetos los sistemas de producción de bloques de concreto con mezclas secas, dentro de las cuales se encuentran las normas ASTM, INTE y CSCR. También se basa en las consideraciones necesarias para la toma de decisiones una vez obtenidos los valores a explorar, con la finalidad de que los resultados obtenidos sean los más objetivos, precisos y válidos posibles.

Dichas normativas o reglamentos mencionados anteriormente son los que limitan el proceso de fabricación de bloques, de esta forma es que se busca aplicar una novedosa metodología basada en normas internacionales, y que se acople a las normas nacionales. Se buscaba que, a través de metodologías más modernas, se llegara a resultados más satisfactorios en donde, por ejemplo, el método propuesto por Frasson Jr. busca determinar la compactación de las mezclas secas por medio del equipo de vibrocompactación, así como también permitió determinar la cohesión de la mezcla que se está evaluando, logrando determinar la cantidad óptima de humedad, por otra parte, se pudo determinar también la densidad húmeda de la mezcla, por último, permitió conocer la resistencia a la compresión.

3.3 Enfoque metodológico

En el área de las ingenierías, las investigaciones tienden a ser del tipo cuantitativas debido a que se basan en cálculos o procedimientos a través de los cuales se logra demostrar o comprobar hipótesis de diversos temas en estudio.

El enfoque cuantitativo (que representa, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, se puedes redefinir alguna fase. Parte de una idea,

que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis. (Hernández, 2010, p. 4)

La presente investigación se caracterizó por ser cuantitativa, o sea, se basó en una serie de procedimientos con un orden riguroso y bien definido con los que se buscó obtener resultados que permitieran implementar un diseño de mezcla moderno y aplicable que cumpliera satisfactoriamente con los parámetros que estipulan las normativas nacionales. Debido a esto, es que se buscaba demostrar, a partir del análisis y la implementación de cálculos matemáticos, la efectividad y los beneficios económicos que se lograrían en la producción de bloques de concreto, en comparación con el método de diseño de mezclas usado actualmente.

3.4 Operacionalización de variables.

Ver Tabla 11 en página siguiente.

Tabla 11
Definición de Variables

Objetivos específicos	Variables independientes	Herramientas por utilizar	Variables dependientes
Demostrar que la metodología de diseño de mezclas secas propuesta por Frasson Jr. para los agregados a implementar (arena industrial, polvo de piedra y arena lavada) es factible para utilizar como nuevo método de diseño.	Revisar cómo afecta la aplicación de la metodología internacional en la resistencia a la compresión final, la densidad y absorción de los bloques de concreto.	Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos INTE C39, y método de ensayo para unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas INTE C50.	Cumplir con los parámetros de resistencia a la compresión, absorción y densidad determinados por la norma INTE C90.
Calibrar la máquina productora de bloques de concreto basándose en los resultados obtenidos de la metodología de diseño a implementar, y de las variaciones de densidad realizadas.	Evaluar cual sería el comportamiento del o los diseños de mezcla óptimos a escala real.	Método de diseño de mezclas secas propuesto por Frasson Jr. Ensayo No Normado.	Demostrar que, al adaptar el método de Frasson Jr., se obtienen valores óptimos que cumplen con los parámetros que estipulan las normativas nacionales (INTE, ASTM y CSCR).
Efectuar una comparación de costos de manera relativa para determinar si se logra o no una optimización económica con la implementación de la nueva metodología de diseño en relación con la metodología de diseño aplicada actualmente.	Evaluar la influencia que tiene la nueva metodología en los costos finales asociados a la producción de bloques.	Software Microsoft Excel para determinar de forma gráfica y relativa cuales son la variaciones en los costos.	Demostrar si se logrará, o no, una optimización en los costos de producción de la Bloquera Ochomogo al implementar esta nueva metodología.
Evaluar cómo influye la utilización en mayor cantidad de los agregados del Quebrador Ochomogo en la producción de los bloques de concreto, y cómo estos afectan o influyen en la resistencia a la compresión final de dichos elementos.	Comportamiento de los agregados del Quebrador Ochomogo en los diseños de mezcla a efectuar.	Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos INTE C39.	Resistencia a la compresión iguales o superiores a las establecidas por la norma INTE C90.

Nota. Elaboración propia, 2021.

3.5 Población y muestra

La población estudiada en la investigación correspondió a los bloques de 12, es decir, aquellos cuyas dimensiones geométricas son 12 cm x 20 cm x 40 cm; dado el alto costo que conlleva la fabricación de lotes completos de bloques es que se implementó una novedosa metodología que permitió realizar pruebas representativas a menor escala a través de especímenes de concreto (5 cm x 10 cm), o sea, se determinó el tamaño de la población en función de la cantidad de mezclas o variables que se implementaran; por lo que, para obtener resultados satisfactorios y representativos, se realizaron 2 diseños de mezcla para calibrar la máquina de producción, y 4 diseños de mezcla distintos donde hubo variaciones en las dosificaciones con el objetivo de buscar la mezcla con mayor optimización y que cumpliera satisfactoriamente con lo que establecen las normativas nacionales.

A través de la metodología propuesta por Frasson Jr., y variando las masas en los especímenes de concreto, se buscó la obtención de valores de densidad alta, media y baja con la finalidad de evaluar el efecto de la compactación en las mezclas secas; a su vez, se buscó determinar valores de resistencia a la compresión esperando que el comportamiento fuera mayor resistencia a mayor densidad y, de forma opuesta, para los especímenes que tuvieran menor densidad. Dentro de esta metodología, se pretendía también analizar valores como lo son la cohesión, tal y como lo estipula la metodología implementada y la densidad de la mezcla para cada variación de masa.

Según lo mencionado, se procuró que las muestras a implementar fueran lo más representativas posible, de acuerdo con lo que establece la norma INTE 06-01-13 en el apartado 7.2.1 que detalla que se deben ensayar tres especímenes para la prueba a compresión; por tanto, se optó por seguir este número de muestras para cada uno de los tres tipos de masas mencionadas anteriormente; un aspecto importante a resaltar es que estos especímenes se pretendían fallar a edades de 3, 7, 28 días correspondientemente. Mientras que, para las pruebas de cohesión, se utilizaron dos especímenes de acuerdo con la metodología de Frasson Jr.; por otra parte, para la prueba de densidad, se ensayaron dos especímenes por cada uno de los tipos de masa mencionados.

Tabla 12*Número de muestras a realizar*

Masa por Cilindro (5cm x 10cm)	Resistencia a la Compresión			Cohesión Método Frasson Jr.	Densidad de la Mezcla 28 días	Total
	24 horas	7 días	28 días			
Alta (460 g)	3	3	3	2	2	13
Intermedia (450 g)	3	3	3	2	2	13
Baja (440 g)	3	3	3	2	2	13
Total de Muestras	9	9	9	6	6	39

Nota. Elaboración propia, 2021.

De esta forma, para una población de seis tipos diferentes de mezcla, e implementando la cantidad de especímenes a ensayar detallados en la tabla anterior, se contó con una cantidad total de muestras de 234 especímenes.

Tabla 13*Matriz de Ensayos*

Código	Cemento (%)	Arena Industrial Guápiles (%)	Polvo de Piedra Ochomogo (%)	Arena Lavada Ochomogo (%)	Relación a/c (%)	Total (%)	Total de Especímenes a Ensayar
Ref-1	6.50	75	15	10	0.60	100	39
Ref-2	6.50	75	15	10	0.60	100	39
AG60PO30AO10	6.50	60	30	10	0.60	100	39
AG55PO20AO25	6.50	55	20	25	0.60	100	39
AG20PO50AO30	6.50	20	50	30	0.60	100	39
AG10PO45AO45	6.50	10	45	45	0.60	100	39

Nota. Elaboración propia, 2021.

3.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Según la metodología de diseño de la presente investigación, en primera instancia, se buscaba brindar un sustento teórico con el fin de que durante el proceso se comprendieran diligentemente los temas principales bajo los que se sustentan los resultados, de modo que la interpretación de los resultados que se obtuvieron fuera más efectiva. Para esto, se recopiló la mayor cantidad de datos posibles a través de diversas fuentes de información tales como libros de texto, investigaciones académicas como tesis de grado, artículos científicos, artículos de revistas, páginas web, entre otras.

Por otra parte, la presente investigación se basó, principalmente, en la aplicación de una metodología de dosificación de mezclas secas a partir de la cual se evaluó la resistencia de los bloques a la compresión, la cohesión y densidad de la mezcla; no obstante, dicha metodología es delimitada y adaptada a normas internacionales que hacen que la haya ciertas dudas en cuanto a si posee un procedimiento bien definido que permita obtener las resistencias deseadas. Por lo que, como parte de las técnicas que se aplicaron en esta investigación, se encuentra la adaptación del método de dosificación propuesto por Frasson Jr. a las normas nacionales a través de la aplicación de normas INTE y ASTM.

Tabla 14

Ensayos por realizar para la caracterización de los agregados

Ensayos por Realizar	Normas INTE/ASTM
Norma para reducir muestras a tamaño de ensayo	INTE C62 / ASTM C702
Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y gureso	INTE C46 / ASTM C136
Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino	INTE C69 / ASTM C128
Determinación del contenido total evaporable en agregados mediante secado	INTE C71 / ASTM C566
Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) de los agregados	ASTM C29
Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm en agregados minerales	INTE C49 / ASTM C117

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 15*Ensayos por realizar a los especímenes cilíndricos*

Ensayos por Realizar	Normas INTE/ASTM
Método propuesto por Frasson Jr. para el muestreo de especímenes cilíndricos	No normado
Método propuesto por Frasson Jr. para determinar la cohesión de la mezcla	No normado
Método que cubre la elaboración y el curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio	INTE C18 / ASTM C192
Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto	INTE C39 / ASTM C39
Método propuesto por Frasson Jr. para determinar la densidad seca y absorción de los especímenes cilíndricos	No normado
Muestreo y método de ensayo para unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas	INTE C50

Nota. Elaboración propia, 2021.

Es importante resaltar que cada una de estas pruebas o ensayos se llevaron a cabo a través del uso de instrumentos de laboratorio calibrados bajo las normas nacionales, y con la guía de profesionales que se encuentran altamente preparados. Dentro de algunos de los métodos de ensayo nacionales que se aplicaron como parte de la adaptación del método propuesto por Frasson, se podrían mencionar algunos como:

3.6.1 INTE C62 (ASTM C702): Norma para reducir muestras a tamaño de ensayo

Esta norma describe tres métodos para la reducción de las muestras grandes de agregados al tamaño más apropiado, para ensayarlas utilizando técnicas que tienen por objeto minimizar las variaciones en las características entre las muestras de ensayo procesadas, y la muestra original.

3.6.2 INTE C46 (ASTM C136): Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso

Este método determina la distribución por tamaño de partículas de los agregados finos y gruesos mediante el uso de tamices. Los resultados de los ensayos realizados mediante este proceso definen la conformidad de la distribución por tamaños de las partículas con los requisitos

especificados, y para proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de agregados y mezclas que los contienen.

Este método menciona que la granulometría de un agregado se determina mediante el análisis de los tamices, que consiste en hacer pasar una muestra representativa de los agregados por un grupo de tamices ordenados en forma decreciente, de acuerdo con el tamaño de abertura de la malla. La granulometría y el tamaño máximo de los agregados en una mezcla de concreto afectan a diversas propiedades, entre ellas, la resistencia y la trabajabilidad.

3.6.3 INTE C69 (ASTM C128): Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino

Este es un método que permite determinar las propiedades físicas de los agregados finos para su posterior uso en las dosificaciones de las mezclas de concreto, por lo que se deben de conocer muy bien, ya que un cambio de estas supondría tener que realizar un ajuste en las dosificaciones a emplear.

Propiedades como la densidad relativa, que es la razón entre su densidad y la densidad de un volumen de agua a una temperatura dada, fueron las que se utilizaron para calcular el volumen requerido en la mezcla de concreto, permitiendo conocer valores como el porcentaje de absorción del agregado a través del cual se podrían ajustar los diseños de mezcla permitiendo que esta mantenga una adecuada relación agua-cemento.

3.6.4 INTE C49 (ASTM C117): Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm en agregados minerales

El presente método tiene la finalidad de determinar o evaluar la cantidad de partículas finas en los agregados que podrían influir o afectar el concreto, debido a que, si se presenta un material con un exceso de partículas finas recubriendo las partículas de estos, se podrían producir uniones inadecuados entre la pasta de cemento endurecida y el agregado; desencadenando una serie de afectaciones negativas en las propiedades finales del concreto como pérdida de resistencia a la compresión y durabilidad.

3.6.5 INTE C71 (ASTM C566): Determinación del contenido de humedad total evaporable de los agregados por secado

Esta norma establece el método de ensayo que determina el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, sometida a secado tanto de la humedad en la superficie

como en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua combinada químicamente con los minerales, la cual no es evaporable ni se encuentra incluida dentro del porcentaje determinado por este método; mismo que, a su vez, se refiere a la relación entre humedad total, la humedad superficial y la absorción. La humedad superficial se define como la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y el valor de absorción de los agregados.

3.6.6 INTE C147: Cemento Hidráulico

La presente norma tiene por objeto establecer los parámetros y especificaciones de calidad de los cementos hidráulicos y de los componentes de estos que, normalmente, se usan en el territorio nacional, sean producidos localmente o importados. De la misma manera, establece la clasificación de dichos cementos por tipo, con sus respectivas especificaciones.

Es importante resaltar que la presente norma o ensayo se aplicó única y exclusivamente para determinar que el cemento a utilizar cumpliera con los requisitos o parámetros que se estipularon en el ensayo para el cemento hidráulico.

3.6.7 Ensayo no Normado: Método de Frasson Jr. para el moldeo de especímenes

Este es un método que consistió en una serie de etapas previamente definidas, se inició el moldeo de especímenes pesando la mezcla con la finalidad de obtener las tres densidades: alta, media y baja, que se deseaba analizar después de la compactación. Una vez obtenida la masa total de mezcla deseada, se dividió en cuatro porciones iguales que luego son colocadas dentro del molde tri-panel; formando así un espécimen cilindro compuesto de cuatro capas similares, cada una fue colocada de forma independiente; posteriormente, se le debían proporcionar, una a una, veinte golpes con la barra compactadora distribuidos uniformemente. Una vez que se acabó este proceso, se procedió a realizar la compactación final del espécimen en la cual se colocó el pisón de nylon, y se le propinaron los golpes necesarios con el mazo de goma en función de la densidad que se está moldeando.

Para una mejor comprensión visual sobre el procedimiento de muestreo de especímenes cilíndricos de 5 cm x10 cm, se recomienda analizar la figura 16; de igual manera con la figura 17, sobre el acabado final de un espécimen cilíndrico ya moldeado a través del presente método.

Figura 16
Moldeo de Especímenes por el Método de Frasson Jr.



Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 17
Especímen cilíndrico moldeado por el método de Frasson Jr.



Nota. Elaboración propia, 2021.

3.6.8 *Ensayo no Normado: Método de Frasson Jr. para la cohesión*

El presente método de ensayo tiene la finalidad de determinar si la cohesión que presentan las mezclas es el adecuado o si bien estas poseen deficiencias en este parámetro. El método estableció que se moldearan dos especímenes cilindros con la mezcla a evaluar, una vez que se terminó con dicho procedimiento, se debían desmoldar y colocar a lo largo de su diámetro con una separación entre ellos de aproximadamente 30 cm; posteriormente, el método definía que se colocara una tabla cuyas dimensiones eran 50 cm x 20 cm, y una cubeta de 19 litros sobre los especímenes; la tabla funcionó para distribuir los esfuerzos inducidos por el peso del agua que almacenara la cubeta, esta última fue llenada de uniformemente a una velocidad de aproximadamente 1 L/s.

El método buscó determinar cuál es la carga necesaria para deformar el espécimen, para lo cual establece que, como un parámetro mínimo, estos deberían soportar una carga de entre 5 kg a 8 kg; de forma que el método, explicado de forma más visual, se presenta la siguiente figura.

Figura 18

Prueba de Cohesión por el Método de Frasson Jr.



Nota. Elaboración propia, 2021.

3.6.9 INTE C18 (ASTM C192): Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en laboratorios

Esta ensayo estableció los procedimientos para hacer y curar especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio, bajo el control estricto de materiales y condiciones de ensayo, utilizando concreto que se pudiera consolidar por envarillado o vibración, como se describe más adelante (INTECO, 2016).

Es importante resaltar que cuando el estudio de diseño de mezclas se implementó en el laboratorio, para el curado de los respectivos especímenes se debió implementar el uso de una caja de espuma de poliestireno que tuviera una lámina de agua en la parte inferior, dada esta situación, la investigación adaptó el curado de estos especímenes tal y como se estableció en esta sección; su proceso se observa en la Figura 19.

Figura 19

Caja de espuma de poliestireno, para el curado de especímenes



Nota. Elaboración propia, 2021.

3.6.10 *Ensayo no Normado: Método propuesto por Frasson Jr. para determinar la densidad seca y la absorción de los especímenes cilíndricos.*

Para determinar la densidad seca que se debe utilizar en el estudio de diseño de mezcla, se requiere de conocer una serie de variables tales como el equipo y ajustes o cambios que se efectúen en el proceso de vibrocompactación que se esté utilizando; dada esta situación, y considerando que la presente investigación se realiza de manera manual aplicando el método propuesto por Frasson Jr. (que trata de replicar, de manera similar, el proceso de vibrocompactación de las máquinas industriales), se sugirió utilizar las siguientes ecuaciones para determinar los valores de densidad.

Ecuación 9

$$\text{Principio de Arquímedes} = \rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = Densidad Teórica, Kg/m³.

m = Masa del Especimen Cilíndrico, Kg.

v = Volumen del Especimen Cilíndrico, m³.

Ecuación 10

$$\rho_s = \left(\frac{W_d}{W_{SSS} - W_i} \right) * \gamma_w$$

Donde:

ρ_s = Densidad del espécimen, Kg/m³.

W_d = Peso seco del espécimen después de pasar por secado al horno con una temperatura de 110 ± 5 por un tiempo de 24 ± 4 horas, g.

W_{SSS} = Peso saturado superficie seca, g.

W_i = Peso sumergido del espécimen, g.

γ_w = densidad del agua a 23 °C = 997.6 Kg/m³

Es importante resaltar que se utilizaron estas dos ecuaciones: la primera, únicamente a nivel de campo con la finalidad de obtener una referencia a través del principio de Arquímedes, que representa una densidad teórica por donde se ubicó la densidad real de los especímenes; mientras que las densidades obtenidas a través de la ecuación 10 representan los valores de densidad real obtenidos de los especímenes cilíndricos destinados para esta prueba, los mismos se pueden consultar en la tabla nombrada *Número de muestras a realizar* (Tabla 12) del presente capítulo; para una mayor claridad, es importante mencionar que las densidades a utilizar se encuentran en un rango que va de 1950 Kg/m^3 a 2290 Kg/m^3 , los cuales corresponden a valores típicos de muestras estudiadas en laboratorios.

Se debe recalcar que los resultados obtenidos a través del principio de Arquímedes no se muestran, ni comparan con los resultados reales de densidad, esto debido a que dicha densidad no es tan precisa; puesto que temas, como la humedad donde se encuentra el espécimen o qué tanto (o no) haya absorbido esa humedad, hacen que claramente se puedan presentar valores un poco diferentes a los reales por lo que no sería objetivo compararlos.

Figura 20

Obtención de peso sumergido



Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 21

Especímenes secos, luego de pasar al horno por 24 horas



Nota. Elaboración propia, 2021.

Finalmente, el cálculo de absorciones se realizó a través de un único cálculo a los especímenes destinados a esta prueba, para ello se aplicará la siguiente ecuación:

Ecuación 11

$$\%Abs = \left(\frac{W_{sss} - W_d}{W_d} \right) * 100$$

Donde:

- W_{sss} = Peso saturado superficie seca, g.
- W_d = Peso seco del espécimen después de pasar por secado al horno con una temperatura de 110 ± 5 por un tiempo de 24 ± 4 horas, g.

3.6.11 INTE C39 (ASTM C39): Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

Este ensayo permitió determinar cuál es la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto moldeados en laboratorio. El mismo consistió en la aplicación de una carga uniaxial a los cilindros moldeados a una velocidad de carga específica, en donde la resistencia del espécimen se calculó dividiendo el peso máximo obtenido durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen (Lanamme, s. f.).

Como parte de la validez de los datos, se destaca que los instrumentos a utilizar debieron contar con una calibración que asegurara que los datos brindados fueran lo más precisos posible, por lo que las máquinas implementadas en esta investigación se encontraban calibradas por un laboratorio acreditado de acuerdo con la norma ASTM E4. Para este caso, la empresa Productos de Concreto cuenta con las máquinas de fallas calibradas por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), cuya última calibración se realizó el día 03 de marzo del 2020 en la máquina del laboratorio central, mientras que la máquina del laboratorio de la Bloquera Ochomogo recibió la última calibración el día 24 de junio del 2021.

Es importante recalcar que se utilizaron dos máquinas de falla, dado que se deben hacer pruebas directas a especímenes y bloques fabricados en la Bloquera Ochomogo; dada esta situación, se especifica que no se introdujo una variable a la investigación al utilizar dos máquinas distintas, con motivo de que, como se ilustrará más adelante, ambas contaban con un certificado de calibración reciente, otorgado por la misma entidad Lanamme.

Figura 22

Máquina de falla a la compresión y sello de calibración de esta (PC, Bloquera Ochomogo)



Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 23

Máquina de falla a la compresión y sellos de calibración de esta (PC, San Rafael, Alajuela)



Nota. Elaboración propia, 2021.

3.6.12 INTE C50: Unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas

Consistió en varios métodos de ensayo que proveen procedimientos comúnmente utilizados para evaluar las características de las unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas. Estos métodos cubrieron el muestreo y los ensayos para determinar las dimensiones, la resistencia a la compresión, la absorción, el peso unitario (densidad), contenido de humedad, carga a flexión y peso del agregado.

3.7 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos

Como parte del procesamiento y análisis de los datos para la investigación, se implementó el uso del software Excel en el cual se introdujo un grupo de datos previamente recolectados para la elaboración de gráficas, tablas y cálculos matemáticos de manera más rápida y eficiente; gracias a su configuración se logró optimizar tiempo. Por otra parte, los resultados obtenidos en los diferentes ensayos y métodos aplicados fueron comparados y revisados ante los parámetros que establecen los reglamentos nacionales tales como INTE y CSCR, todo esto con la finalidad de asegurar, en mayor medida, que los datos son objetivos, precisos y válidos.

Es importante destacar que parte del análisis de resultados se realizó de la manera más cuidadosa y detallada, con el apoyo del criterio y experiencia de profesionales altamente calificados, de manera que se detectaran y eliminaran errores o resultados dudosos que afectarían la confiabilidad y validez del trabajo.

Capítulo IV: Resultados y Análisis de resultados

Con el presente capítulo, se presentan los datos más importantes y representativos de la investigación, es acá donde se expondrán y analizarán los resultados obtenidos tras el proceso exploratorio que se llevó a cabo; para esto, el capítulo se dividirá en dos secciones: la primera detalla todos los resultados obtenidos mediante el uso de tablas que presentan de manera ordenada y comprensible de cada uno de los datos recopilados, aunado a ello se brinda una breve explicación de las variables, códigos y decisiones que se debieron tomar en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos serán presentados bajo un orden preestablecido anteriormente (Tabla 15), de manera que se inicia con la caracterización de los agregados empleados y la determinación de humedades de estos; posteriormente, se muestran los resultados de cohesión y humedad obtenidos de las distintos diseños de mezcla a emplear (Tabla 13), así como también se encontrarán los valores de densidades y absorción que tienen los especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm; por último, se tabulan los resultados de resistencias a la compresión para cada una de las edades anteriormente definidas. Para cada uno de los resultados obtenidos en esta sección, se siguieron todos los procedimientos establecidos en los capítulos anteriores.

Es importante resaltar que, dentro de esta sección, se brindarán los diseños de mezclas utilizados para muestrear cada uno de los especímenes cilíndricos donde se mostrarán las proporciones de estos y las variaciones efectuadas entre cada uno de los diseños de mezcla estudiados. Uno de los aspectos más sobresalientes es que la presente investigación no tiene la ejecución de diseños de mezclas como objetivo, por lo que se arrancó de un diseño de mezcla referencia, el cual es implementado actualmente en la Bloquera Ochomogo; a partir de esta, se fueron realizando cambios en las proporciones de los agregados en búsqueda de un diseño óptimo que permitiera utilizarlos en mayor medida.

Finalmente, en la segunda sección de este capítulo se analizan y discuten los resultados planteados, con detalle sobre cuál es el comportamiento de la resistencia final a la compresión obtenida al implementar los agregados del Quebrador Ochomogo en mayores cantidades. Según el planteamiento definido en el presente trabajo, se buscó demostrar que dichos agregados tienen las propiedades necesarias para ser empleados en mayor medida de forma que se logren beneficios económicos positivos en el proceso de producción de la Bloquera Ochomogo.

4.1 Resultados

4.1.1 Agregados

Tal y como se mencionó en capítulos anteriores, la presente investigación se basó en la implementación de tres tipos distintos de agregados cuyas propiedades son diferentes entre sí, como parte de la investigación resultó necesario evaluar cuáles eran las características propias de los agregados, especialmente aquellos que tienen como fuente de origen el Quebrador Ochomogo; ya que estos agregados tienden a ser un poco más complejos y variables en sus características. Dada esta situación, se procedió a realizar una caracterización completa de los tres tipos de agregados a utilizar:

- ❖ Polvo de Piedra Ochomogo (PO).
- ❖ Arena Lavada Ochomogo (AO).
- ❖ Arena Industrial Guápiles (AG).

De los agregados ya mencionados, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16

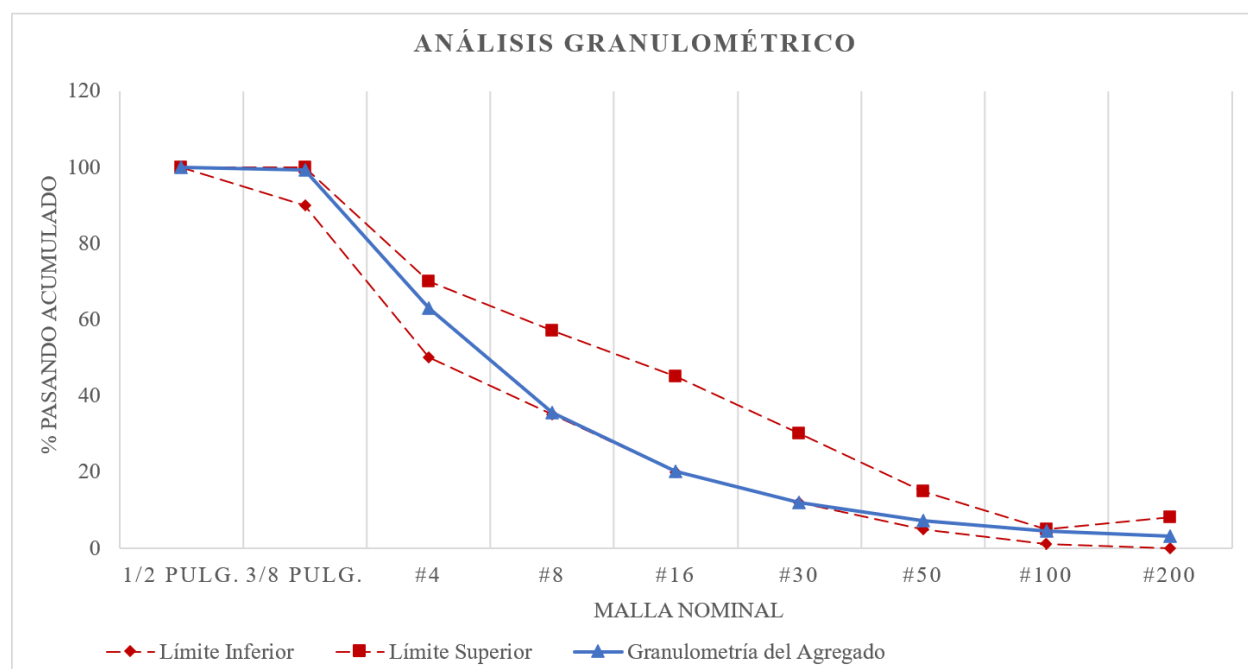
Granulometría del Agregado Polvo de Piedra Ochomogo (PO)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (INTE C46)						Peso Inicial (g): 1893,5	
Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación	
						Mín. (%)	Máx. (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.	12,5	1	1	99	90	100
4,75	#4	690,2	36	37	63	50	70
2,36	#8	520,5	27	64	36	35	57
1,18	#16	292,5	15	80	20	20	45
0,6	#30	156,8	8	88	12	12	30
0,3	#50	92,2	5	93	7	5	15
0,15	#100	50,7	3	96	4	1	5
0,075	#200	26,0	1	97	3	0	8
0	Charola	58,4	3	100	0		
Total (g) =		1899,8	M.F. =	4,58	Δ % de peso inicial:		0,3%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 24

Curva Granulométrica, Agregado Polvo de Piedra Ochomogo (PO)



Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 17

Propiedades del Agregado, Polvo de Piedra Ochomogo (PO)

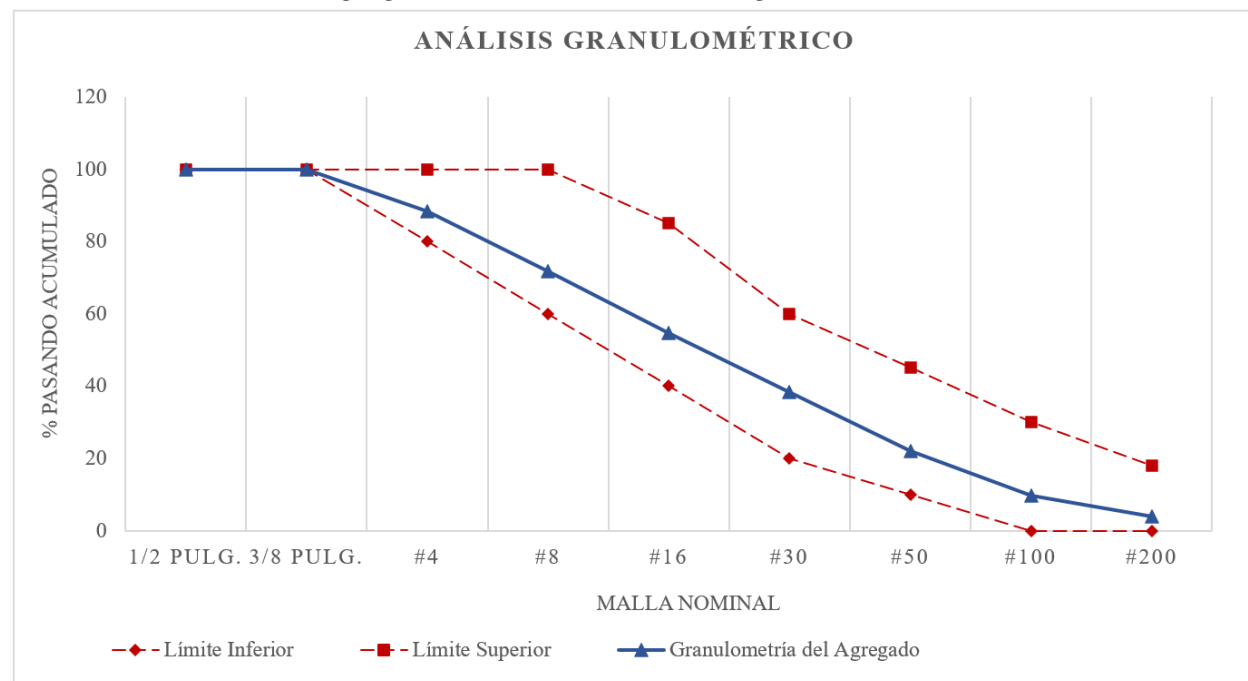
Propiedades Adicionales del Agregado	
Gravedad específica (G_{bs}) =	2,45
Gravedad específica saturada superficie seca (G_{bsss}) =	2,55
Absorción (a%) =	4,3
Humedad Total (w%) =	5,5
% más fino que la malla #200 por lavado =	2,3
Peso Unitario Suelto (Kg/m^3) =	1490
Peso Unitario Envarillado (Kg/m^3) =	1600

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 18*Granulometría del Agregado Arena Lavada Ochomogo (AO)*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (INTE C46)						Peso Inicial (g): 963	
Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación	
						Mín. (%)	Máx. (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	111,9	12	12	88	80	100
2,36	#8	161,4	17	28	72	60	100
1,18	#16	163,2	17	45	55	40	85
0,6	#30	159,4	17	62	38	20	60
0,3	#50	157,0	16	78	22	10	45
0,15	#100	119,0	12	90	10	0	30
0,075	#200	55,7	6	96	4	0	18
0	Charola	37,4	4	100	0		
Total (g) =		965,0	M.F. =	3,15	Δ % de peso inicial:		0,2%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 25*Curva Granulométrica, Agregado Arena Lavada Ochomogo (AO)*

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 19*Propiedades del Agregado, Arena Lavada Ochomogo (AO)*

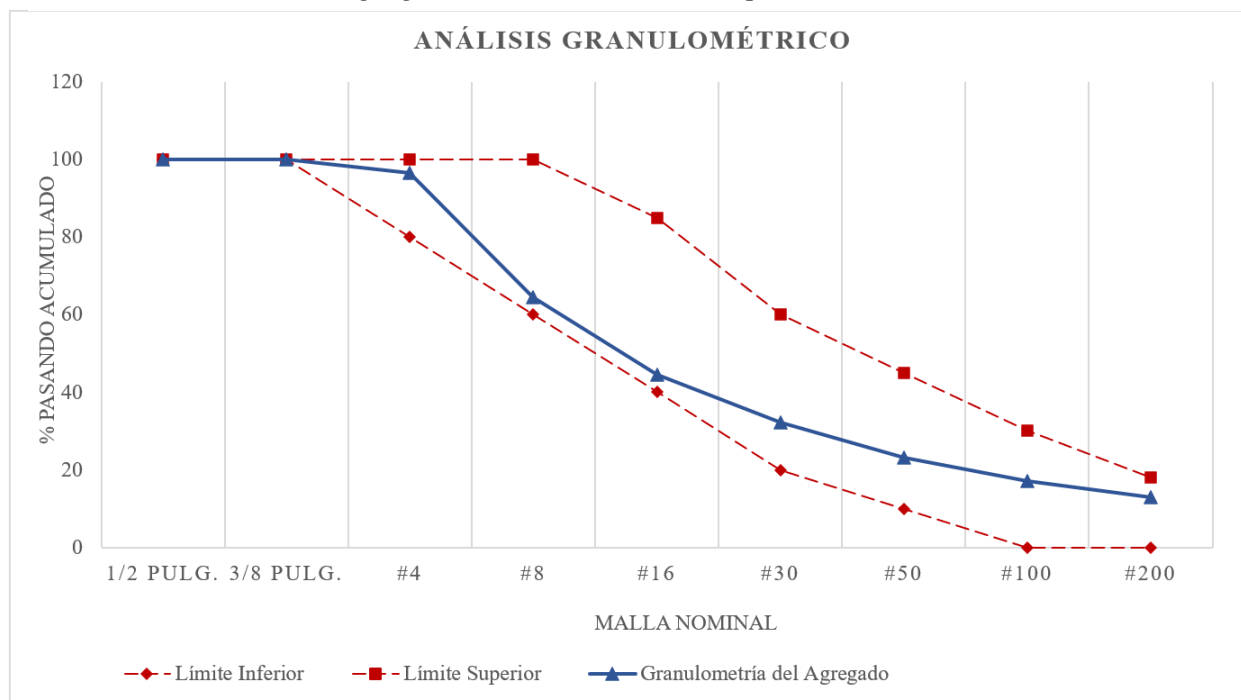
Propiedades Adicionales del Agregado	
Gravedad específica (G_{bs}) =	2,14
Gravedad específica saturada superficie seca (G_{bss}) =	2,34
Absorción (a%) =	9,4
Humedad Total (w%) =	14,4
% más fino que la malla #200 por lavado =	2,9
Peso Unitario Suelto (Kg/m^3) =	1270
Peso Unitario Envarillado (Kg/m^3) =	1470

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 20*Granulometría del Agregado Arena Industrial Guápiles (AG)*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (INTE C46)							Peso Inicial (g): 976,8	
Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación		
						Mín. (%)	Máx. (%)	
25,4	1 pulg.							
19,1	3/4 pulg.		0	0	100			
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100	
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100	
4,75	#4	33,2	3	3	97	80	100	
2,36	#8	314,6	32	36	64	60	100	
1,18	#16	193,7	20	55	45	40	85	
0,6	#30	121,5	12	68	32	20	60	
0,3	#50	87,5	9	77	23	10	45	
0,15	#100	59,3	6	83	17	0	30	
0,075	#200	40,3	4	87	13	0	18	
0	Charola	126,6	13	100	0			
Total (g) =		976,7	M.F.=	3,22	Δ % de peso inicial:		0,0%	

Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 26*Curva Granulométrica, Agregado Arena Industrial Guápiles (AG)*

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 21*Propiedades del Agregado, Arena Industrial*

Propiedades Adicionales del Agregado	
Gravedad específica (G_{bs}) =	2,52
Gravedad específica saturada superficie seca (G_{bsss}) =	2,62
Absorción (a%) =	4,0
Humedad Total (w%) =	4,2
% más fino que la malla #200 por lavado =	11,8
Peso Unitario Suelto (Kg/m^3) =	1540
Peso Unitario Envarillado (Kg/m^3) =	1660

Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.2 Humedad de los agregados

Debido a que toma tiempo realizar el proceso de caracterización completa de un agregado, es decir, entre el inicio de la caracterización y la finalización de esta puede presentarse un lapso de dos días aproximadamente; se decidió no trabajar con las humedades obtenidas en la caracterización sino que, antes de dar inicio a las pruebas, se mezclaron y calcularon las humedades

respectivas para cada uno de los agregados, un aspecto importante es que toda la investigación se llevó a cabo utilizando agregados de un solo lote, o sea, de inicio a fin se trabajó con los mismos agregados, sin variaciones de tamaños, fuentes de origen y humedades.

Tabla 22

Humedad de los Agregados

HUMEDAD AGREGADOS (INTE C71)								
Material	Tamaño Máximo Nominal (mm)	Fuente de Origen	Peso Recipiente (g)	Peso Húmedo + Recipiente (g)	Peso Húmedo (g)	Peso Seco + Recipiente (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Arena Lavada (AO)	7,9	Ochomogo	232,3	1232,3	1000,0	1133,1	900,8	11,0
Arena Industrial (AG)	7,9	Guápiles	244,5	1244,7	1000,2	1164,7	920,2	8,7
Polvo de Piedra (PO)	9,5	Ochomogo	243,0	2243,5	2000,5	2144,7	1901,7	5,2

Nota. Elaboración propia, 2021.

Una vez calculados los porcentajes de humedad, se procedió a mantener dichos resultados de manera constante a lo largo del progreso del trabajo; esto se logró a través de una serie de cuidados que se deben tener al desarrollar una investigación experimental a nivel de laboratorio. Dentro de estos cuidados, se menciona que los agregados fueron vertidos en estañones de 200 litros y cubiertos con plásticos asegurados a estos para mantener estas humedades constantes e impedir que se perdiera debido a la evaporación; por otra parte, debido al efecto de la gravedad en el que el agua tendió a descender hacia el fondo del estañón, se sugirió conservar un constante mezclado de los agregados cada dos días por semana, de manera que el agua que hubiese descendido volviera a estar homogéneamente distribuida.

Dado lo mencionado con respecto a la humedad, es importante recalcar que las únicas variaciones que se presentaron en la presente investigación, a nivel de agregados, fue en relación con la cantidad de estos en las mezclas por estudiar, así como también se varió la masa de los especímenes en una masa alta, media y baja, aspecto que se relacionó directamente con las variaciones de densidades, puntos que serán abordados y analizados posteriormente.

4.1.3 Mezclas de referencia

En la presente sección, se mostrarán únicamente resultados de las mezclas referencia, es decir, con las proporciones de agregados actuales de la Bloquera Ochomogo, sin ninguna variación; se resalta el hecho de que se muestran resultados de dos mezclas referencia: una replicada en el laboratorio, otra tomada directamente del mezclador de la máquina productora de

bloques. Primero, se mostrará la proporción de agregados de la mezcla y su matriz de ensayos; seguidamente, se mostrará la relación cemento: agregado utilizada, en donde se trabajó con una relación cemento: agregado ya preestablecida por la Bloquera.

Consecutivamente, se expondrán los resultados correspondientes a los porcentajes de humedad y cohesión de cada una de las masas evaluada en la mezcla, llegando de esta forma a los valores de densidad y absorción de los especímenes cilíndricos; para, finalmente, brindar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a las edades preestablecidas de 1 día, 7 días y 28 días.

Tabla 23

Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la Mezcla Ref-1

Proporción de Agregados		
Material	Fuente de Origen	Cantidad
Arena Industrial (AG)	Guápiles	75%
Polvo de Piedra (PO)	Ochomogo	15%
Arena Lavada (AO)	Ochomogo	10%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 24

Matriz de ensayos de la mezcla Ref-1

Especímenes Cilíndricos a Evaluar en Estado Fresco y Endurecido							
Código	Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
		Máx.	Med.	Mín.	1 día	7 días	28 días
Ref-1/máx.	2	2	-	-	3	3	3
Ref-1/med.	2	-	2	-	3	3	3
Ref-1/mín.	2	-	-	2	3	3	3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tal y como se puede observar en la tabla 24, se representa el total de muestras a evaluar en la mezcla, se resalta que se dividieron las pruebas en las diferentes masas en las que se evaluaría la mezcla, de las cuales se obtuvo tres variaciones de la masa en una masa máxima, media y mínima; siendo estas determinadas por la cantidad de golpes que empleados al final de los 80

golpes con la barra compactadora, el método establecía que se considerara como masa máxima a aquella que requirió entre 10 y 15 golpes con el mazo de hule, a una fuerza máxima para lograr los 10 cm finales que debía tener el espécimen cilíndrico; a partir de ahí, las masas medias y mínimas se estimaron con la reducción de la masa máxima en rangos de 10 g o 15 g.

Tabla 25

Relación Cemento: Agregado

Mezcla Referencia 1	
Cemento: Agregado	C:F1:F2:G
1:15,5	1:11,93:1,38:2,24

Nota. Elaboración propia, 2021.

Donde:

- ❖ C: cemento, F1: agregado fino 1 (arena industrial), F2: agregado fino 2 (arena lavada), G: agregado grueso (polvo de piedra).

Tal como se mencionó anteriormente, la presente investigación se desarrolló con base en una relación cemento: agregado preestablecida por la Bloquera Ochomogo; dada esta situación, se trabajó con las proporciones que ellos utilizan a escala real, se ajustaron únicamente los valores a las cantidades que se requerían a nivel de laboratorio, esto debido a que, si se optaba por implementar un nuevo diseño de mezcla solo para la experimentación en laboratorio, se podría perder la validez de los datos; ya que ese diseño nunca ha sido implementado a escala real y, al convertir los datos, podrían no ser los mismos que se obtuvieron a nivel de laboratorio, perjudicando el objetivo de la investigación.

4.1.3.1 Mezcla Referencia 1 (Ref-1)

Tabla 26

Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla referencia 1

Mezcla Referencia 1				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Ref-1/máx.	460	423,5	8,6	16,0
Ref-1/med.	450	416,6	8,0	11,0
Ref-1/mín.	440	404,5	8,8	13,5

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 27*Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla referencia 1*

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
Ref-1/máx.	269,5	462,0	424,5	8,8	2200
Ref-1/máx.	268,0	461,0	424,5	8,6	2194
Ref-1/med.	257,0	455,5	417,5	9,1	2098
Ref-1/med.	258,0	456,5	418,0	9,2	2101
Ref-1/mín.	251,5	449,5	409,5	9,8	2063
Ref-1/mín.	252,0	449,0	410,0	9,5	2076

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 28*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día*

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 1						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-1/máx.	1	460	50,5	50,4	101,8	101,5
Ref-1/máx.	2	460	50,5	50,0	103,6	103,5
Ref-1/máx.	3	460	50,6	50,2	102,1	101,6
Ref-1/med.	1	450	50,5	50,3	102,3	102,0
Ref-1/med.	2	450	50,4	50,0	101,9	101,9
Ref-1/med.	3	450	50,8	50,4	101,0	101,5
Ref-1/mín.	1	440	50,5	50,4	101,0	101,1
Ref-1/mín.	2	440	50,8	50,2	101,5	102,2
Ref-1/mín.	3	440	50,3	49,9	101,6	101,0

Nota. Elaboración propia, 2021.

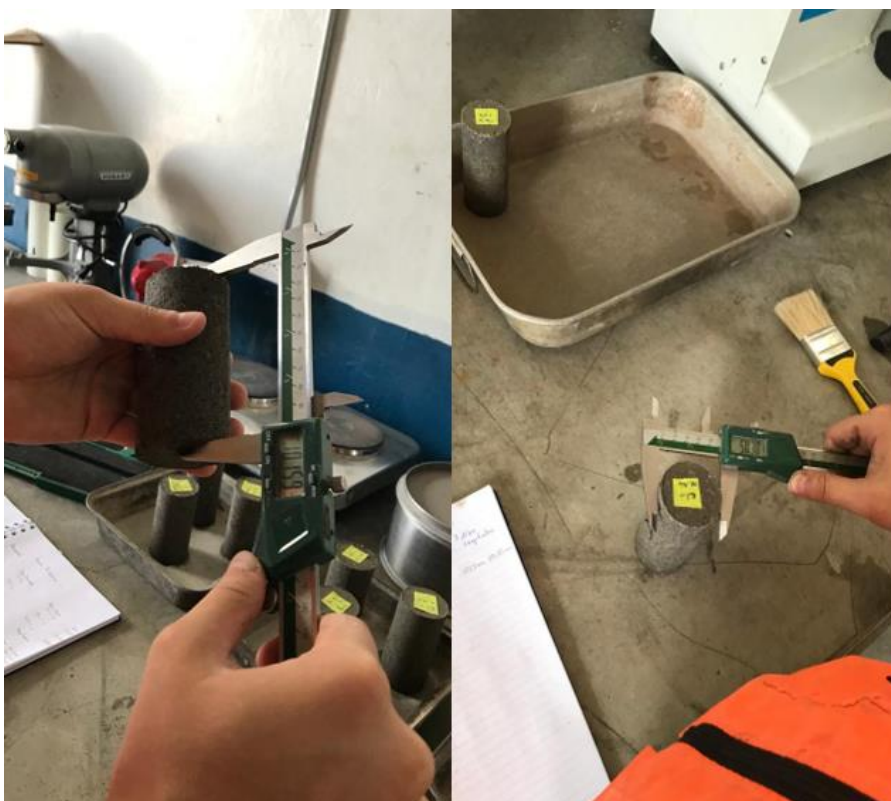
Con respecto a los resultados mostrados en la tabla 28, se debe mencionar que se le tomaron medidas a cada uno de los especímenes cilíndricos antes de cada falla, esto con el fin de poder determinar de manera más precisa las dimensiones reales de las probetas; debido a que el constante uso de los moldes puede variar un poco con respecto a los valores teóricos establecidos; por otra parte, la medición se realizó también con la finalidad de brindar un promedio de estos datos, para lo cual fue indispensable que las máquinas de falla utilizadas no se cambiaran constantemente para

las dimensiones de cada espécimen; por lo que se optó por calcular un promedio de diámetros y longitudes que es introducido a la máquina de falla y sobre el cual se fallan todos los cilindros correspondientes a ese aspecto.

Cada una de las mediciones debían ser lo más precisas posible por lo que, en este caso, se busca garantizar esa precisión a través del uso de un instrumento de medición milimétrica como lo es el vernier (Figura 27), instrumento que la empresa Productos de Concreto mantiene constantemente calibrado, con lo que se garantiza la validez de los datos aquí mostrados.

Figura 27

Medición de especímenes con vernier



Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 29
Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla referencia 1

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 1						
Edad: 1 día						
Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-1/máx.	1	50,5	101,7	1999,0	3,8	
Ref-1/máx.	2	50,2	103,6	1982,8	4,1	3,9
Ref-1/máx.	3	50,4	101,9	1995,4	3,9	
Ref-1/med.	1	50,4	102,1	1991,1	4,1	
Ref-1/med.	2	50,2	101,9	1978,8	2,9	3,5
Ref-1/med.	3	50,6	101,3	2008,9	2,5*	
Ref-1/mín.	1	50,4	101,0	1995,0	3,2	
Ref-1/mín.	2	50,5	101,9	2001,8	2,5*	3,2
Ref-1/mín.	3	50,1	101,3	1972,5	3,2	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Los datos presentados en la tabla 29 corresponden a los promedios de los diámetros y longitudes ya calculados, así como también se muestran las áreas correspondientes a cada uno de los especímenes, es importante mencionar que la última columna corresponde a los valores de resistencias de cada espécimen. Donde cabe mencionar que los valores de resistencia a la compresión fueron datos suministrados directamente por la máquina de falla, en la que solo se introdujeron los valores de diámetro y longitud ya promediados bajo los cuales funciona la máquina.

Tabla 30.
Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 1						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-1/máx.	1	460	50,4	50,7	101,8	101,9
Ref-1/máx.	2	460	50,7	50,3	101,6	101,3
Ref-1/máx.	3	460	50,9	50,2	101,4	101,3
Ref-1/med.	1	450	50,4	50,4	101,6	102,2
Ref-1/med.	2	450	50,5	50,2	101,3	101,9
Ref-1/med.	3	450	50,9	50,2	101,6	102,3
Ref-1/mín.	1	440	50,3	50,1	102,0	101,5
Ref-1/mín.	2	440	50,4	50,2	100,9	101,7
Ref-1/mín.	3	440	50,9	50,4	100,5	101,4

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 31
Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla referencia 1

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 1						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-1/máx.	1	50,5	101,8	2004,9	7,9	
Ref-1/máx.	2	50,5	101,4	2003,0	8,4	8,2
Ref-1/máx.	3	50,5	101,4	2004,9	7,1*	
Ref-1/med.	1	50,4	101,9	1993,1	7,1	
Ref-1/med.	2	50,3	101,6	1989,1	7,1	7,1
Ref-1/med.	3	50,5	102,0	2004,9	7,0	
Ref-1/mín.	1	50,2	101,7	1979,2	6,9	
Ref-1/mín.	2	50,3	101,3	1983,2	7,3	7,0
Ref-1/mín.	3	50,6	100,9	2012,9	6,7	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentra fuera del rango esperado.

Tabla 32.*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día*

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 1						
Edad: 28 días						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-1/máx.	1	460	50,7	50,3	100,8	101,5
Ref-1/máx.	2	460	50,4	50,2	101,6	100,9
Ref-1/máx.	3	460	50,2	50,2	101,7	101,9
Ref-1/med.	1	450	50,2	50,4	101,3	101,4
Ref-1/med.	2	450	50,5	50,7	101,2	101,2
Ref-1/med.	3	450	50,2	50,5	101,3	100,6
Ref-1/mín.	1	440	50,1	50,4	101,4	101,0
Ref-1/mín.	2	440	50,6	50,3	101,6	101,6
Ref-1/mín.	3	440	50,8	50,2	100,0	100,6

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 33*Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla referencia 1*

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 1						
Edad: 28 días						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-1/máx.	1	50,5	101,1	2001,0	11,5	
Ref-1/máx.	2	50,3	101,2	1983,2	11,2	11,2
Ref-1/máx.	3	50,2	101,8	1977,3	11,0	
Ref-1/med.	1	50,3	101,4	1985,2	10,7	
Ref-1/med.	2	50,6	101,2	2008,9	10,1	10,4
Ref-1/med.	3	50,3	101,0	1989,1	10,4	
Ref-1/mín.	1	50,3	101,2	1983,2	10,6	
Ref-1/mín.	2	50,4	101,6	1997,0	8,7*	9,8
Ref-1/mín.	3	50,5	100,3	2001,0	9,1	

Nota, Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentra fuera del rango esperado.

4.1.3.2 Mezcla Referencia 2 (Ref-2)

En esta sección, cabe resaltar que los resultados mostrados corresponden a los datos obtenidos de la mezcla que se obtuvo directamente de la mezcladora de la máquina productora de la Bloquera Ochomogo; por lo que se podrían apreciar resultados realmente consistentes y constantes en cuanto a valores de humedad, absorción y densidad. Esta situación se presenta debido al buen proceso de producción que se lleva a cabo en dicha Bloquera, basado en el diseño y la experiencia de los técnicos en planta, los cambios en humedades y dosificaciones se encuentran muy bien definidos.

Dichos resultados serán presentados en el mismo orden que se definió para la mezcla referencia 1 esto buscando que la persona lectora pueda comprender o correlacionar de manera más rápida y sencilla los resultados mostrados en cada sección.

Tabla 34

Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla referencia 2

Mezcla Referencia 2				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Ref-2/máx.	460	422,7	8,8	15,0
Ref-2/med.	450	413,6	8,8	13,0
Ref-2/mín.	440	404,4	8,8	11,5

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 35

Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla referencia 2

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
Ref-2/máx.	263,5	457,0	428,5	6,7	2209
Ref-2/máx.	265,0	458,0	428,5	6,9	2215
Ref-2/med.	251,0	449,0	419,5	7,0	2114
Ref-2/med.	252,0	451,0	419,0	7,6	2100
Ref-2/mín.	244,0	442,0	410,5	7,7	2068
Ref-2/mín.	245,0	444,0	410,5	8,2	2058

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 36*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día*

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 2						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-2/máx.	1	460	50,1	50,3	101,7	101,4
Ref-2/máx.	2	460	50,9	50,6	101,0	101,2
Ref-2/máx.	3	460	50,6	50,2	101,0	101,0
Ref-2/med.	1	450	50,2	50,3	101,4	101,2
Ref-2/med.	2	450	50,3	50,2	101,0	101,0
Ref-2/med.	3	450	50,5	50,0	101,1	100,7
Ref-2/mín.	1	440	50,5	50,2	100,2	100,6
Ref-2/mín.	2	440	50,4	50,5	100,8	100,7
Ref-2/mín.	3	440	50,4	50,1	100,9	100,7

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 37*Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla referencia 2*

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 2						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-2/máx.	1	50,2	101,6	1977,3	4,9	
Ref-2/máx.	2	50,7	101,1	2020,8	4,9	5,0
Ref-2/máx.	3	50,4	101,0	1993,1	5,1	
Ref-2/med.	1	50,2	101,3	1979,2	3,9	
Ref-2/med.	2	50,2	101,0	1979,2	4,1	4,1
Ref-2/med.	3	50,2	100,9	1981,2	4,4	
Ref-2/mín.	1	50,3	100,4	1987,1	2,9	
Ref-2/mín.	2	50,4	100,8	1995,0	3,0	2,9
Ref-2/mín.	3	50,2	100,8	1981,2	2,4*	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentra fuera del rango esperado.

Tabla 38.
Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 2						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-2/máx.	1	460	50,2	50,1	101,0	101,3
Ref-2/máx.	2	460	50,4	50,1	101,0	101,3
Ref-2/máx.	3	460	50,7	50,5	101,3	101,0
Ref-2/med.	1	450	50,4	50,5	100,3	100,6
Ref-2/med.	2	450	50,8	50,6	100,7	100,5
Ref-2/med.	3	450	50,6	50,1	100,7	100,9
Ref-2/mín.	1	440	50,8	50,2	100,6	100,6
Ref-2/mín.	2	440	50,5	50,0	100,6	100,8
Ref-2/mín.	3	440	50,5	50,2	100,3	100,7

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 39.
Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla referencia 2

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 2						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-2/máx.	1	50,1	101,1	1973,3	12,53*	
Ref-2/máx.	2	50,2	101,2	1981,2	10,17	10,1
Ref-2/máx.	3	50,6	101,2	2008,9	10,02	
Ref-2/med.	1	50,4	100,5	1997,0	8,16	
Ref-2/med.	2	50,7	100,6	2016,9	8,27	8,3
Ref-2/med.	3	50,3	100,8	1989,1	8,44	
Ref-2/mín.	1	50,5	100,6	1999,0	7,26	
Ref-2/mín.	2	50,3	100,7	1983,2	7,20	7,3
Ref-2/mín.	3	50,4	100,5	1991,1	7,39	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentra fuera del rango esperado.

Tabla 40
Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días

Dimensiones Cilindros Mezcla Referencia 2						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
Ref-2/máx.	1	460	50,2	50,0	101,4	101,5
Ref-2/máx.	2	460	50,4	50,6	101,1	101,2
Ref-2/máx.	3	460	50,2	50,6	101,9	101,7
Ref-2/med.	1	450	50,3	50,4	101,0	100,7
Ref-2/med.	2	450	50,5	50,0	100,9	101,0
Ref-2/med.	3	450	50,6	50,1	100,2	100,9
Ref-2/mín.	1	440	50,5	50,4	100,3	100,4
Ref-2/mín.	2	440	50,5	50,0	100,4	100,3
Ref-2/mín.	3	440	50,1	50,2	100,7	100,9

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 41
Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla referencia 2

Resistencia a la Compresión Mezcla Referencia 2						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
Ref-2/máx.	1	50,1	101,5	1971,4	11,69	
Ref-2/máx.	2	50,5	101,1	2003,0	12,28	12,0
Ref-2/máx.	3	50,4	101,8	1993,1	10,01*	
Ref-2/med.	1	50,3	100,8	1989,1	10,86	
Ref-2/med.	2	50,3	100,9	1983,2	10,69	10,8
Ref-2/med.	3	50,4	100,6	1991,1	8,29*	
Ref-2/mín.	1	50,5	100,3	1999,0	9,76	
Ref-2/mín.	2	50,2	100,4	1981,2	8,06*	8,9
Ref-2/mín.	3	50,2	100,8	1975,3	8,11	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentra fuera del rango esperado.

4.1.4 Primer variación de mezcla (AG60PO30AO10)

En la presente sección, se mostrarán únicamente los resultados de cada ensayo correspondiente a la primer variación de mezcla realizada en comparación con las mezclas referencias presentadas en las secciones anteriores. Para tal fin, se iniciará con la presentación de las proporciones de agregados y la matriz de ensayos utilizados para dicha variación; seguidamente, se mostrarán los resultados de humedad y cohesión de cada una de las masas a estudiar, se presentará la relación cemento: agregado utilizada en dicha mezcla, llegando a los valores de densidad seca y absorción de los especímenes; finalmente, se presentan los resultados correspondientes a las resistencias a la compresión que alcanzaron los especímenes a las edades preestablecidas.

Se resalta que cada una de las variaciones que se presentarán en este trabajo, incluyendo esta, se plantearon y definieron en coordinación con las personas profesionales encargadas de las dosificaciones de mezcla de la Bloquera Ochomogo, esto con el fin de asegurar que las variaciones planteadas fuesen objetivas, tuviesen congruencia y fuesen aplicables a escala real.

Tabla 42

Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG60PO30AO10

Proporción de Agregados		
Material	Fuente de Origen	Cantidad
Arena Industrial (AG)	Guápiles	60%
Polvo de Piedra (PO)	Ochomogo	30%
Arena Lavada (AO)	Ochomogo	10%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 43

Matriz de ensayos, mezcla AG60PO30AO10

Especímenes Cilíndricos a Evaluar en Estado Fresco y Endurecido							
Código	Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
		Máx.	Med.	Mín.	1 día	7 días	28 días
AG60PO30AO10/máx.	2	2	-	-	3	3	3
AG60PO30AO10/med.	2	-	2	-	3	3	3
AG60PO30AO10/mín.	2	-	-	2	3	3	3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 44.*Relación Cemento: Agregado*

Mezcla AG60PO30AO10	
Cemento: Agregado	C:F1:F2:G
1:15,4	1:9,54:1,38:4,49

Nota. Elaboración propia, 2021.

Donde:

- ❖ C: cemento, F1: agregado fino 1 (arena industrial), F2: agregado fino 2 (arena lavada), G: agregado grueso (polvo de piedra).

Tabla 45*Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG60PO30AO10*

Mezcla AG60PO30AO10				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
AG60PO30AO10/máx.	460	424,1	8,5	15,0
AG60PO30AO10/med.	450	414,8	8,5	10,0
AG60PO30AO10/mín.	440	406,6	8,2	13,0

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 46*Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG60PO30AO10*

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
AG60PO30AO10/máx.	261,0	455,0	428,0	6,3	2201
AG60PO30AO10/máx.	262,0	456,0	428,5	6,4	2203
AG60PO30AO10/med.	254,0	450,5	415,5	8,4	2109
AG60PO30AO10/med.	252,0	449,5	417,0	7,8	2106
AG60PO30AO10/mín.	245,0	445,0	410,0	8,5	2045
AG60PO30AO10/mín.	246,0	444,5	410,5	8,3	2063

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 47*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG60PO30AO10/máx.	1	460	50,4	50,5	101,7	101,6
AG60PO30AO10/máx.	2	460	50,5	50,1	101,8	101,8
AG60PO30AO10/máx.	3	460	50,8	50,4	101,3	101,1
AG60PO30AO10/med.	1	450	50,2	50,3	101,7	101,2
AG60PO30AO10/med.	2	450	50,3	50,0	102,6	101,6
AG60PO30AO10/med.	3	450	50,7	50,4	101,2	101,7
AG60PO30AO10/mín.	1	440	50,0	50,4	101,2	101,6
AG60PO30AO10/mín.	2	440	50,5	50,2	102,4	101,9
AG60PO30AO10/mín.	3	440	50,5	50,6	101,0	101,5

Nota: Elaboración propia, 2021.

Tabla 48*Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG60PO30AO10*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG60PO30AO10/máx.	1	50,4	101,6	1995,0	4,7	
AG60PO30AO10/máx.	2	50,3	101,8	1987,1	4,5	4,6
AG60PO30AO10/máx.	3	50,6	101,2	2008,9	4,6	
AG60PO30AO10/med.	1	50,3	101,4	1983,2	3,7	
AG60PO30AO10/med.	2	50,2	102,1	1976,5	4,6	4,2
AG60PO30AO10/med.	3	50,5	101,4	2004,9	3,4*	
AG60PO30AO10/mín.	1	50,2	101,4	1979,2	4,0	
AG60PO30AO10/mín.	2	50,4	102,1	1991,1	3,1*	4,0
AG60PO30AO10/mín.	3	50,6	101,3	2006,9	3,1*	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Tabla 49*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 7 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG60PO30AO10/máx.	1	460	50,0	50,4	101,4	101,6
AG60PO30AO10/máx.	2	460	50,3	50,3	101,1	101,5
AG60PO30AO10/máx.	3	460	50,8	50,1	101,6	101,9
AG60PO30AO10/med.	1	450	50,6	50,0	101,8	101,4
AG60PO30AO10/med.	2	450	50,5	50,4	101,9	102,0
AG60PO30AO10/med.	3	450	50,5	50,3	101,5	102,5
AG60PO30AO10/mín.	1	440	50,3	50,1	101,3	101,6
AG60PO30AO10/mín.	2	440	50,6	50,5	101,7	101,7
AG60PO30AO10/mín.	3	440	50,0	50,3	101,7	101,7

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 50*Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG60PO30AO10*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 7 días						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG60PO30AO10/máx.	1	50,2	101,5	1977,3	8,2	
AG60PO30AO10/máx.	2	50,3	101,3	1987,9	8,5	8,4
AG60PO30AO10/máx.	3	50,4	101,7	1997,0	7,8	
AG60PO30AO10/med.	1	50,3	101,6	1985,9	7,4	
AG60PO30AO10/med.	2	50,4	101,9	1997,0	8,7	8,1
AG60PO30AO10/med.	3	50,4	102,0	1993,1	6,4*	
AG60PO30AO10/mín.	1	50,2	101,4	1977,3	7,6	
AG60PO30AO10/mín.	2	50,5	101,7	2004,9	7,4	7,5
AG60PO30AO10/mín.	3	50,2	101,7	1975,7	6,7*	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Tabla 51
Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días

Dimensiones Cilindros Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diametros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG60PO30AO10/máx.	1	460	50,5	50,2	101,8	101,4
AG60PO30AO10/máx.	2	460	50,3	50,2	101,1	101,6
AG60PO30AO10/máx.	3	460	50,6	50,1	101,5	101,3
AG60PO30AO10/med.	1	450	50,7	50,0	101,4	101,7
AG60PO30AO10/med.	2	450	50,6	50,0	101,8	101,8
AG60PO30AO10/med.	3	450	50,8	50,5	101,9	102,1
AG60PO30AO10/mín.	1	440	50,2	50,3	101,7	101,4
AG60PO30AO10/mín.	2	440	50,4	50,1	101,1	101,2
AG60PO30AO10/mín.	3	440	50,8	50,6	101,1	101,0

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 52
Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG60PO30AO10

Resistencia a la Compresión Mezcla AG60PO30AO10						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG60PO30AO10/máx.	1	50,3	101,6	1987,1	11,0	
AG60PO30AO10/máx.	2	50,2	101,4	1980,0	11,9	11,5
AG60PO30AO10/máx.	3	50,4	101,4	1991,1	11,5	
AG60PO30AO10/med.	1	50,3	101,5	1990,7	10,8	
AG60PO30AO10/med.	2	50,3	101,8	1986,3	10,6	10,8
AG60PO30AO10/med.	3	50,7	102,0	2014,9	10,9	
AG60PO30AO10/mín.	1	50,2	101,5	1981,2	10,1	
AG60PO30AO10/mín.	2	50,2	101,1	1981,2	10,0	10,0
AG60PO30AO10/mín.	3	50,7	101,0	2018,9	9,9	

Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.5 Segunda variación de mezcla (AG55PO20AO25)

A continuación, se presentarán los resultados correspondientes a la segunda variación que se realizó con respecto a los proporciones de los agregados utilizados en las mezclas patrón; para esto se dará continuidad en el mismo orden en el que se presentaron los resultados de la sección anterior.

Tabla 53

Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG55PO20AO25

Proporción de Agregados		
Material	Fuente de Origen	Cantidad
Arena Industrial (AG)	Guápiles	55%
Polvo de Piedra (PO)	Ochomogo	20%
Arena Lavada (AO)	Ochomogo	25%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 54

Matriz de ensayos, mezcla AG55PO20AO25

Especímenes Cilíndricos a Evaluar en Estado Fresco y Endurecido							
Código	Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
		Máx.	Med.	Mín.	1 día	7 días	28 días
AG55PO20AO25/máx.	2	2	-	-	3	3	3
AG55PO20AO25/med.	2	-	2	-	3	3	3
AG55PO20AO25/mín.	2	-	-	2	3	3	3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 55

Relación Cemento: Agregado

Mezcla AG55PO20AO25	
Cemento: Agregado	C:F1:F2:G
1:15,2	1:8,75:3,45:2,99

Nota. Elaboración propia, 2021.

Donde:

C: cemento, F1: agregado fino 1 (arena industrial), F2: agregado fino 2 (arena lavada), G: agregado grueso (polvo de piedra).

Tabla 56*Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG55PO20AO25*

Mezcla AG55PO20AO25				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
AG55PO20AO25/máx.	460	422,8	8,8	15,0
AG55PO20AO25/med.	450	414,4	8,6	13,0
AG55PO20AO25/mín.	440	405,8	8,4	11,5

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 57*Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG55PO20AO25*

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
AG55PO20AO25/máx.	266,0	458,0	423,0	8,3	2198
AG55PO20AO25/máx.	269,5	456,5	421,0	8,4	2246
AG55PO20AO25/med.	254,0	452,0	414,5	9,0	2088
AG55PO20AO25/med.	252,5	452,0	414,5	9,0	2073
AG55PO20AO25/mín.	247,5	445,0	405,0	9,9	2046
AG55PO20AO25/mín.	248,0	445,5	405,5	9,9	2048

Nota. Elaboración propia.

Tabla 58
Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día

Dimensiones Cilindros Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 1 día						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG55PO20AO25/máx.	1	460	50,7	50,2	101,5	101,2
AG55PO20AO25/máx.	2	460	50,3	50,5	101,7	101,8
AG55PO20AO25/máx.	3	460	50,3	50,2	101,6	101,4
AG55PO20AO25/med.	1	450	50,3	50,5	101,7	101,6
AG55PO20AO25/med.	2	450	50,3	50,2	101,8	101,9
AG55PO20AO25/med.	3	450	50,4	50,0	101,5	101,0
AG55PO20AO25/mín.	1	440	50,4	50,1	101,4	101,3
AG55PO20AO25/mín.	2	440	50,4	50,3	101,5	101,2
AG55PO20AO25/mín.	3	440	50,7	50,0	101,6	101,7

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 59
Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG55PO20AO25

Resistencia a la Compresión Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 1 día						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG55PO20AO25/máx.	1	50,5	101,3	1999,0	5,7	
AG55PO20AO25/máx.	2	50,4	101,8	1995,0	5,4	5,4
AG55PO20AO25/máx.	3	50,2	101,5	1979,2	5,1	
AG55PO20AO25/med.	1	50,4	101,7	1993,1	3,8	
AG55PO20AO25/med.	2	50,3	101,8	1983,2	4,0	3,9
AG55PO20AO25/med.	3	50,2	101,2	1979,2	3,8	
AG55PO20AO25/mín.	1	50,3	101,4	1983,2	3,7	
AG55PO20AO25/mín.	2	50,4	101,3	1991,1	3,9	3,6
AG55PO20AO25/mín.	3	50,4	101,6	1991,1	3,3	

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 60*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG55PO20AO25/máx.	1	460	50,1	50,4	101,7	101,8
AG55PO20AO25/máx.	2	460	50,3	50,2	101,9	101,8
AG55PO20AO25/máx.	3	460	50,7	50,4	101,7	101,6
AG55PO20AO25/med.	1	450	50,7	50,3	101,5	101,2
AG55PO20AO25/med.	2	450	50,1	50,2	101,2	101,6
AG55PO20AO25/med.	3	450	50,7	50,1	101,2	101,0
AG55PO20AO25/mín.	1	440	50,3	50,3	101,3	100,5
AG55PO20AO25/mín.	2	440	50,0	50,1	101,1	100,8
AG55PO20AO25/mín.	3	440	50,4	50,2	101,4	100,9

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 61*Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG55PO20AO25*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 7 días						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG55PO20AO25/máx.	1	50,3	101,7	1983,2	10,0	
AG55PO20AO25/máx.	2	50,2	101,8	1981,2	8,8	9,1
AG55PO20AO25/máx.	3	50,5	101,7	2003,0	8,4	
AG55PO20AO25/med.	1	50,5	101,4	2003,0	7,0	
AG55PO20AO25/med.	2	50,1	101,4	1971,4	7,2	7,2
AG55PO20AO25/med.	3	50,4	101,1	1995,0	7,3	
AG55PO20AO25/mín.	1	50,3	100,9	1985,2	7,0	
AG55PO20AO25/mín.	2	50,0	101,0	1965,5	7,3	7,2
AG55PO20AO25/mín.	3	50,3	101,2	1987,1	6,2*	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no serán considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Tabla 62*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 28 días						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG55PO20AO25/máx.	1	460	50,3	50,0	101,6	101,2
AG55PO20AO25/máx.	2	460	50,5	50,6	101,1	101,3
AG55PO20AO25/máx.	3	460	50,0	50,2	101,2	101,0
AG55PO20AO25/med.	1	450	50,1	50,2	101,6	101,6
AG55PO20AO25/med.	2	450	50,6	50,1	101,2	101,3
AG55PO20AO25/med.	3	450	50,2	50,2	100,8	101,6
AG55PO20AO25/mín.	1	440	50,2	50,1	101,1	101,0
AG55PO20AO25/mín.	2	440	50,0	50,2	101,7	101,5
AG55PO20AO25/mín.	3	440	50,4	50,4	101,2	101,1

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 63*Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG55PO20AO25*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG55PO20AO25						
Edad: 28 días						
Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG55PO20AO25/máx.	1	50,2	101,4	1975,3	13,83	
AG55PO20AO25/máx.	2	50,5	101,2	2003,0	13,79	13,7
AG55PO20AO25/máx.	3	50,1	101,1	1969,4	13,58	
AG55PO20AO25/med.	1	50,1	101,6	1973,3	12,15	
AG55PO20AO25/med.	2	50,4	101,3	1991,1	9,93*	12,1
AG55PO20AO25/med.	3	50,2	101,2	1979,2	12,03	
AG55PO20AO25/mín.	1	50,1	101,0	1973,3	10,82	
AG55PO20AO25/mín.	2	50,1	101,6	1971,4	11,44	11,1
AG55PO20AO25/mín.	3	50,4	101,1	1993,1	10,94	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no serán considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

4.1.6 Tercer variación de mezcla (AG20PO50AO30)

Seguidamente, se presentan los resultados correspondientes a la tercer variación de mezcla que se efectuó, dichos resultados se presentan bajo el mismo orden en el que se han presentado las secciones anteriores.

Tabla 64

Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG20PO50AO30

Proporción de Agregados		
Material	Fuente de Origen	Cantidad
Arena Industrial (AG)	Guápiles	20%
Polvo de Piedra (PO)	Ochomogo	50%
Arena Lavada (AO)	Ochomogo	30%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 65

Matriz de ensayos, mezcla AG20PO50AO30

Especímenes Cilíndricos a Evaluar en Estado Fresco y Endurecido							
Código	Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
		Máx.	Med.	Mín.	1 día	7 días	28 días
AG20PO50AO30/máx.	2	2	-	-	3	3	3
AG20PO50AO30/med.	2	-	2	-	3	3	3
AG20PO50AO30/mín.	2	-	-	2	3	3	3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 66

Relación Cemento: Agregado

Mezcla AG20PO50AO30	
Cemento: Agregado	C:F1:F2:G
1:14,8	1:3,18:4,14:7,48

Nota. Elaboración propia, 2021.

Donde:

- ❖ C: cemento, F1: agregado fino 1 (arena industrial), F2: agregado fino 2 (arena lavada), G: agregado grueso (polvo de piedra).

Tabla 67*Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG20PO50AO30*

Mezcla AG20PO50AO30				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
AG20PO50AO30/máx.	460	422,6	8,8	13,5
AG20PO50AO30/med.	450	413,2	8,9	12,0
AG20PO50AO30/mín.	440	404,3	8,8	10,0

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 68*Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG20PO50AO30*

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
AG20PO50AO30/máx.	263,5	452,0	419,0	7,9	2217
AG20PO50AO30/máx.	262,0	453,0	420,0	7,9	2194
AG20PO50AO30/med.	254,0	444,5	413,0	7,6	2163
AG20PO50AO30/med.	246,0	448,0	411,5	8,9	2032
AG20PO50AO30/mín.	245,0	441,0	400,0	10,3	2036
AG20PO50AO30/mín.	244,5	441,0	400,5	10,1	2033

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 69*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 1 día						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG20PO50AO30/máx.	1	460	50,5	50,2	101,7	101,2
AG20PO50AO30/máx.	2	460	50,5	50,6	101,8	101,6
AG20PO50AO30/máx.	3	460	50,2	50,3	101,5	101,3
AG20PO50AO30/med.	1	450	50,6	50,4	101,8	101,5
AG20PO50AO30/med.	2	450	50,3	50,5	101,4	101,1
AG20PO50AO30/med.	3	450	50,4	50,1	101,0	101,3
AG20PO50AO30/mín.	1	440	50,7	50,6	101,7	101,2
AG20PO50AO30/mín.	2	440	50,0	50,2	100,8	101,3
AG20PO50AO30/mín.	3	440	50,3	50,0	101,2	101,3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 70.*Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG20PO50AO30*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 1 día						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG20PO50AO30/máx.	1	50,4	101,5	1991,1	5,1	
AG20PO50AO30/máx.	2	50,5	101,7	2004,9	3,9*	4,7
AG20PO50AO30/máx.	3	50,2	101,4	1981,2	4,3	
AG20PO50AO30/med.	1	50,5	101,7	2003,0	3,9*	
AG20PO50AO30/med.	2	50,4	101,2	1993,1	4,5	4,5
AG20PO50AO30/med.	3	50,2	101,2	1981,2	4,6	
AG20PO50AO30/mín.	1	50,6	101,5	2012,9	4,0	
AG20PO50AO30/mín.	2	50,1	101,0	1971,0	4,8	4,4
AG20PO50AO30/mín.	3	50,1	101,3	1973,3	3,3*	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Tabla 71*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 7 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG20PO50AO30/máx.	1	460	50,4	50,2	101,6	101,8
AG20PO50AO30/máx.	2	460	50,8	50,6	101,5	101,9
AG20PO50AO30/máx.	3	460	50,4	50,4	101,9	101,5
AG20PO50AO30/med.	1	450	50,6	50,0	101,8	101,8
AG20PO50AO30/med.	2	450	50,3	50,0	100,9	101,7
AG20PO50AO30/med.	3	450	50,6	50,3	101,6	101,1
AG20PO50AO30/mín.	1	440	50,5	50,2	101,3	101,5
AG20PO50AO30/mín.	2	440	50,0	50,2	101,5	101,2
AG20PO50AO30/mín.	3	440	50,7	50,0	100,8	101,1

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 72.*Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG20PO50AO30*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 7 días						
Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG20PO50AO30/máx.	1	50,3	101,7	1987,1	6,8*	
AG20PO50AO30/máx.	2	50,7	101,7	2016,9	6,8*	7,7
AG20PO50AO30/máx.	3	50,4	101,7	1993,1	7,7	
AG20PO50AO30/med.	1	50,3	101,8	1985,2	7,0	
AG20PO50AO30/med.	2	50,2	101,3	1975,3	7,2	7,0
AG20PO50AO30/med.	3	50,5	101,3	1999,0	6,9	
AG20PO50AO30/mín.	1	50,3	101,4	1989,1	6,8	
AG20PO50AO30/mín.	2	50,1	101,3	1971,4	6,7	6,7
AG20PO50AO30/mín.	3	50,4	100,9	1991,1	6,0*	

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

Tabla 73*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG20PO50AO30/máx.	1	460	50,9	50,5	101,3	101,6
AG20PO50AO30/máx.	2	460	50,6	50,0	101,6	102,2
AG20PO50AO30/máx.	3	460	50,6	50,0	101,7	101,8
AG20PO50AO30/med.	1	450	50,1	50,2	101,4	101,2
AG20PO50AO30/med.	2	450	50,2	50,7	101,4	101,8
AG20PO50AO30/med.	3	450	50,3	50,2	101,6	101,4
AG20PO50AO30/mín.	1	440	50,4	50,1	101,4	101,7
AG20PO50AO30/mín.	2	440	50,6	50,3	101,5	101,4
AG20PO50AO30/mín.	3	440	50,7	50,1	101,3	101,0

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 74*Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG20PO50AO30*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG20PO50AO30						
Edad: 28 días						
Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG20PO50AO30/máx.	1	50,7	101,5	2016,9	11,3	
AG20PO50AO30/máx.	2	50,3	101,9	1987,1	11,1	11,2
AG20PO50AO30/máx.	3	50,3	101,7	1987,1	11,2	
AG20PO50AO30/med.	1	50,1	101,3	1973,3	10,1	
AG20PO50AO30/med.	2	50,5	101,6	1999,0	10,7	10,5
AG20PO50AO30/med.	3	50,3	101,5	1983,2	10,6	
AG20PO50AO30/mín.	1	50,2	101,6	1981,2	9,3	
AG20PO50AO30/mín.	2	50,5	101,4	1999,0	8,5*	9,4
AG20PO50AO30/mín.	3	50,4	101,1	1993,1	9,5	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

4.1.7 Cuarta variación de mezcla (AG10PO45AO45)

Finalmente, se presenta la última variación de mezcla a estudiar, lo que concluye con los resultados correspondientes a la variaciones de agregados a analizar, la misma se presentará en el orden preestablecido.

Tabla 75*Proporción de agregados en porcentaje utilizado en la mezcla AG10PO45AO45*

Proporción de Agregados		
Material	Fuente de Origen	Cantidad
Arena Industrial (AG)	Guápiles	10%
Polvo de Piedra (PO)	Ochomogo	45%
Arena Lavada (AO)	Ochomogo	45%

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 76*Matriz de ensayos, mezcla AG10PO45AO45*

Especímenes Cilíndricos a Evaluar en Estado Fresco y Endurecido							
Código	Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
		Máx.	Med.	Mín.	1 día	7 días	28 días
AG10PO45AO45/máx.	2	2	-	-	3	3	3
AG10PO45AO45/med.	2	-	2	-	3	3	3
AG10PO45AO45/mín.	2	-	-	2	3	3	3

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 77*Relación Cemento: Agregado*

Mezcla AG10PO45AO45	
Cemento: Agregado	C:F1:F2:G
1:14,5	1:1,59:6,21:6,73

Nota. Elaboración propia, 2021.

Donde:

- ❖ C: cemento, F1: agregado fino 1 (arena industrial), F2: agregado fino 2 (arena lavada), G: agregado grueso (polvo de piedra).

Tabla 78*Humedad y cohesión de los especímenes cilíndricos de la mezcla AG20PO50AO30*

Mezcla AG10PO45AO45				
Código	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
AG10PO45AO45/máx.	460	423,4	8,6	13,0
AG10PO45AO45/med.	450	414,6	8,5	12,0
AG10PO45AO45/mín.	440	406,3	8,3	10,5

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 79.

Densidad y absorción de los especímenes cilíndricos a 28 días, mezcla AG10PO45AO45

Código	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Peso Seco al Horno (g)	Absorción (%)	Densidad (Kg/m ³)
AG10PO45AO45/máx.	266,0	450,5	411,0	9,6	2222
AG10PO45AO45/máx.	266,0	454,0	412,0	10,2	2186
AG10PO45AO45/med.	257,0	449,0	407,0	10,3	2115
AG10PO45AO45/med.	254,0	450,5	406,5	10,8	2064
AG10PO45AO45/mín.	250,0	444,5	398,0	11,7	2041
AG10PO45AO45/mín.	251,5	447,0	399,0	12,0	2036

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 80.

Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 1 día

Dimensiones Cilindros Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 1 día						
Código	Especímen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG10PO45AO45/máx.	1	460	50,8	50,2	101,3	101,5
AG10PO45AO45/máx.	2	460	50,5	50,2	101,2	101,4
AG10PO45AO45/máx.	3	460	50,6	50,5	101,7	101,2
AG10PO45AO45/med.	1	450	50,6	50,0	101,7	101,4
AG10PO45AO45/med.	2	450	50,6	50,4	101,8	101,8
AG10PO45AO45/med.	3	450	50,3	50,0	101,0	101,4
AG10PO45AO45/mín.	1	440	50,7	50,3	101,0	101,1
AG10PO45AO45/mín.	2	440	50,4	50,0	101,1	101,3
AG10PO45AO45/mín.	3	440	50,5	50,2	101,6	101,6

Nota. Elaboración propia, 2021. Los datos marcados con un * no serán considerados para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado

Tabla 81*Resistencia a la compresión a 1 día, mezcla AG10PO45AO45*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 1 día						
Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG10PO45AO45/máx.	1	50,5	101,4	2003,0	4,4	
AG10PO45AO45/máx.	2	50,3	101,3	1987,1	4,4	4,2
AG10PO45AO45/máx.	3	50,5	101,5	2004,9	4,0	
AG10PO45AO45/med.	1	50,3	101,6	1985,2	4,3	
AG10PO45AO45/med.	2	50,5	101,8	2003,0	3,9	4,0
AG10PO45AO45/med.	3	50,2	101,2	1975,3	3,9	
AG10PO45AO45/mín.	1	50,5	101,0	2001,0	3,0	
AG10PO45AO45/mín.	2	50,2	101,2	1979,2	3,6	3,3
AG10PO45AO45/mín.	3	50,4	101,6	1991,1	2,7*	

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 82*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 7 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 7 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG10PO45AO45/máx.	1	460	50,5	50,4	101,5	101,7
AG10PO45AO45/máx.	2	460	50,6	50,4	101,0	101,6
AG10PO45AO45/máx.	3	460	50,8	50,5	101,6	101,1
AG10PO45AO45/med.	1	450	50,4	50,0	101,4	101,7
AG10PO45AO45/med.	2	450	50,6	50,1	101,3	101,0
AG10PO45AO45/med.	3	450	50,2	50,3	101,2	101,4
AG10PO45AO45/mín.	1	440	50,5	50,5	101,1	101,2
AG10PO45AO45/mín.	2	440	50,1	50,2	101,2	101,7
AG10PO45AO45/mín.	3	440	50,5	50,3	100,7	101,2

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 83*Resistencia a la compresión a 7 días, mezcla AG10PO45AO45*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 7 días						
Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG10PO45AO45/máx.	1	50,5	101,6	1999,0	8,0	
AG10PO45AO45/máx.	2	50,5	101,3	2003,0	7,9	7,9
AG10PO45AO45/máx.	3	50,6	101,4	2010,9	7,7	
AG10PO45AO45/med.	1	50,2	101,5	1979,2	7,4	
AG10PO45AO45/med.	2	50,4	101,1	1991,1	7,4	7,5
AG10PO45AO45/med.	3	50,2	101,3	1981,2	7,6	
AG10PO45AO45/mín.	1	50,5	101,2	2001,0	6,3	
AG10PO45AO45/mín.	2	50,1	101,4	1971,4	6,2	6,4
AG10PO45AO45/mín.	3	50,4	100,9	1993,1	6,6	

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 84*Dimensiones de los especímenes cilíndricos a 28 días*

Dimensiones Cilindros Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 28 días						
Código	Especimen	Masa (g)	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
			Inferior	Superior		
AG10PO45AO45/máx.	1	460	50,3	50,1	101,8	101,0
AG10PO45AO45/máx.	2	460	50,6	50,1	101,7	101,4
AG10PO45AO45/máx.	3	460	50,4	50,0	101,1	101,5
AG10PO45AO45/med.	1	450	50,7	50,2	101,1	101,0
AG10PO45AO45/med.	2	450	50,7	50,6	101,1	101,4
AG10PO45AO45/med.	3	450	50,2	50,1	101,5	101,7
AG10PO45AO45/mín.	1	440	50,9	50,5	100,4	100,9
AG10PO45AO45/mín.	2	440	50,7	50,3	101,5	101,2
AG10PO45AO45/mín.	3	440	50,1	50,1	101,2	101,4

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 85*Resistencia a la compresión a 28 días, mezcla AG10PO45AO45*

Resistencia a la Compresión Mezcla AG10PO45AO45						
Edad: 28 días						
Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión Promedio (MPa)
AG10PO45AO45/máx.	1	50,2	101,4	1977,3	13,3	
AG10PO45AO45/máx.	2	50,4	101,5	1991,1	13,1	13,2
AG10PO45AO45/máx.	3	50,2	101,3	1979,2	13,1	
AG10PO45AO45/med.	1	50,4	101,0	1997,0	11,9	
AG10PO45AO45/med.	2	50,6	101,3	2012,9	11,6	11,7
AG10PO45AO45/med.	3	50,2	101,6	1975,3	11,7	
AG10PO45AO45/mín.	1	50,7	100,6	2014,9	9,5*	
AG10PO45AO45/mín.	2	50,5	101,4	2003,0	10,2	10,8
AG10PO45AO45/mín.	3	50,1	101,3	1969,4	11,4	

Nota. Elaboración propia, 2021. El dato marcado con un * no será considerado para análisis posteriores, esto debido a que se encuentran fuera del rango esperado.

4.1.8 Apariencia y textura de los especímenes cilíndricos

En la presente sección se busca resaltar dos aspectos importantes de las variaciones de mezcla alcanzadas en la presente investigación, como lo son la textura y el acabado visual o apariencia; a pesar de que estos no eran parámetros regulados por la normativa vigente sí son aspectos que, al aplicar variantes en el diseño de mezcla actual, se debían tomar en consideración por temas de calidad en el producto final.

4.1.8.1 Mezclas referencia.

Estas son mezclas que, al presentar el mismo diseño de mezcla que se utiliza en planta, se caracterizan por presentar una muy buena uniformidad entre sus agregados, en donde se puede decir que su apariencia muestra una porosidad bastante definida y uniforme en todo el elemento, lo que asegura una textura rugosa agradable, tal y como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 28

Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas referencia



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.8.2 Mezcla AG60PO30AO10. Al experimentar un aumento de un 15% en la proporción del agregado grueso, esta mezcla se caracterizó por presentar una mayor porosidad con algunas presencias notables de partículas grandes, generando que su apariencia careciera de una mejor uniformidad y, por ende, es una mezcla cuya rugosidad es un poco más gruesa.

Figura 29

Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG60PO30AO10



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.8.3 Mezcla AG55PO20AO25. Es una mezcla con un mejor balance en la proporciones de los agregados, en donde se nota una porosidad bastante regular y uniforme en el espécimen, muy parecida a la apariencia de las mezclas referencia; a pesar de sus variables, presenta una textura bastante adecuada en donde no se notan cambios bruscos o gran presencia de partículas gruesas.

Figura 30

Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG55PO20AO25



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.8.4 Mezcla AG20PO50AO30. Esta mezcla se caracterizó por presentar una apariencia más porosa, producto del aumento que se le dio al agregado grueso, es una mezcla que se caracterizó por presentar bastantes irregularidades en su apariencia; en la mayoría de las ocasiones, producto de partículas grandes que generaban cavidades las cuales afectaban la textura de los especímenes. Tendió a ser una mezcla más tosca, afectando directamente el acabado final del elemento.

Figura 31

Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG20PO50AO30



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.8.5 Mezcla AG10PO45AO45. Esta última mezcla, al experimentar una igualdad, e inclusive, una ligera mayoría del agregado fino sobre el grueso, se caracterizó por ser una de las mezclas cuya porosidad era un poco menor a las demás y su uniformidad si resultó ser de las mejores debido a que se logró una mejor pasta que aseguró una muy adecuada adherencia entre partículas, en donde cabe resaltar que se logró una textura con una rugosidad más lisa a nivel de especímenes; por lo que es recomendable evaluar este parámetro a escala real.

Figura 32

Apariencia de especímenes cilíndricos, mezclas AG10PO45AO45



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.1.9 Calibración de la máquina productora de bloques

Finalmente, una vez que se han obtenido todos los resultados de los especímenes cilíndricos, se procede a realizar la calibración de la máquina productora de bloques para cada una de las mezclas en estudio, dicha calibración se logra a través de la implementación de ecuaciones matemáticas según la metodología internacional propuesta por Frasson Jr.; sin embargo, al ser esta una metodología desarrollada y planteada para distintos trazos de mezclas y máquinas productoras diferentes, la calibración se debe adaptar y definir a través de un proceso iterativo con los resultados finales de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos.

Por tanto, además de los resultados finales obtenidos de los especímenes cilíndricos, se requiere aplicar una serie de fallas a la compresión a escala real de bloques de mampostería elaborados con la máquina a calibrar, pueda fin de obtener un valor promedio a las edades preestablecidas (1 día, 7 días y 28 días) con el cual, de manera iterativa, se identifica el factor de calibración que mejor se ajusta a dicha máquina.

Tabla 86*Falla a escala real de bloques a 1 día*

Falla de Bloques Mezcla Referencia 2					
Edad: 1 día					
Código	Fecha de Moldeo	Fecha de Falla	Tipo de Bloque	Tipo de Prueba	Resistencia Compresión (MPa)
Método de Cura: Frasson Jr.					
B1/Ref-2	8/7/2021	9/7/2021	12x20x40	Compresión	4,6
B2/Ref-2	8/7/2021	9/7/2021	12x20x40	Compresión	5,3
B3/Ref-2	8/7/2021	9/7/2021	12x20x40	Compresión	5,4
B4/Ref-2	8/7/2021	9/7/2021	12x20x40	Compresión	5,2
B5/Ref-2	8/7/2021	9/7/2021	12x20x40	Compresión	5,7

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 87*Falla a escala real de bloques a 7 días.*

Falla de Bloques Mezcla Referencia 2					
Edad: 7 días					
Código	Fecha de Moldeo	Fecha de Falla	Tipo de Bloque	Tipo de Prueba	Resistencia Compresión (MPa)
Método de Cura: Frasson Jr.					
B1/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	9,7
B2/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	8,4
B3/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	8,6
B4/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	8,9
B5/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	9,5
Método de Cura: Bloquera Ochomogo					
B1/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	12,1
B2/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	11,0
B3/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	11,2
B4/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	10,8
B5/Ref-2	8/7/2021	15/7/2021	12x20x40	Compresión	11,1

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 88.*Falla a escala real de bloques a 28 días.*

Falla de Bloques Mezcla Referencia 2					
Edad: 28 días					
Código	Fecha de Moldeo	Fecha de Falla	Tipo de Bloque	Tipo de Prueba	Resistencia Compresión (MPa)
Método de Cura: Frasson Jr.					
B1/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	13,2
B2/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	11,0
B3/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	10,7
B4/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	9,7
B5/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	10,0
Método de Cura: Bloquera Ochomogo					
B1/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	16,2
B2/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	14,9
B3/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	12,8
B4/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	13,0
B5/Ref-2	8/7/2021	5/8/2021	12x20x40	Compresión	12,1

Nota. Elaboración propia, 2021.

Con los resultados de las fallas a escala real mostrados, se procedió a calcular, a través de las ecuaciones 7 y 8 de la presente investigación [haciendo uso del valor promedio de las resistencias mostradas (F_{bk})], cuál era el valor promedio de resistencia a la compresión que debían tener los especímenes cilíndricos para asegurar dichas resistencias. Con ayuda de una gráfica de densidad seca vs resistencia a la compresión que se presentará en la sección 4.2 (figura 44), a través de un proceso iterativo, es que se logra igualar la mezcla referencia con el valor de comparación obtenido de los bloques que produce la máquina de la Bloquera Ochomogo, para el cual se tiene que su factor de calibración corresponde a 0.78; se demuestra en las siguientes tablas.

Tabla 89*Estimación de la resistencia promedio a la compresión de bloques*

Estudio de Bloques de la Mezcla Referencia 1			
f _c promedio de los bloques			
Edad (días)	F _{bk} (MPa)	CV	F _{bm} (MPa)
1	5,2	0,1	6,2
7	9,0	0,1	10,8
28	13,0	0,1	15,6

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 90*Datos para determinar el coeficiente variación*

Determinación del Coeficiente de Variación (%)	
1. Bueno	5
2. Regular	15
3. Bueno	5
4. Regular	15
Promedio (%) =	10

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 91*Estimación de la resistencia promedio a la compresión de especímenes cilíndricos a partir de la resistencia promedio de bloques*

f _c promedio de los especímenes 5 cm x 10 cm			
Edad (días)	F _{bm} (MPa)	Factor de Calibración	f _s (MPa)
1	6,2	0,78	4,9
7	10,8	0,78	8,4
28	15,6	0,78	12,1

Nota. Elaboración propia, 2021.

Tabla 92

Resistencias a la compresión de bloques (F_{bm}), utilizando un factor de calibración de 0,78

Mezcla Referencia 1 Edad: 1 día			Mezcla Referencia 1 Edad: 7 días			Mezcla Referencia 1 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2197	3,9	5,0	2197	8,2	10,5	2197	11,2	14,4
2099	3,5	4,5	2099	7,1	9,1	2099	10,4	13,3
2070	3,2	4,1	2070	7,0	9,0	2070	9,8	12,6
Mezcla AG60PO30AO10 Edad: 1 día			Mezcla AG60PO30AO10 Edad: 7 días			Mezcla AG60PO30AO10 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2202	4,6	5,9	2202	8,2	10,5	2202	11,5	14,7
2108	4,2	5,4	2108	8,1	10,4	2108	10,8	13,8
2054	4,0	5,1	2054	7,5	9,6	2054	10,0	12,8
Mezcla AG55PO20AO25 Edad: 1 día			Mezcla A55PO20AO25 Edad: 7 días			Mezcla A55PO20AO25 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2222	5,4	6,9	2222	9,1	11,7	2222	13,7	17,6
2081	3,9	5,0	2081	7,2	9,2	2081	12,1	15,5
2047	3,6	4,6	2047	7,2	9,2	2047	11,1	14,2
Mezcla AG20PO50AO30 Edad: 1 día			Mezcla A20PO50AO30 Edad: 7 días			Mezcla A20PO50AO30 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2206	4,7	6,0	2206	7,7	9,9	2206	11,2	14,4
2098	4,5	5,8	2098	7,0	9,0	2098	10,5	13,5
2035	4,4	5,6	2035	6,7	8,6	2035	9,4	12,1
Mezcla AG10PO45AO45 Edad: 1 día			Mezcla A10PO45AO45 Edad: 7 días			Mezcla A10PO45AO45 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2204	4,2	5,4	2204	7,9	10,1	2204	13,2	16,9
2089	4,0	5,1	2089	7,5	9,6	2089	11,7	15,0
2039	3,3	4,2	2039	6,4	8,2	2039	10,8	13,8
Mezcla Ref-2 Edad: 1 día			Mezcla Ref-2 Edad: 7 días			Mezcla Ref-2 Edad: 28 días		
Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	f_s (MPa)	F_{bm} (MPa)
2212	5,0	6,4	2212	10,1	12,9	2212	12,0	15,4
2107	4,1	5,3	2107	8,3	10,6	2107	10,8	13,8
2063	2,9	3,7	2063	7,3	9,4	2063	8,9	11,4

Nota. Elaboración propia, 2021.

4.2 Análisis de resultados

Una vez que se ha concluido con la sección 4.1, se analiza de manera cuidadosa y detallada cada uno de los resultados presentados. A través del uso de gráficas, se explica de manera más sencilla y eficaz el comportamiento de los resultados en estudio; donde es importante destacar que los resultados se analizarán en conjunto, es decir, serán comparadas y estudiadas desde las mezclas referencia hasta las cuatro variaciones realizadas, en una determinada gráfica que permite una mejor comprensión y visualización; sin embargo, los resultados también serán presentados por tipo de densidad en determinadas secciones: densidad máxima, media y mínima.

El presente análisis busca presentarse de la manera más ordenada y cronológica posible, de forma que la persona lectora logre involucrarse de manera rápida y sea capaz de explicarse la relación o el porqué de los primeros resultados con los últimos; para esto, se pretende iniciar analizando los porcentajes de humedad y cohesión en cada una de las masas y para cada una de mezclas; posteriormente, serán estudiadas las densidades secas y los porcentajes de absorción de cada una de la mezclas, dando paso al examen más importante en la investigación como lo son las resistencias finales de los especímenes cilíndricos y los bloques; en primera instancia, se tiene una comparación del incremento de resistencia según su edad, por tanto se mostrarán unas curvas de desarrollo de resistencia de los especímenes que buscan crear una mayor compresión de los resultados; por último, se analizará la comparación de la resistencia versus la densidad seca de cada mezcla.

Finalmente se presentarán una serie de graficas a través de las cuales se demuestra la calibración de la máquina productora de bloques y el análisis de los resultados de resistencia de los bloques a la compresión de las mezclas estudiadas versus los bloques que se producen actualmente en la Bloquera Ochomogo, logrando así determinar y definir la mezcla que mejores resultados brinda. Finalmente, se lleva a cabo una comparación relativa de costos en busca de definir si se logró una optimización económica en el proceso de producción.

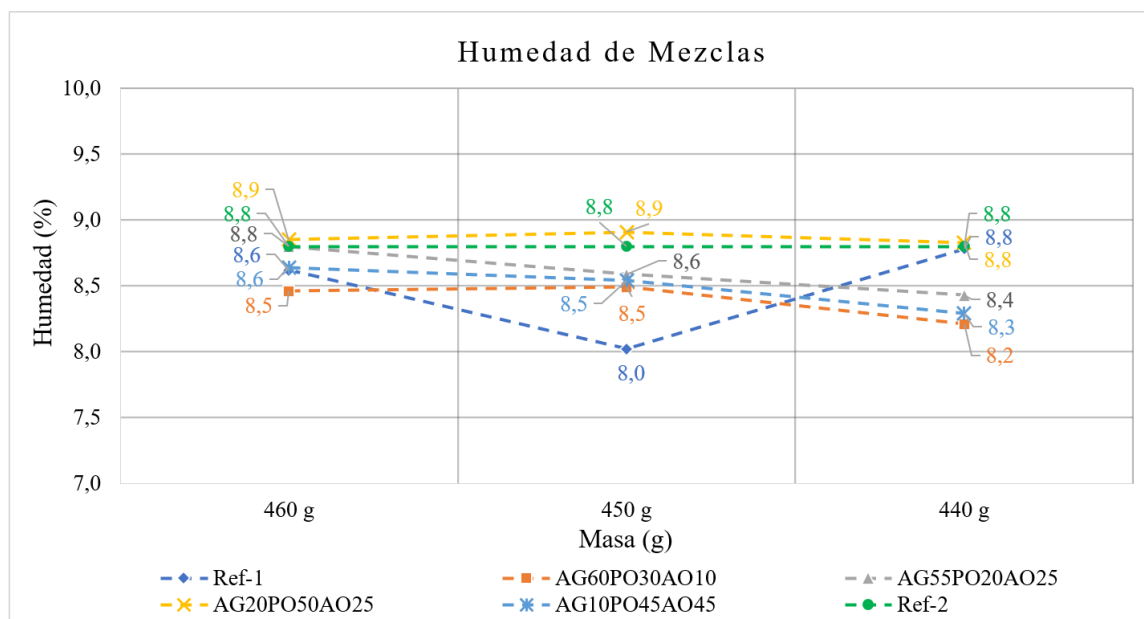
4.2.1 *Humedad de las mezclas*

Una vez que se tienen definidos cada uno de los agregados y las proporciones o el diseño de mezclas a implementar, se inicia con la elaboración de cada una de las mezclas a estudiar, las cuales se elaboran según el orden y el tipo de mezcla que se tiene preestablecido (Tabla 13). Cada vez que se inicia el proceso de moldeo de especímenes, se debía determinar cuál es el porcentaje

de humedad de cada una de las masas, esto debido a que, como ya se ha mencionado en capítulos y secciones anteriores, cada mezcla es evaluada en tres tipos de masas (máxima, media, baja), las cuales se moldearon por aparte; es decir, para moldear la masa máxima se preparaba una cantidad de mezcla, para la masa media se preparaba otra cantidad de mezcla con igual diseño de mixtura, y así sucesivamente. Esto debía realizarse de esta manera debido a que era poca la cantidad de moldes tri-panel, además, el proceso de desmoldar y volver a moldear toma un poco de tiempo por lo que, si se utilizase la misma mezcla, está ya habría perdido mucha humedad y posiblemente el concreto ya habría entrado en su etapa de curado, lo que hubiera perjudicado las resistencias finales a la compresión de los especímenes.

Figura 33

Porcentajes de humedad de la mezclas



Nota. Elaboración propia, 2021.

El proceso para determinar la cantidad de agua que se le debía agregar a la mezcla es un tanto complejo de definir a exactitud; en un inicio, se parte de la relación agua/cemento con la que se realiza el diseño de mezcla; en este caso, se tiene una relación agua/cemento constante de 0.60; una vez que se tenía elaborada la mezcla con esta relación, con ayuda de los técnicos de laboratorio y basado en los consejos de estos, se optó por definir una cantidad de agua que aseguraría una humedad adecuada para las mezclas, para esto se empleó una técnica de campo la cual consiste en presionar la mezcla con la mano y observar su compactación, definiendo así una humedad óptima y con una adecuada trabajabilidad.

Es importante destacar que la humedad utilizada en mezclas secas para la producción de bloques de concreto en la Bloquera Ochomogo, así como para los agregados en estudio, se encuentra en un rango de entre 8.0% y 9.0%.

Dicho lo anterior y a partir de la figura 33, se puede apreciar como las diferentes mezclas se encuentran dentro del rango mencionado; sin embargo, al observar los porcentajes de humedad de la mezcla referencia 2 (tomada directamente de la máquina productora) y compararlos con los demás, es perceptible el cómo se presentan ciertas diferencias en los porcentajes de humedad de las demás mezclas en donde es importante destacar que esto es un aspecto común debido al factor humano, de manera que es poco más difícil poder determinar y mantener con exactitud la humedad de la mezcla a nivel laboratorio, ya que se tienen muchos factores que pueden intervenir como la trabajabilidad, la compactación que se tiene en el momento, la humedad que puedan tener las charolas, a su vez, el carretillo donde se elaboran las mezclas son variables que, de una u otra manera, influyen y no se logra una precisión tan alta como la de máquina productora de bloques.

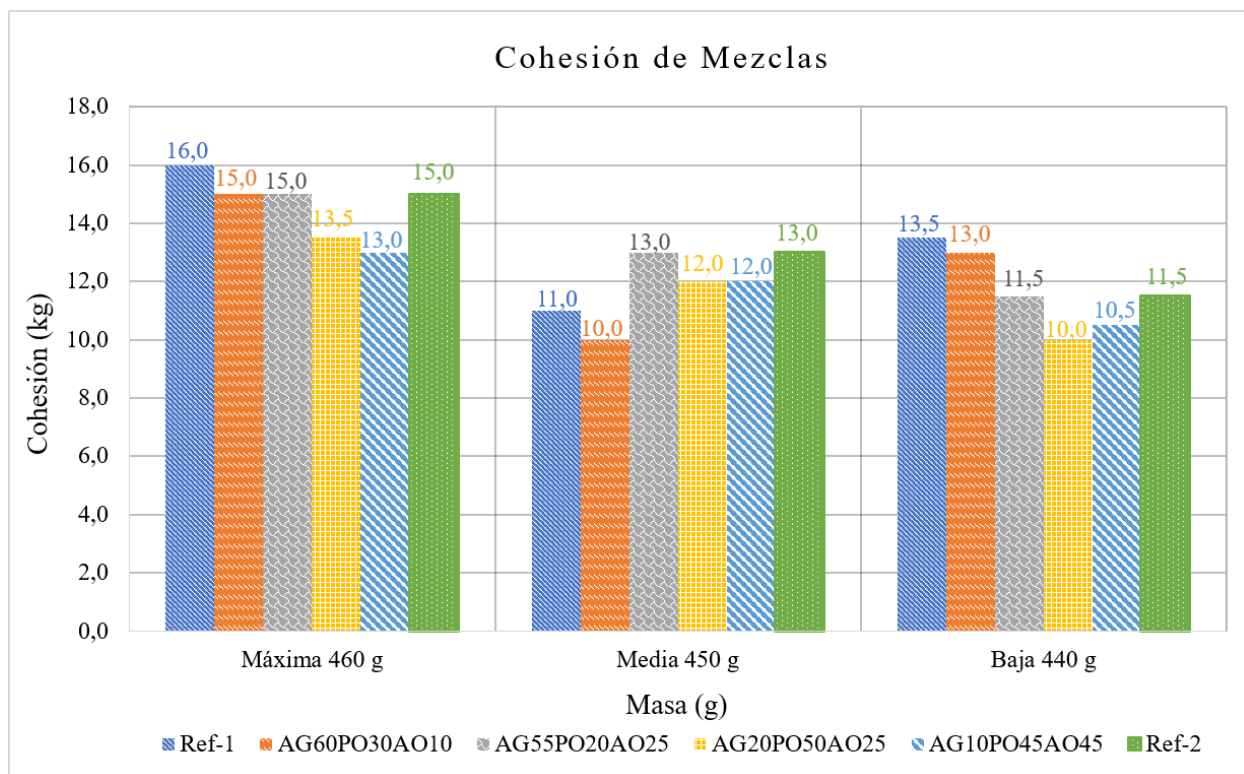
No obstante, las diferentes humedades obtenidas no se encuentran fueran del rango de humedad establecido para para la producción de bloques, por lo que es un aspecto o una variable que podría mejorarse pero que no influyó de manera considerable en el resultado final de los especímenes cilíndricos a analizar.

4.2.2 Cohesión de las mezclas

Ya que se ha definido la humedad adecuada para determinada mezcla y se ha iniciado con el moldeo de los especímenes, el siguiente paso fue poder determinar la cohesión de cada una de las tres masas de la mezcla, siendo este uno de los aspectos más importantes a evaluar en las mezclas secas utilizadas en la fabricación de bloques, debido a que la cohesividad entre los agregados debe ser la más adecuada, al ser estos elementos desmoldados inmediatamente.

La cohesión en las mezclas es una propiedad que se encuentra directamente relacionada con la humedad de la mezcla y el empaquetamiento de partículas de esta; por ejemplo, un espécimen cuya masa es máxima y su humedad es óptima tenderá a presentar una mejor cohesión que un espécimen cuya masa es media o mínima, esto debido a que el empaquetamiento de partículas es mejor en un espécimen cuya masa es máxima y, por ende, su cohesión aumentará. Sin embargo, un cambio en el porcentaje de humedad de la mezcla podría también influir la cohesión final del espécimen.

Figura 34
Cohesión de Mezclas



Nota. Elaboración propia, 2021.

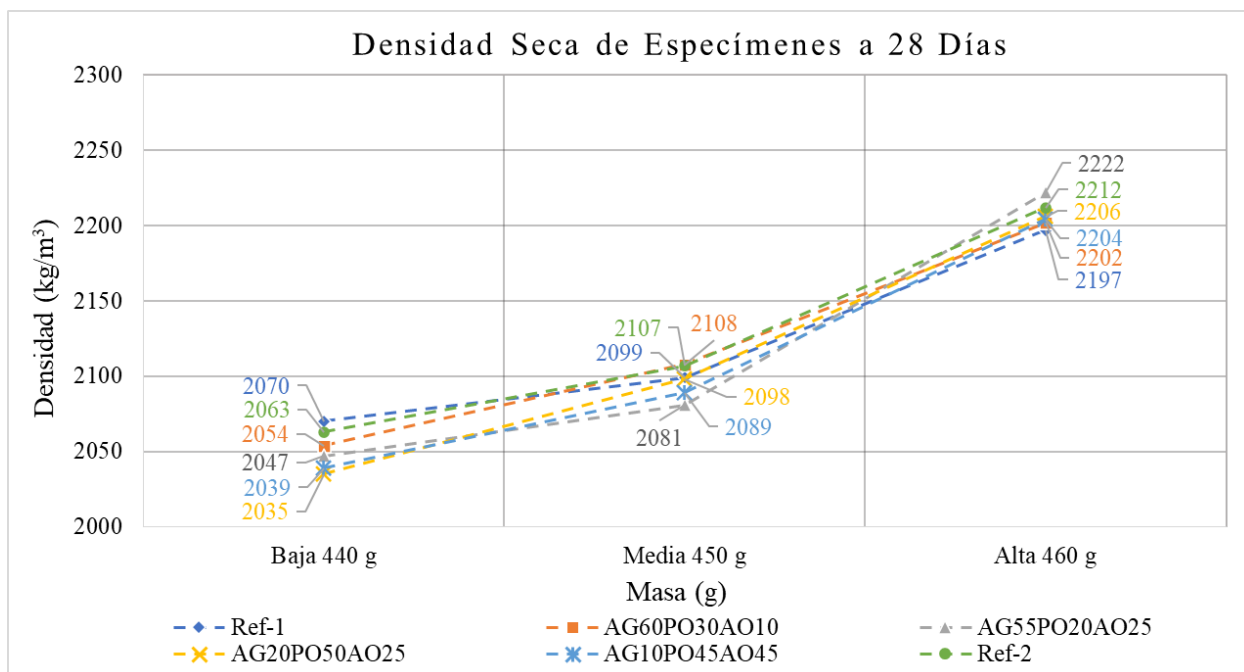
Observando la figura 34 y con base en los límites mínimos de cohesión que deberían presentar los especímenes cilíndricos según el método propuesto por Frasson Jr., en el cual se establece un espécimen debería soportar como mínimo entre 5.0 kg y 8 kg para que tenga una adecuada cohesión, se puede decir que las mezclas analizadas en la presente investigación presentaron una muy buena cohesividad entre sus agregados, lo que asegura que, bajo estos diseños de mezcla, los bloques pueden ser movilizados en estado fresco sin ningún riesgo de desmoronarse.

Por otra parte, en esta misma figura se puede apreciar cómo se justifica claramente la relación directa que tiene la cohesión con la humedad y el empaquetamiento de partículas; siendo más específicos, se puede apreciar que la mayoría de las gráficas tiene un comportamiento descendente en función de la masa empleada; mientras que dos de ellas presentan un comportamiento diferente que se relaciona con la figura 33, lo cual demuestra la influencia de la humedad de la mezcla en resultado final de la cohesión.

4.2.3 Densidad seca de especímenes a 28 días

Según el planteamiento establecido para la presente investigación, únicamente se les estimará la densidad seca a los especímenes cilíndricos a una edad de curado de 28 días. Estos serán analizados posteriormente en una gráfica lineal que ilustra el comportamiento que tienen las diferentes mezclas en función de las densidades obtenidas según el tipo de masa alta, media o baja. De manera que se puedan comparar todos los valores con respecto a la densidad de las mezclas referencia y determinar cómo influye la variación de los agregados de la mezcla en la densidad final.

Figura 35
Densidad seca de especímenes cilíndricos



Nota. Elaboración propia, 2021.

La figura 35 demuestra el comportamiento de las densidades para cada uno de los tipos de mezcla por analizar. En la misma es apreciable como se presentaba un comportamiento ascendente de las densidades según el tipo de masa empleado, lo cual refleja un comportamiento que es predecible o esperado: cuanto más o menos masa tenga un espécimen, mayor o menor será su densidad; por otra parte, se puede apreciar la influencia que tiene el variar en menor o mayor cantidad las proporciones de los agregados en la densidad de la mezcla.

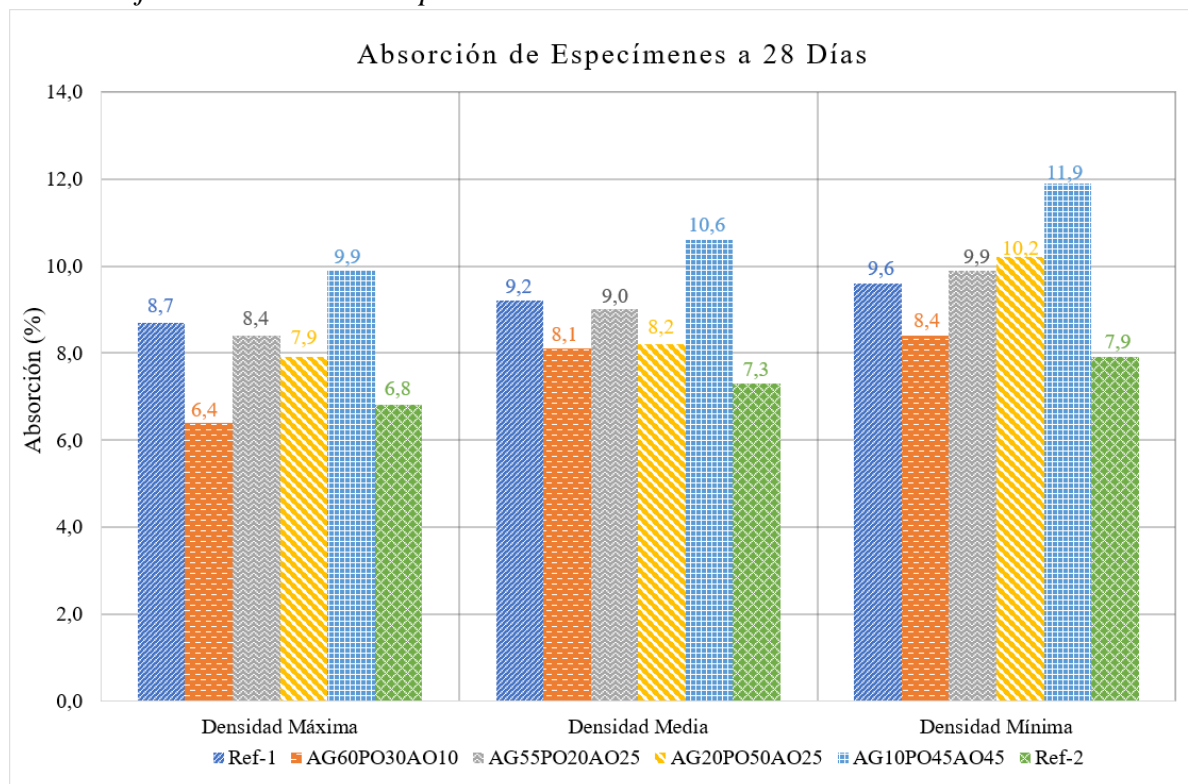
4.2.4 Absorción de especímenes

Tal y como lo establece la normativa nacional INTE C90, uno de los parámetros a evaluar en los bloques de mampostería y, por ende, en los especímenes cilíndricos, fue la absorción. Según la matriz de ensayos preestablecida para cada mezcla, se determinaron dos especímenes por masa para el cálculo de densidad seca y absorción, a partir de la similitud de las pruebas; por lo que se analizaron y compararon cada uno de los porcentajes de absorción de las diferentes mezclas estudiadas a través del gráfico de la figura 36, con respecto a los porcentajes de las mezclas referencia; a la vez, cada mezcla será presentada en sus tres densidades (máxima, media y mínima) a fin de apreciar como varían los porcentajes de absorción en función de estas.

Determinar el porcentaje de absorción de un espécimen y un bloque es exactamente igual, el mismo consistió en someter al elemento, en este caso al espécimen, a inmersión en agua a una temperatura de aproximadamente 23°C hasta alcanzar la saturación de este para, posteriormente, determinar su peso saturado superficie seca y, por último, su peso seco al horno, se resaltó que dichos resultados fueron calculados a especímenes cuya edad de cura es de 28 días.

Figura 36

Porcentajes de absorción de especímenes cilíndricos



Nota. Elaboración propia, 2021.

Se puede apreciar en la gráfica anterior un comportamiento muy particular en cuanto a los porcentajes de absorción en relación con las densidades, es perceptible que, para cada una de las mezclas, la tendencial de la absorción era a aumentar de un valor menor en la densidad máxima a un valor mayor en la densidad mínima; dicho comportamiento se debió a la diferencia que existió en el proceso de vibrocompactación entre una densidad y otra; o sea, la absorción tendió a aumentar según el tipo de masa porque, al someter a vibrocompactación un espécimen cuya masa máxima es de 460 g, se logró una compactación o un empaquetamiento de partículas mucho mayor que el someter un espécimen con 10 g o 20 g menos de masa, provocando que la relación de vacíos del espécimen fuera menor y, por ende, su absorción disminuiría en relación con los otros, cuya relación de vacíos es mayor.

De esta figura 36 se puede distinguir que para un solo tipo de densidad ya fuera máxima, media o mínima, existía una variación del porcentaje de absorción entre las mezclas, la cual se encontraba relacionada directamente con las proporciones y características propias de los agregados utilizados para cada mezcla en consideración; se puede observar como la última variación de mezcla AG10PO45AO45 mostró los porcentajes de absorción más elevados, lo que permitió sustentar adecuadamente la influencia que tuvieron las propiedades y características de los agregados utilizados ya que, si se toma como pilar en los resultados presentados en la sección 4.1.1 de la presente investigación, se puede ver como la arena lavada presentó un alto porcentaje de absorción; por lo que es anómalo pensar que la mezcla que tiene mayor porcentaje de este agregado brinde los porcentajes de absorción más elevados.

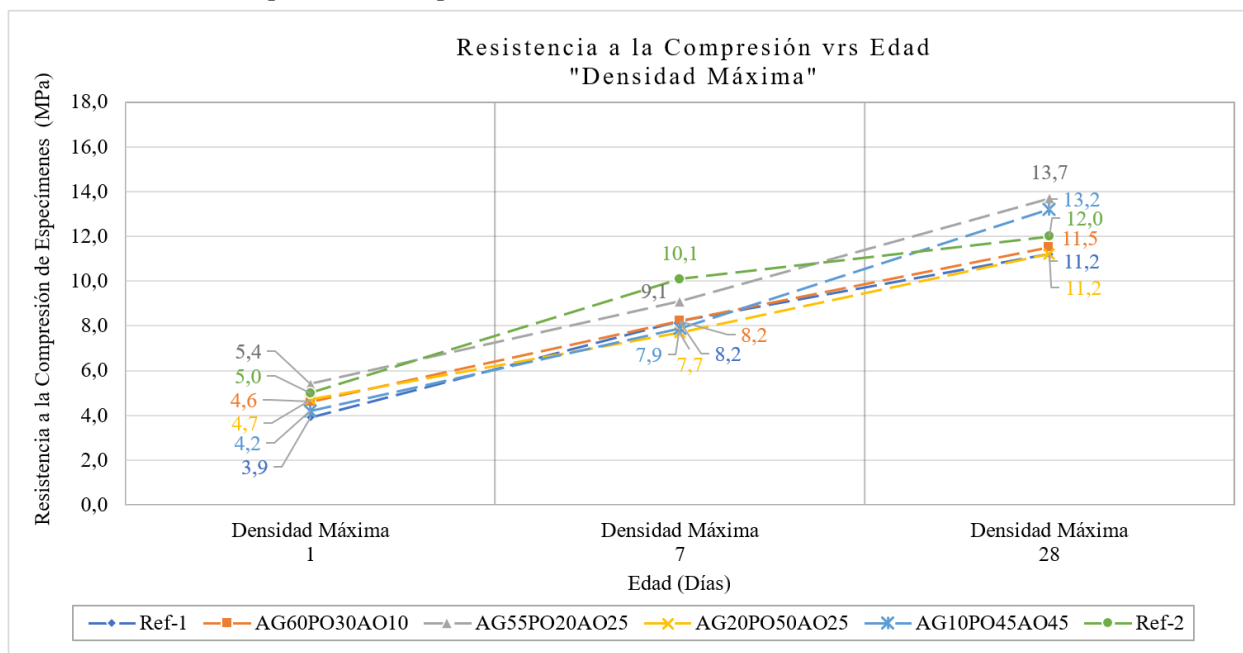
4.2.5 Resistencia a la compresión de especímenes

Uno de los parámetros más importantes a evaluar en el presente trabajo de investigación era determinar y evaluar el comportamiento de la resistencia final a la compresión que presentarían los especímenes cilíndricos a las diferentes edades de cura preestablecidas; se pretendía observar la influencia producto de las variaciones de mezcla realizadas; así como se buscaba apreciar el comportamiento de las resistencias en función de los tipos de densidad en estudio (máxima, media y mínima).

Dada esta situación es que en la presente sección se exteriorizarán un total de tres gráficos presentados según el tipo de densidad, cuyo formato es lineal de manera que se pueda hacer una comparación equitativa entre los resultados mostrados, todo el análisis se realizó siempre en comparación con las mezclas referencia, con el objetivo de definir entre las variaciones realizadas una o más mezclas con mejor comportamiento; posteriormente, se analizaron en la siguiente sección los mismos resultados en una curva de desarrollo de resistencia, con la cual se pretendió lograr una mejor comprensión del comportamiento progresivo que tuvo la resistencia final a la compresión en relación con la edad de cura.

Figura 37

Resistencia a la compresión de especímenes, densidad máxima



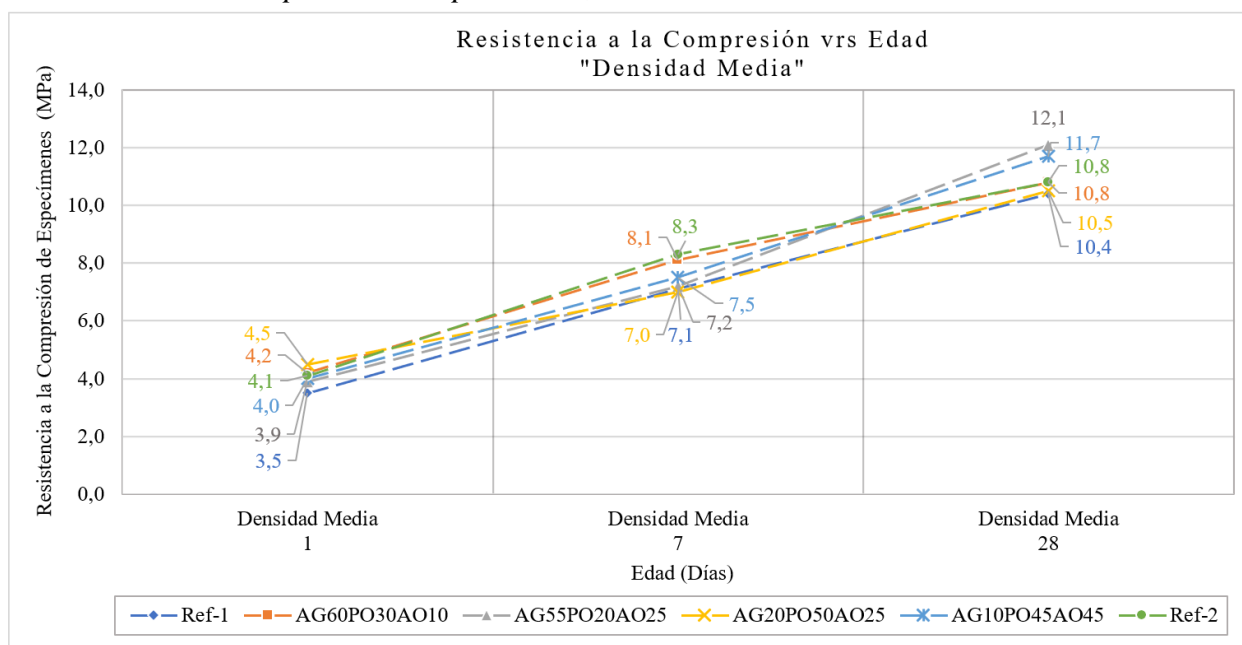
Nota. Elaboración propia, 2021.

La figura 37 permitió apreciar mejora en la resistencia final a la compresión de los especímenes con respecto a la cantidad de días que llevaban sometidos al proceso de cura en la caja de espuma de poliestireno, es destacable cómo la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación presentaron valores satisfactorios y optimistas para el presente trabajo de investigación, dado que superaron los resultados de la mezcla referencia 1 y se encontraron dentro del rango esperado de resistencia a los 28 días; no obstante, también es apreciable el cómo la mezcla referencia 2 superó los valores de casi todas las variaciones replicadas en laboratorio a una edad de cura de 7 días, aspecto que se puede justificar debido al factor humano,

ya que (como se mencionó en secciones anteriores), a nivel de laboratorio, se tornó un poco más difícil el asegurar una precisión tan alta y automatizada como la que brinda la máquina productora; al observar el comportamiento de la mezcla a los 28 días, se puede concluir que dicha variación se debió a este factor humano, debido a que se logró apreciar durante la toma de la mezcla del mixer en campo que había mucho calor producto del tipo y tiempo de mezclado que se le da a las mezclas; de manera que se concluyó que estos aspectos son factores que podrían estar influyendo en las resistencias a edades tempranas y que quizá son aspectos que, a nivel de laboratorio, no se presentaron por ser formas y tiempos de mezclado bastante diferentes.

Figura 38

Resistencia a la compresión de especímenes, densidad media



Nota. Elaboración propia, 2021.

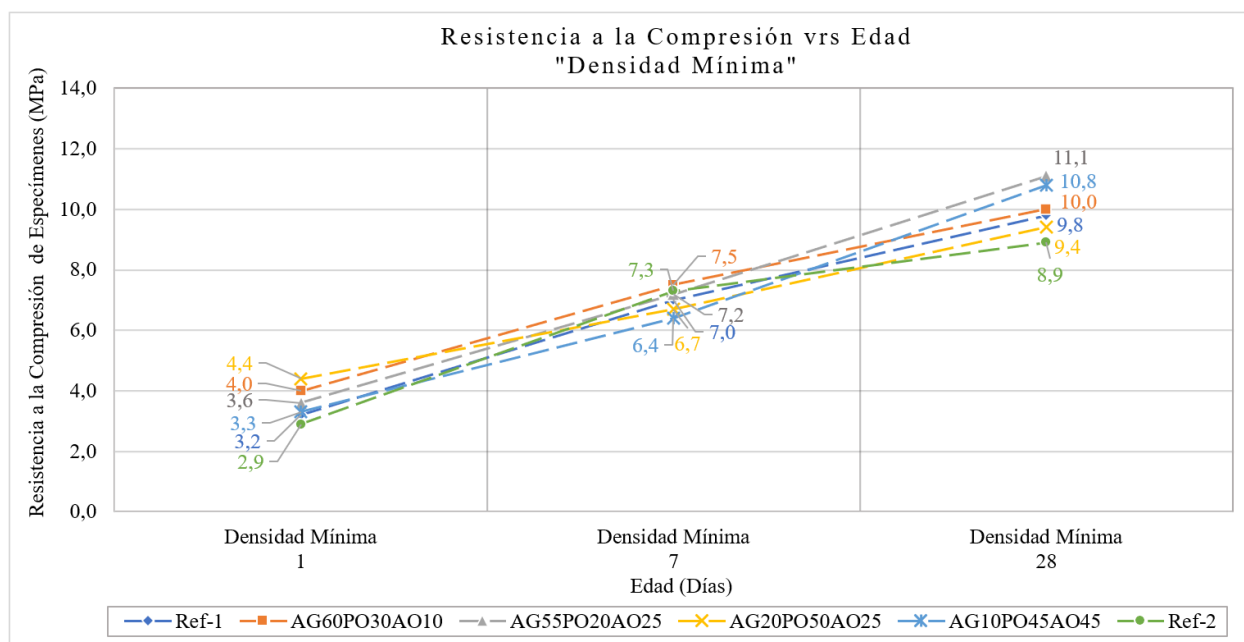
En esta figura 38, se puede observar como la tendencia a aumentar de la resistencia a la compresión final en función de los días de curado se mantiene así, también se resalta que la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación se continúan presentando como valores destacables y optimistas.

Por otra parte, es notable la influencia de la densidad en los valores finales de resistencia a la compresión, ya que los datos presentados en esta figura 38 se encuentran por debajo de los mostrados en la figura 37, debido a que se requiere de menos vibrocompactación en los especímenes al tener una menor densidad, motivo por el cual el empaquetamiento de partículas es

menor, lo que genera que, al someter dichos elementos a compresión, la tendencia de estos a resistir dichos esfuerzos sea menor. Finalmente, es importante resaltar como la vibrocompactación y la cantidad de masa adecuada son parámetros sumamente importantes en la industria de la producción de bloques, como se evidencia, un cambio de estos repercutirá considerablemente en la resistencia final de los bloques.

Figura 39

Resistencia a la compresión de especímenes, densidad mínima



Nota. Elaboración propia, 2021.

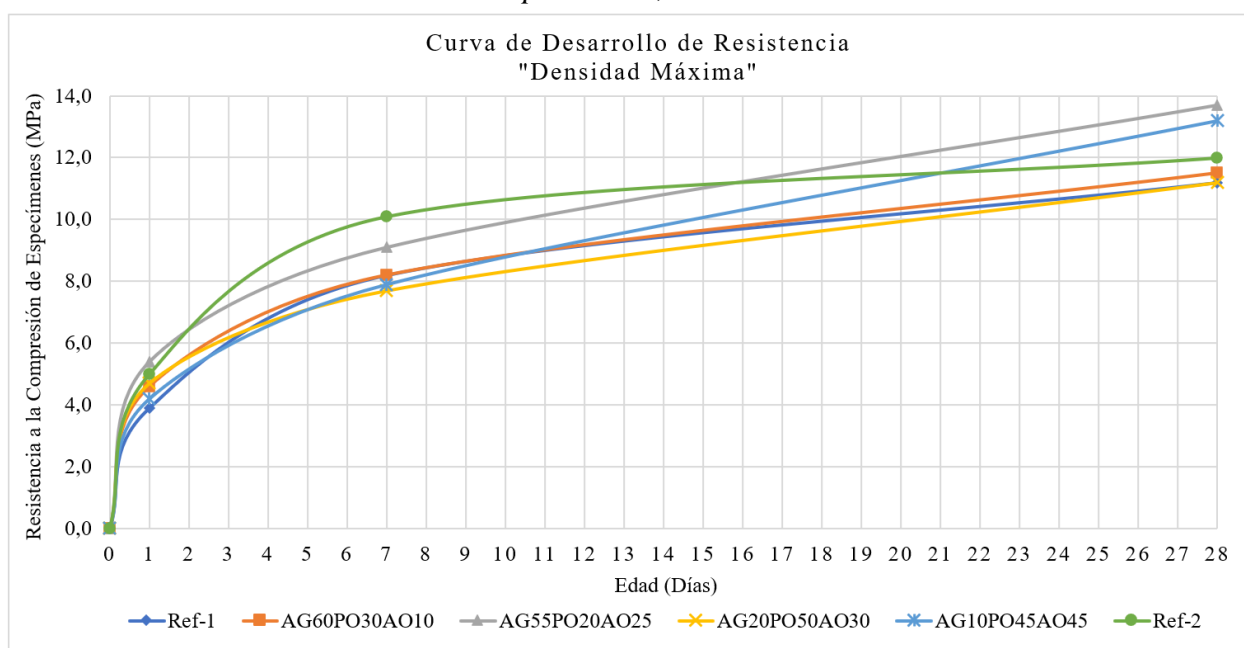
La figura 39 muestra un comportamiento de la ganancia de resistencias no muy distinto a lo que han presentado las figuras anteriores en donde la tendencia fue a aumentar, con respecto al tiempo de cura, es apreciable como las resistencias nuevamente se ven afectadas por la densidad y la vibrocompactación que reciben los especímenes, siendo estas las más afectadas por dichos factores en relación con las anteriores.

4.2.6 Curvas de desarrollo de resistencia de los especímenes

Prosiguiendo con el análisis de resultados en la presente sección, se busca detallar y ampliar lo expuesto en la sección 4.2.5, a través del análisis de curvas de desarrollo de resistencia de cada una de las mezclas a evaluar, las mismas serán presentadas según el tipo de densidad con la finalidad de comparar de manera más sencilla y objetiva el comportamiento de cada mezcla en función del tiempo y del tipo de variación realizada a estas; todas las variaciones se compararon y evaluaron con respecto a las mezclas referencia, en busca de observar cómo crece o decrece su resistencia y así determinar una o dos mezclas óptimas que puedan presentarse como alternativas para una producción a escala real más eficiente.

Figura 40

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad máxima



Nota. Elaboración propia, 2021.

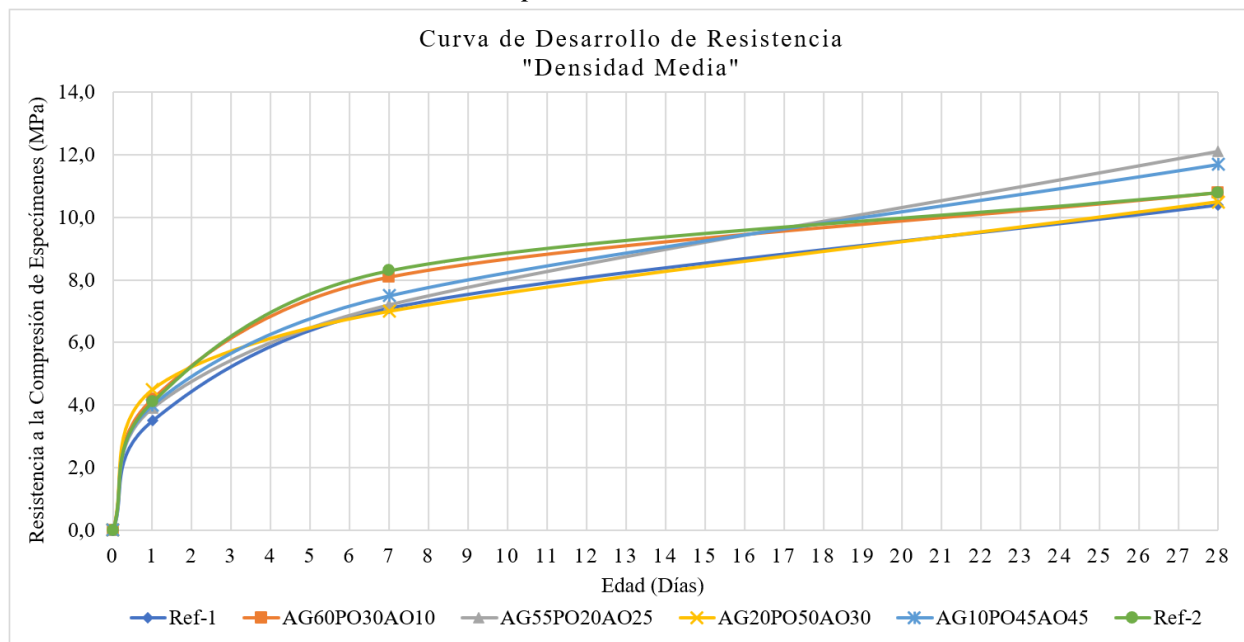
En referencia a la gráfica mostrada, se puede constatar de manera explícita como los especímenes cilíndricos presentan una ganancia de resistencia de manera gradual con el transcurso de los días; de donde se puede concluir que las cuatro variaciones realizadas muestran un comportamiento de ganancia de resistencia bastante regular, en el cual se podría ubicar a la primera (AG60PO30AO10) y tercera (AG20PO50AO30) variación como mezclas cuyo comportamiento es similar o igual al de la mezcla referencia 1; sin embargo, haciendo un enfoque más detallado de

la resistencia final a los 28 días, es destacable que las mezclas con mejores resultados son la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación.

Según el comportamiento que presentan las curvas de desarrollo de resistencia, y haciendo una comparación más detallada entre cada una de la variaciones realizadas, se puede observar como las variaciones que contienen un mayor porcentaje de polvo de piedra (PO), en relación con el porcentaje de arena lavada (AO), tendieron a presentar una disminución en su resistencia final a la compresión; mientras que las mezclas en donde el porcentaje de polvo de piedra era menor o igual al porcentaje de arena lavada se caracterizaron por mostrar un aumento en la resistencia final a la compresión; dicho comportamiento se fundamenta al aumentar la cantidad de arena lavada ya que una mayor presencia de esta genera que la adherencia entre las partículas de la mezcla mejore, así como su resistencia tiende a aumentar.

Figura 41

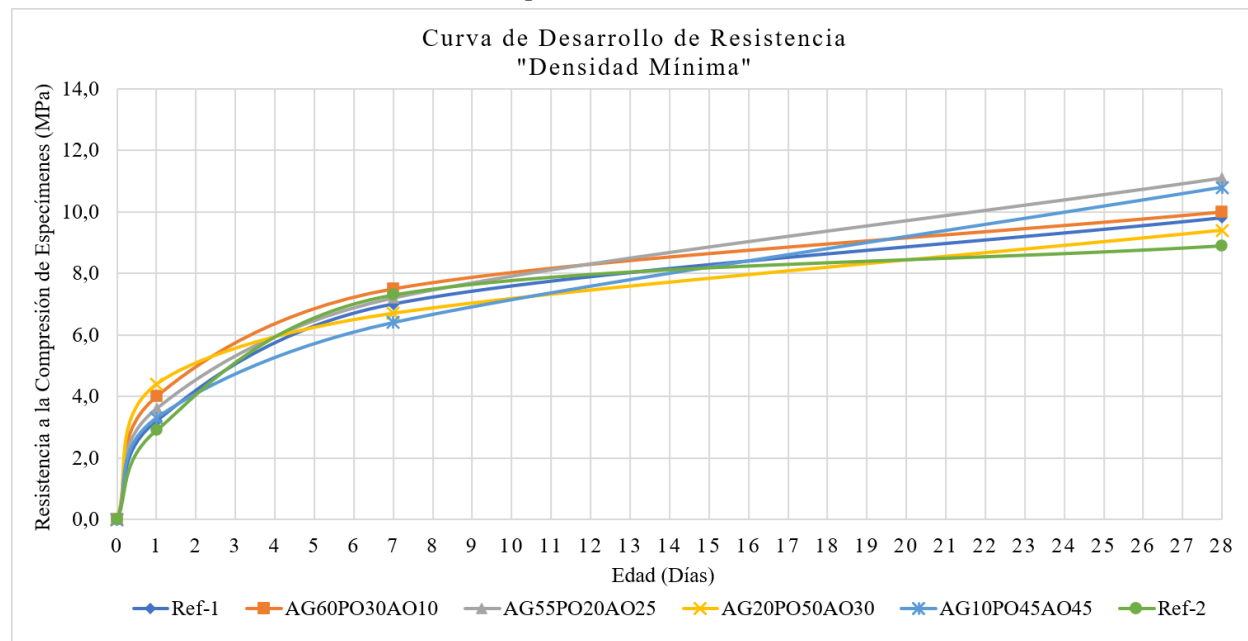
Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad media.



Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 42

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes, densidad mínima



Nota. Elaboración propia, 2021.

Según el comportamiento de las mezclas en las figuras anteriores, se logra apreciar la tendencia sostenida de la resistencia de los especímenes a aumentar con el pasar de los días. Sin embargo, al observar el comportamiento de las diferentes mezclas en cada tipo de densidad, es claramente perceptible que los mejores resultados de resistencia final a la compresión son los conseguidos en la densidad máxima (figura 40), ello podría justificar que dichos resultados se deban a que se logra una mejor compactación en esta densidad; por tanto, hay una mejor adherencia entre partículas, resaltando una vez más la importancia que tiene la vibrocompactación y la proporción adecuada de masa en la producción de bloques.

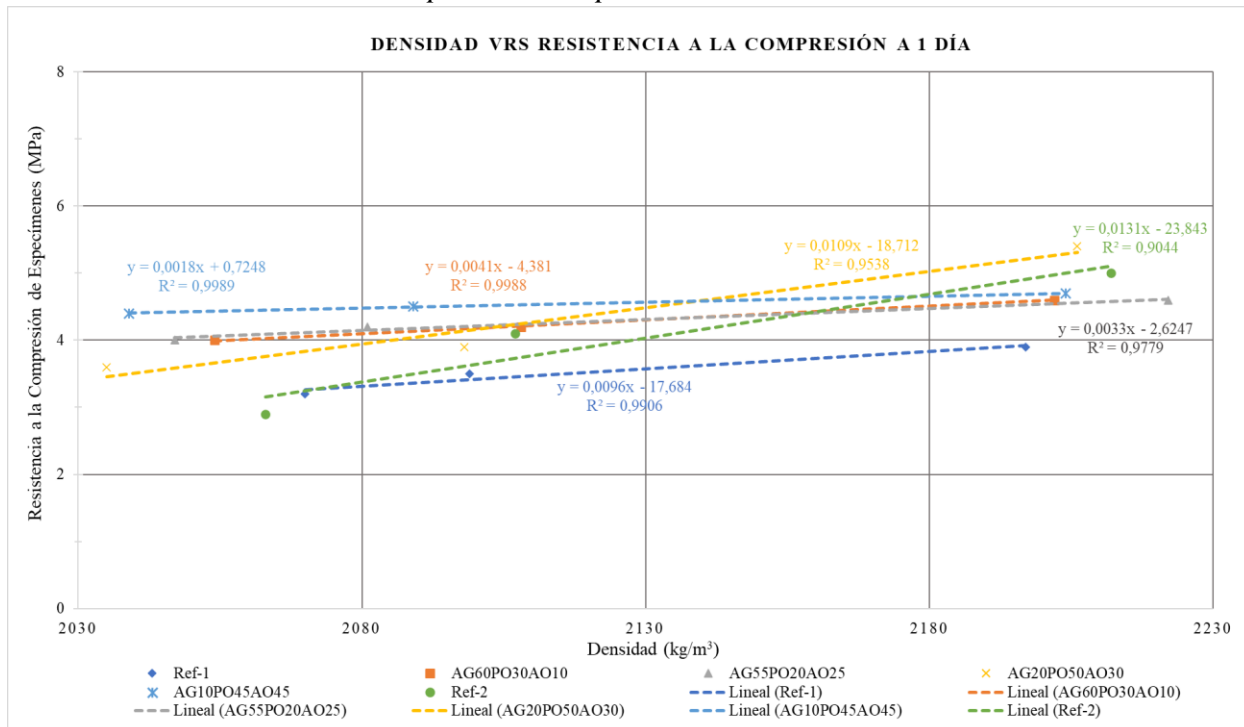
Tomando como referencia la figura 40, y con base en uno de los objetivos principales donde se busca encontrar al menos una mezcla que logre tener un mayor porcentaje de agregados del Quebrador Ochomogo y brinde propiedades físico-mecánicas satisfactorias, se optó por definir que la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación se enmarcan como las mezclas óptimas a ser encontradas en el presente trabajo, al proporcionar resistencias a la compresión de hasta 12.4% y 9.1% más que la mezcla referencia 2. Las demás variaciones, a pesar de presentar un comportamiento bastante regular, no se caracterizan por demostrar una mejoría considerable en las resistencias finales, de manera que seguirán siendo presentadas en análisis

posteriores, pero se optará por dar un mayor énfasis a la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación.

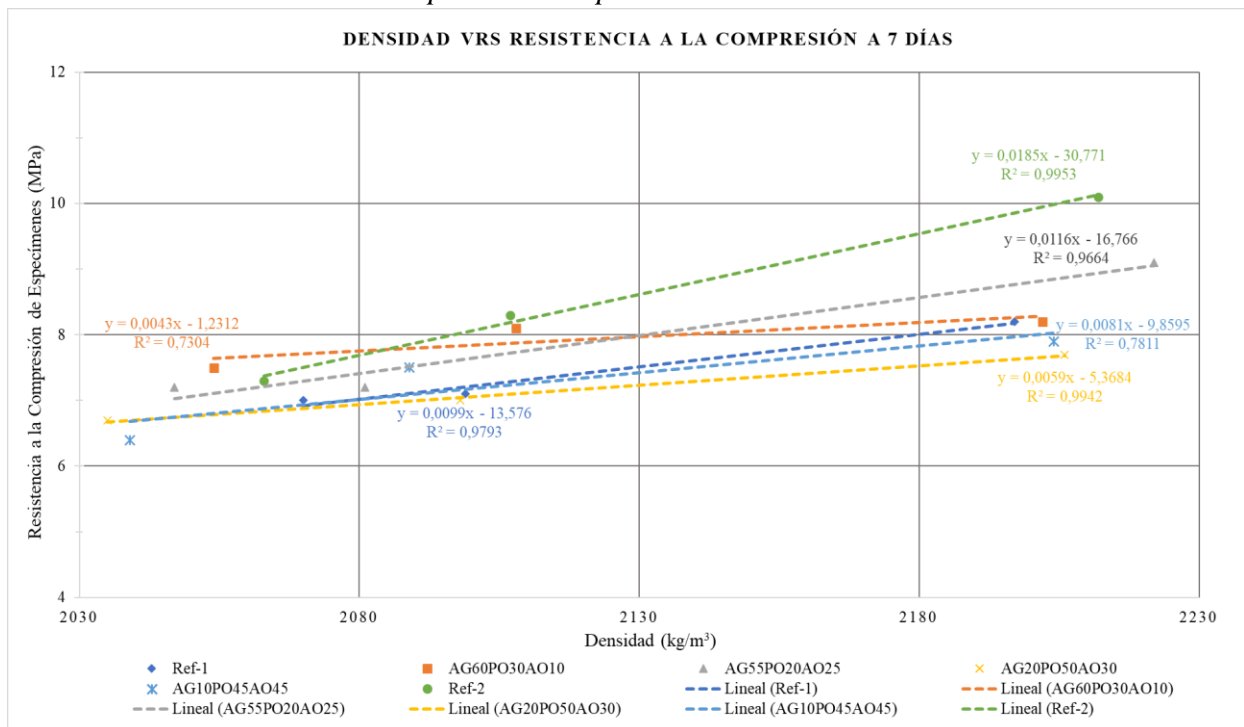
4.2.7 Correlación de la resistencia a la compresión de especímenes vs densidad seca

En la presente sección se busca interpretar los resultados de resistencia a la compresión vs la densidad seca, esto a través de uno de los gráficos propuestos por Frasson Jr., con el objetivo de poder demostrar y definir cual densidad es la necesaria para obtener una resistencia adecuada y que cumpla con los parámetros mínimos que establece la normativa para la producción de bloques de concreto.

Se expondrá un total de tres gráficas, una para cada edad de cura, donde se encontrarán las diferentes mezclas a evaluar, esto con la finalidad de determinar las densidades de las mezclas óptimas que son apropiadas para alcanzar los resultados de resistencia deseados, dichos resultados serán mostrados con la proyección de una recta de mejor ajuste, permitiendo apreciar cuáles datos son funcionales y cuáles no; sin embargo, es importante resaltar que dichas gráficas corresponden a los resultados de los especímenes cilíndricos y que, con base en estos es que se logra llegar a la calibración de la máquina productora, aspecto que será presentado y analizado detalladamente en la siguiente sección.

Figura 43.*Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 1 día*

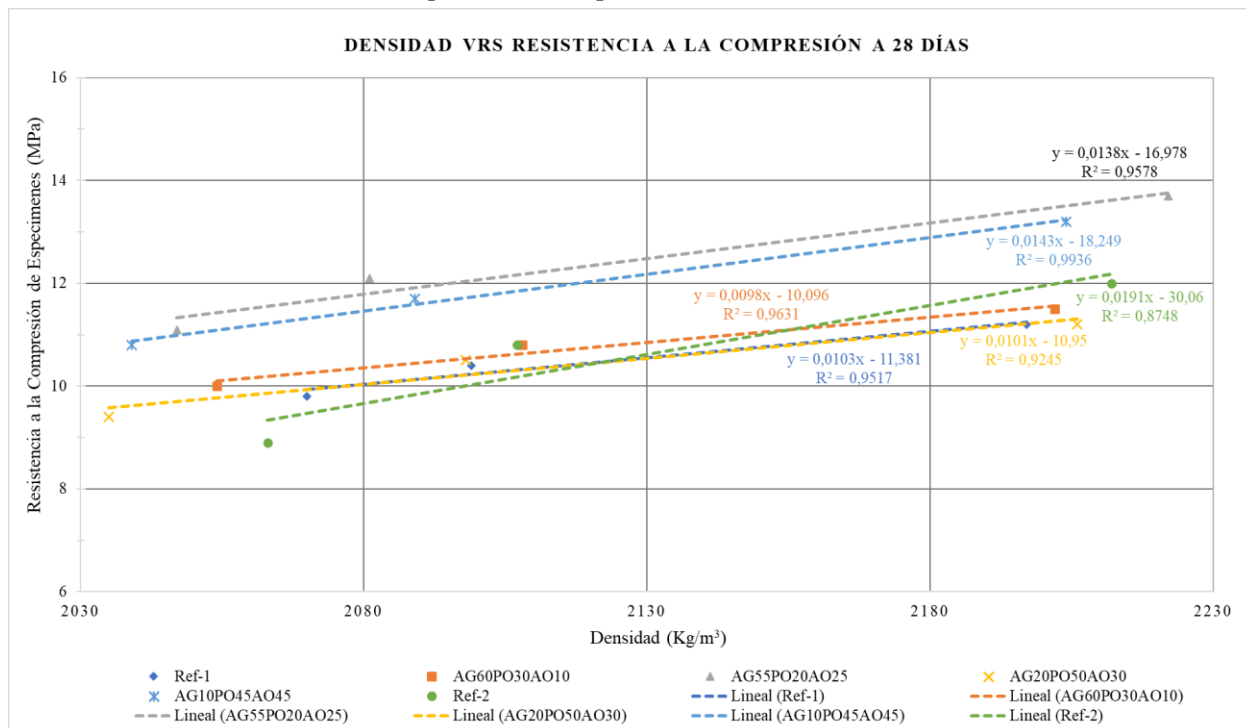
Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 44.*Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 7 días*

Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 45.

Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 28 días



Nota. Elaboración propia, 2021.

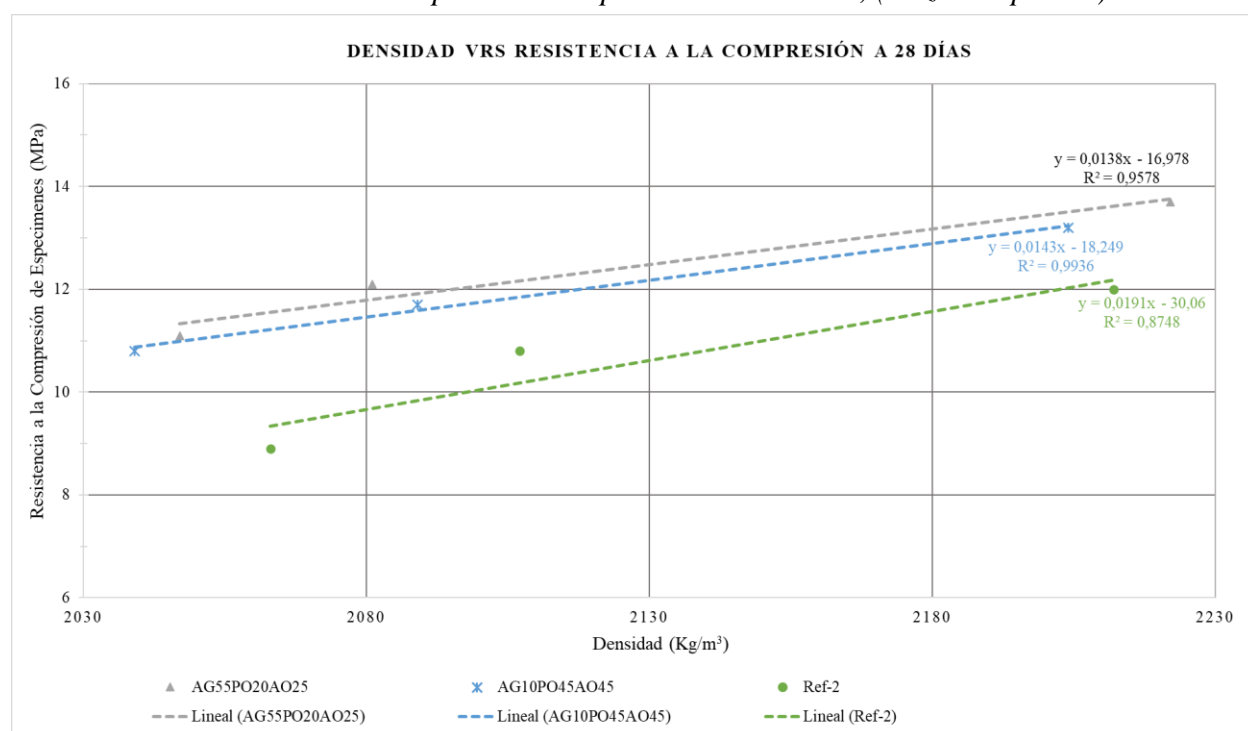
Mirando las figuras anteriores, se aprecia la tendencia que tienen las densidades de los especímenes cilíndricos en función de sus resistencia; de tal manera, se logra determinar el comportamiento de las variaciones realizadas con respecto a las mezclas referencia. En las figuras anteriores, son apreciables las diferencias entre las distintas líneas de tendencia, esto se debe a las divergencias que se generaron en los trazos (relación cemento: agregado) entre una mezcla y otra, también dependen directamente de las resistencias obtenidas a las diferentes edades mostradas; cabe destacar que los resultados más importantes son los obtenidos a los 28 días, tal como lo establece el método propuesto por Frasson Jr.; sin embargo, en el presente trabajo se decidió mostrar el comportamiento que tuvieron las mezclas a las diferentes edades preestablecidas, con la finalidad de observar cómo varían las líneas de tendencia en función de la resistencia y, de ahí, resaltar la importancia de por qué la metodología utilizada sugiere realizar el análisis a una edad de 28 días.

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior, y haciendo énfasis en la figura 45, una vez planteados y obtenidos los resultados finales de las diferentes mezclas a los 28 días, se evaluó con respecto a los comportamientos que evidencian la mezclas referencia a nivel de especímenes

cilíndricos y, como se había mencionado en análisis anteriores, es claramente apreciable que la primera (AG60PO30AO10) y tercera (AG20PO50AO30) variación exhiben un comportamiento muy similar a las mezclas referencia mientras que, por otra parte, es evidente como la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación continúan presentando los resultados y características más favorables; por lo que se presentará una gráfica a continuación, únicamente con los valores de las mezclas óptimas para una mejor interpretación de sus comportamientos en relación con la mezcla referencia 2.

Figura 46

Densidad vs resistencia a la compresión de especímenes a 28 días, (mezclas óptimas)



Nota. Elaboración propia, 2021.

4.2.8 Correlación de la resistencia a la compresión de bloques vs densidad seca

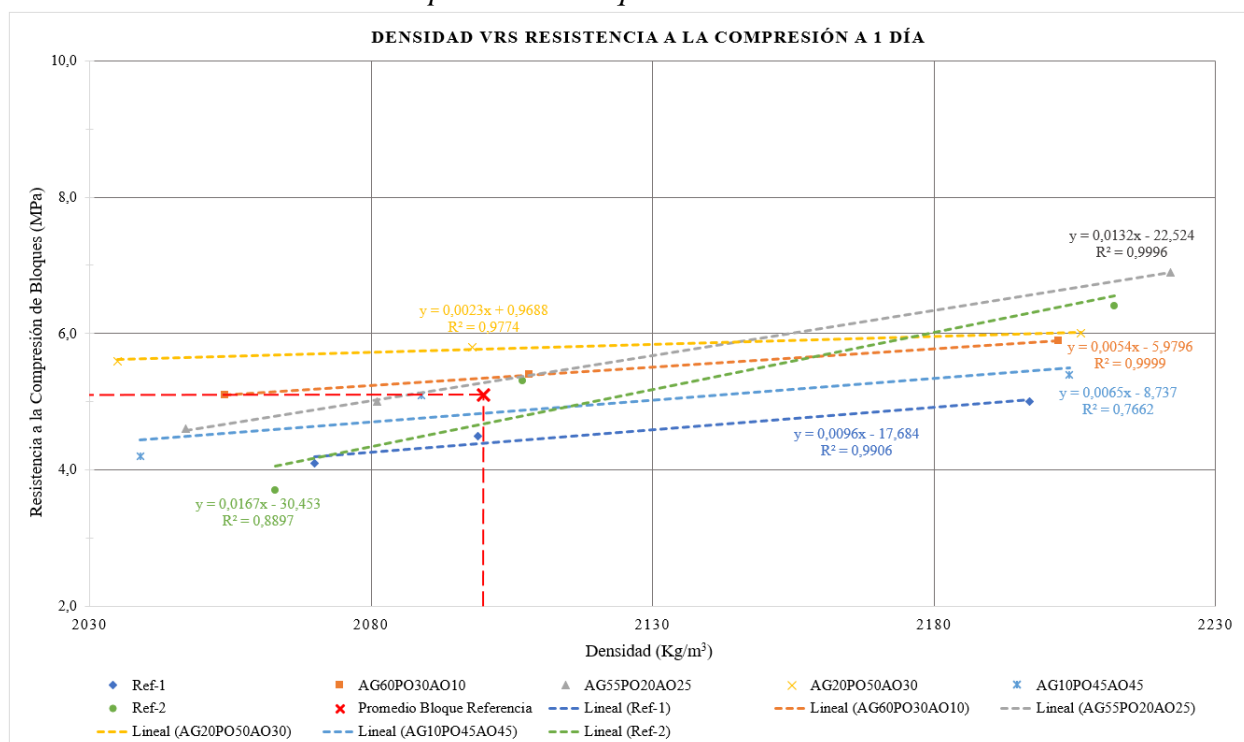
Otro de los aspectos más importantes para la presente investigación era determinar y evaluar el comportamiento de la resistencia a la compresión de la diferentes variaciones a nivel de bloques de concreto, de manera que se pudiera apreciar cuáles serían los resultados obtenidos si se produjeran dichas variaciones a escala real; con esto, serán expuestos los resultados de resistencias finales a la compresión de bloques vs la densidad seca; los cuales surgieron gracias a la transformación de resultados de especímenes a bloques, y a la calibración de la máquina

productora de bloques, proceso que se logró a través de la aplicación de ecuaciones sugeridas por la metodología implementada en este trabajo.

Es importante destacar que la presentación es a través de las gráficas propuestas por Frasson Jr. en el mismo orden en el que fueron presentados los resultados de la sección anterior. Por otra parte, es importante volver a especificar que se mostrarán un total de tres gráficas una para cada edad de cura, no obstante, el análisis y la calibración de la máquina se fundamentan exclusivamente en los resultados obtenidos a una edad de cura de 28 días, por el motivo ya mencionado en la sección anterior.

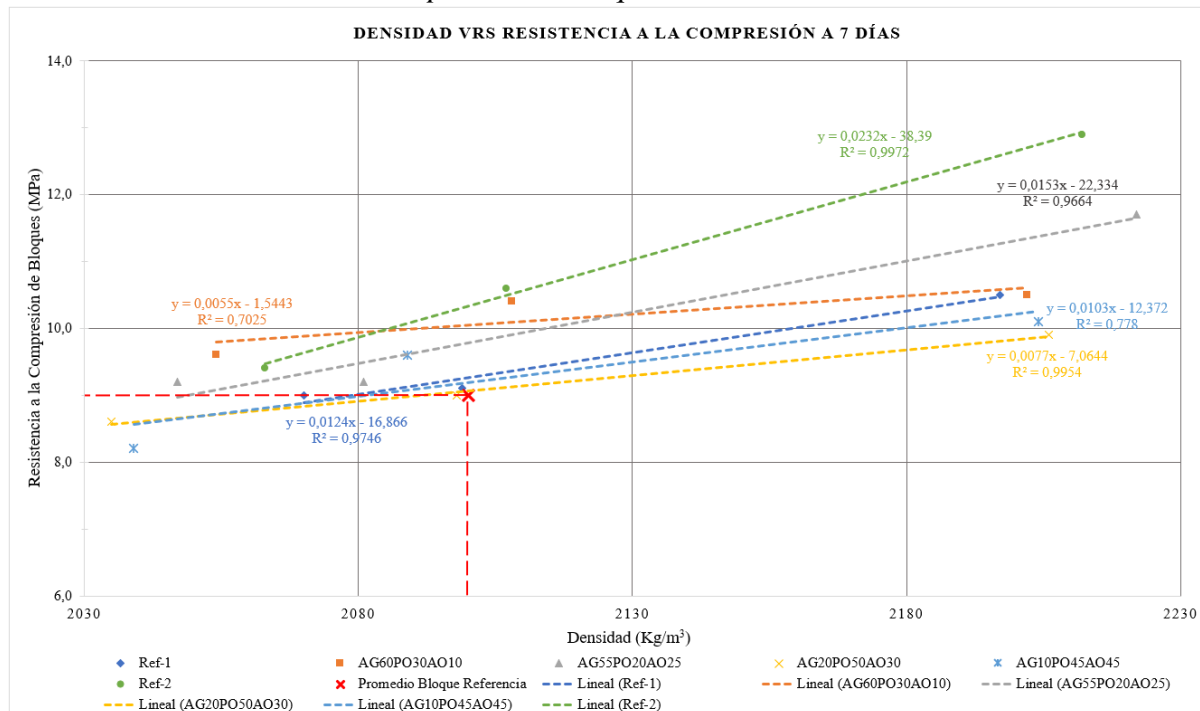
Figura 47

Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 1 día



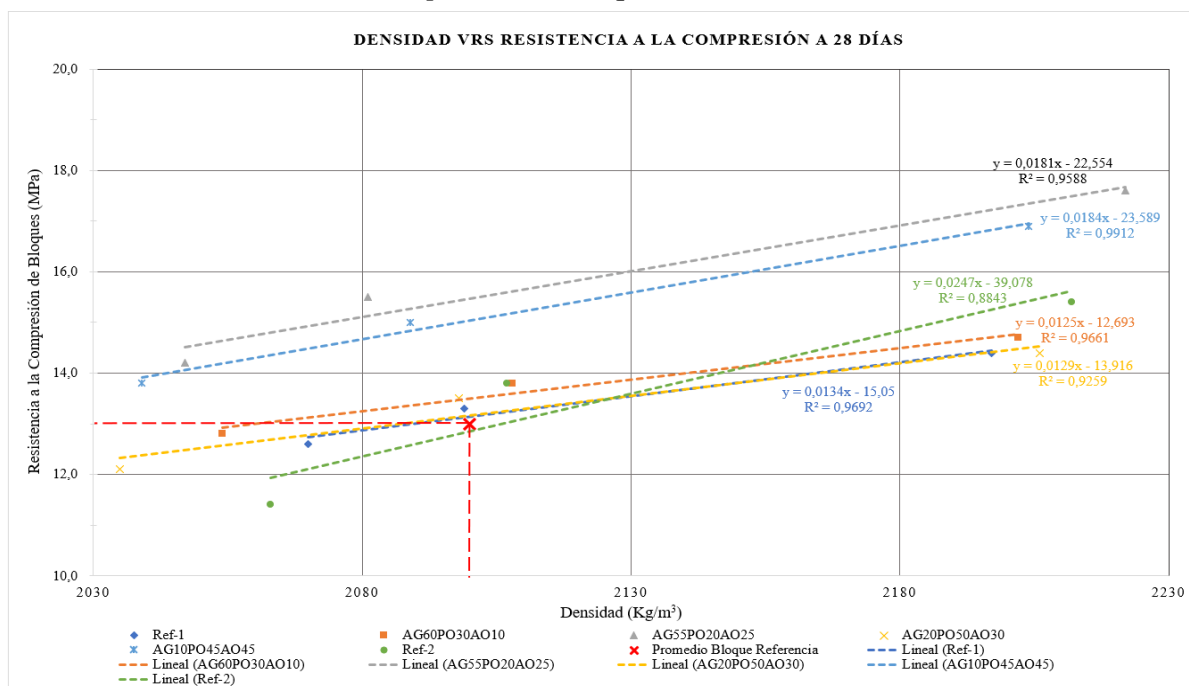
Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 48.
Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 7 días



Nota. Elaboración propia, 2021.

Figura 49.
Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 28 días



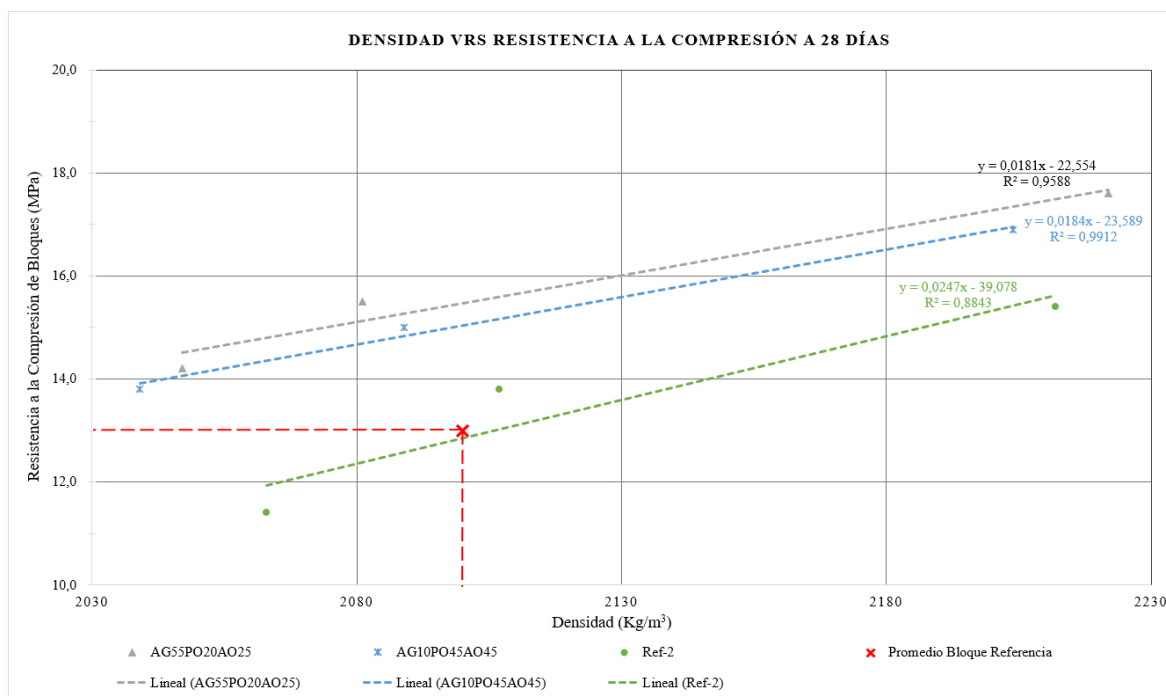
Nota. Elaboración propia, 2021.

Las figuras mostradas ejemplifican, básicamente, un comportamiento bastante similar con respecto a lo expuesto en secciones anteriores en donde la tendencia de la densidad es aumentar o disminuir, esto en función meramente de su resistencia; además se observa cómo continúan las variaciones entre una mezcla y otra, esto debido a las variaciones realizadas en sus trazos (relación cemento: agregado).

Analizando la gráfica de la figura 49 en donde se presentan los resultados finales de resistencia a la compresión de bloques, es fácil constatar que el comportamiento de la variaciones se mantuvo, de manera que la segunda (AG55PO20AO25) y cuarta (AG10PO45AO45) variación son las mezclas óptimas que se deseaba encontrar en el presente trabajo para ser evaluadas en una comparación relativa de costos; buscando demostrar si existe una optimización económica en el proceso de producción de la Bloquera en estudio; por otra parte, dichas mezclas deberían replicarse en una producción a escala real, esto último con la finalidad de determinar otros aspectos importantes a considerar en la producción de bloques como el acabado final, la rugosidad de los elementos y el comportamiento de la mezcla durante el proceso de producción. Sin embargo, es importante resaltar que la producción a escala real de dichas mezclas es uno de los parámetros que se encuentra fuera de los alcances de la presente investigación.

Figura 50

Densidad vs resistencia a la compresión de bloques a 28 días (mezclas óptimas)



Nota. Elaboración propia, 2021.

Como ya se ha mencionado en secciones anteriores, se buscó darles un mayor énfasis a las mezclas óptimas encontradas en la presente investigación, de modo que la gráfica anterior (Figura 50) se exterioriza únicamente con el objetivo de visualizar y comprender de mejor manera el comportamiento de dichas mezclas en comparación con la mezcla referencia 2.

4.2.9 Método de curado vs resistencia final a la compresión de bloques

Conforme se avanzaba con la recolección de datos en la investigación, se logró evidenciar que se estaba presentando un aspecto negativo en las resistencias finales de los bloques destinados a la prueba de compresión, principalmente en las fallas de bloques a escala real; se logró determinar que tal hecho se debía al método de cura al cual se estaban sometiendo los bloques, ya que se decidió que el lote de 15 bloques a fallar a escala real se mantuviese bajo el mismo sistema de cura de los especímenes cilíndricos, para tener consistencia en los resultados a analizar; lo que generó afectaciones en las resistencias esperadas a las edades de 7 y 28 días.

Por esta razón, a pesar de que este parámetro no se encuentra dentro de los alcances de la investigación, se busca realizar una comparación y análisis de los resultados obtenidos para dos métodos de cura como lo son:

- ❖ Método de curado propuesto por Frasson Jr.
- ❖ Método de curado de la Bloquera Ochomogo.

Para determinar cuánta es la afectación en las resistencias finales de los bloques a la compresión, se presentará una gráfica de comparación entre los dos métodos de cura a las edades donde se apreció una pérdida en las resistencias.

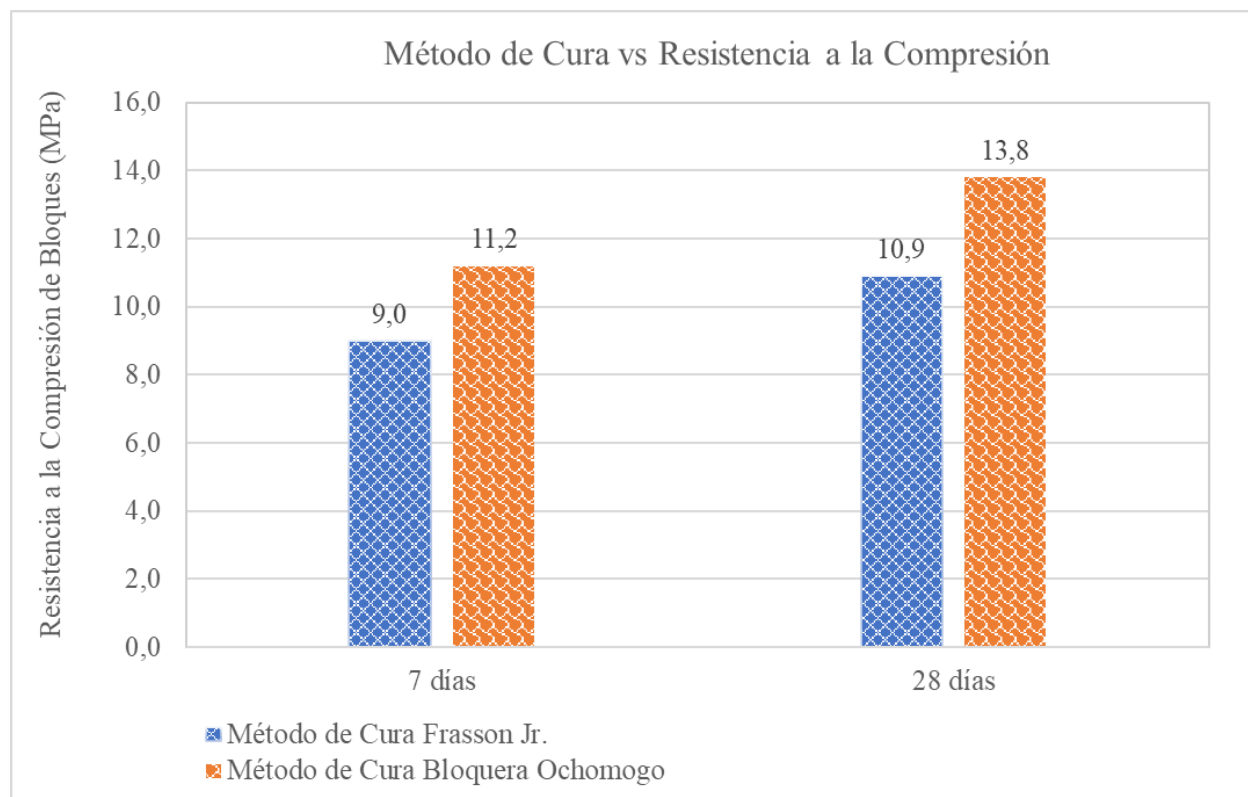
Es importante resaltar que los métodos de cura constituyen uno de los parámetros más influyentes en las resistencias finales a la compresión de la mampostería de concreto, existe una gran variedad de métodos efectivos de cura; empero, la diferencia entre un método y el otro repercute directamente en los resultados finales que se obtendrán, por lo que es un indicador importante de considerar.

Un aspecto importante por comprender, antes de observar la siguiente figura, es determinar la diferencia que existe actualmente entre los dos métodos mencionados; se puede decir que el método propuesto por Frasson Jr. consiste simplemente en someter a los especímenes o bloques de concreto en cajas de espuma de poliestireno en las cuales se logre mantener una humedad

constante a fin de ganar resistencia a los elementos; en otra línea, en el método de cura empleado en la Bloquera Ochomogo, los bloques de concreto son introducidos en cámaras de curado durante el primer día, posteriormente, son ubicados en un patio donde se encuentran expuestos a las condiciones climáticas de la zona, se les debe asegurar una humedad constante en los bloques vertiendo agua sobre estos cada cierto tiempo, conforme sea necesario.

Figura 51

Método de cura vs resistencia a la compresión de bloques



Nota. Elaboración propia, 2021.

Con base en la figura 51, se percibe claramente cómo existió una afectación considerable en las resistencias finales, se puede ver como los bloques sometidos al proceso de cura propuesto por Frasson Jr. experimentaron una pérdida de resistencia de aproximadamente 2.20 MPa a una edad de cura de 7 días; en comparación con los bloques curados bajo el método de cura de la Bloquera Ochomogo; por otra parte, al observar la resistencias finales a los 28 días, se percibe como dicha condición se mantuvo e inclusive presentó un ligero aumento en la afectación de la resistencia, pasando de 2.20 MPa a 2.90 MPa; se puede decir que el método de cura de la Bloquera

Ochomogo asegura, en promedio, un 25.5% más de resistencia final en los bloques a las edades de 7 y 28 días.

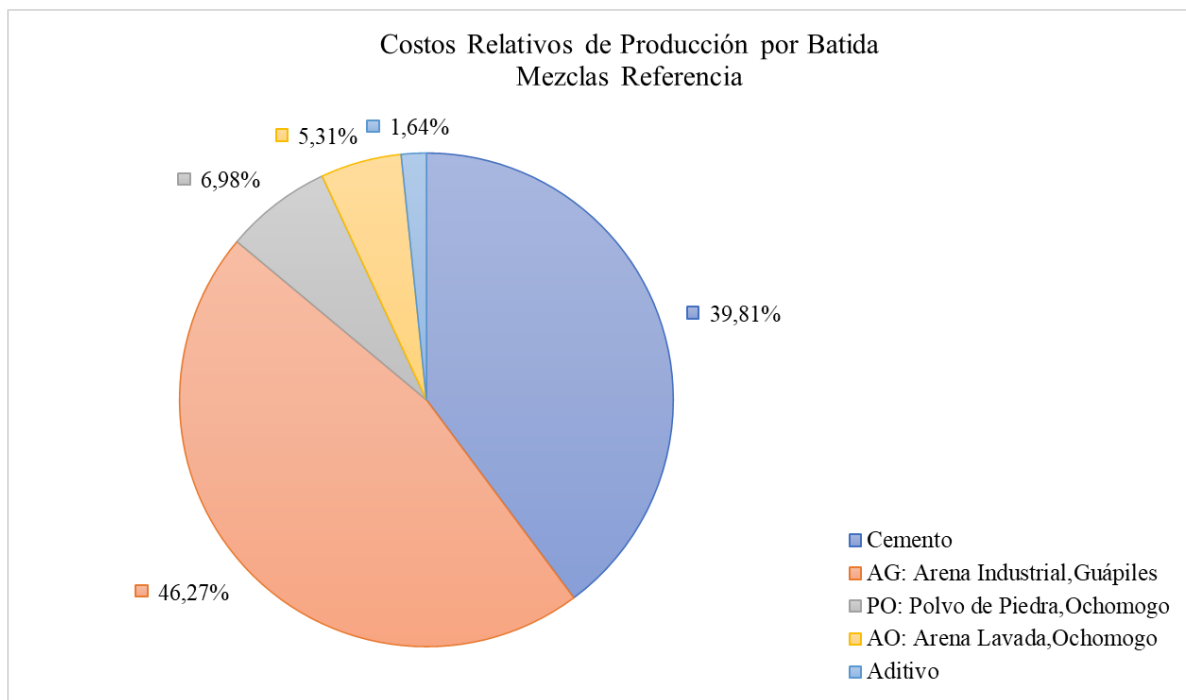
Un aspecto importante de resaltar es que dicha afectación se logró apreciar únicamente en los bloques de concreto a fallar a escala real; por lo que no se puede afirmar ni negar que dicho aspecto afecte también las resistencias finales de los especímenes cilíndricos; consecuentemente, los resultados obtenidos no presentaron ningún cambio respecto a esta variable encontrada en los bloques.

4.2.10 Comparación relativa de costos de producción

Finalizando la sección de análisis de resultados, a la vez, llegando al cierre del presente capítulo, en esta última sección se expondrán tres gráficas a través de la cuales se explica y da a conocer de manera relativa si se logrará una optimización económica en los costos de producción de la Bloquera en estudio; se debe resaltar que dicho análisis se basó única y exclusivamente en una comparación de los costos de producción que conllevaría producir, a escala real, las dos mezclas óptimas encontradas en la presente investigación versus el costo actual de producir las mezclas referencia.

Figura 52

Costos relativos de producción por batida, mezclas referencia



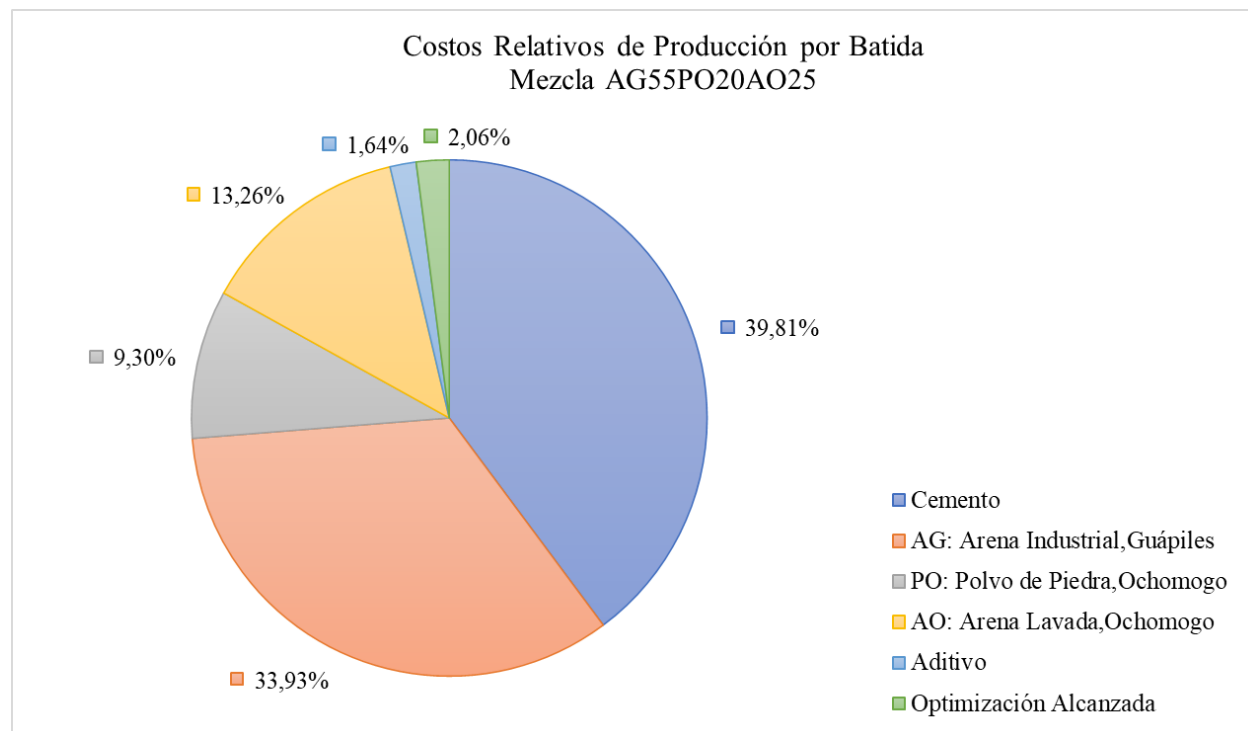
Nota. Elaboración propia, 2021.

En la figura 52, se puede apreciar de manera relativa cuales son los costos por materia prima que conlleva realizar una producción de “n” cantidad de bloques en la Bloquera Ochomogo actualmente; dichos costos son los correspondientes a las proporciones actuales, es decir, al diseño de mezcla actual que, en el presente trabajo de investigación, corresponde al diseño de las mezclas referencia. Se ha decidido presentar esta primera gráfica con la finalidad de que la persona lectora conozca y perciba los costos actuales y cómo variarán positiva o negativamente en función de las modificaciones implementadas en las mezclas óptimas.

Se puede apreciar claramente como la arena industrial proveniente de Guápiles (AG) representa el mayor costo en la producción actual, a su vez, es evidente que la actual proporción de agregados provenientes del Quebrador Ochomogo no representa ni siquiera la mitad del costo de dicho agregado, situación que genera una serie de inconvenientes económicos e inclusive ambientales pues, al tener que transportar este agregado hasta la ubicación actual de la planta, se genera un gran cantidad de contaminantes producidos por los camiones que acarrean dicho agregado.

Figura 53

Costos relativos de producción por batida, mezcla AG55PO20AO25

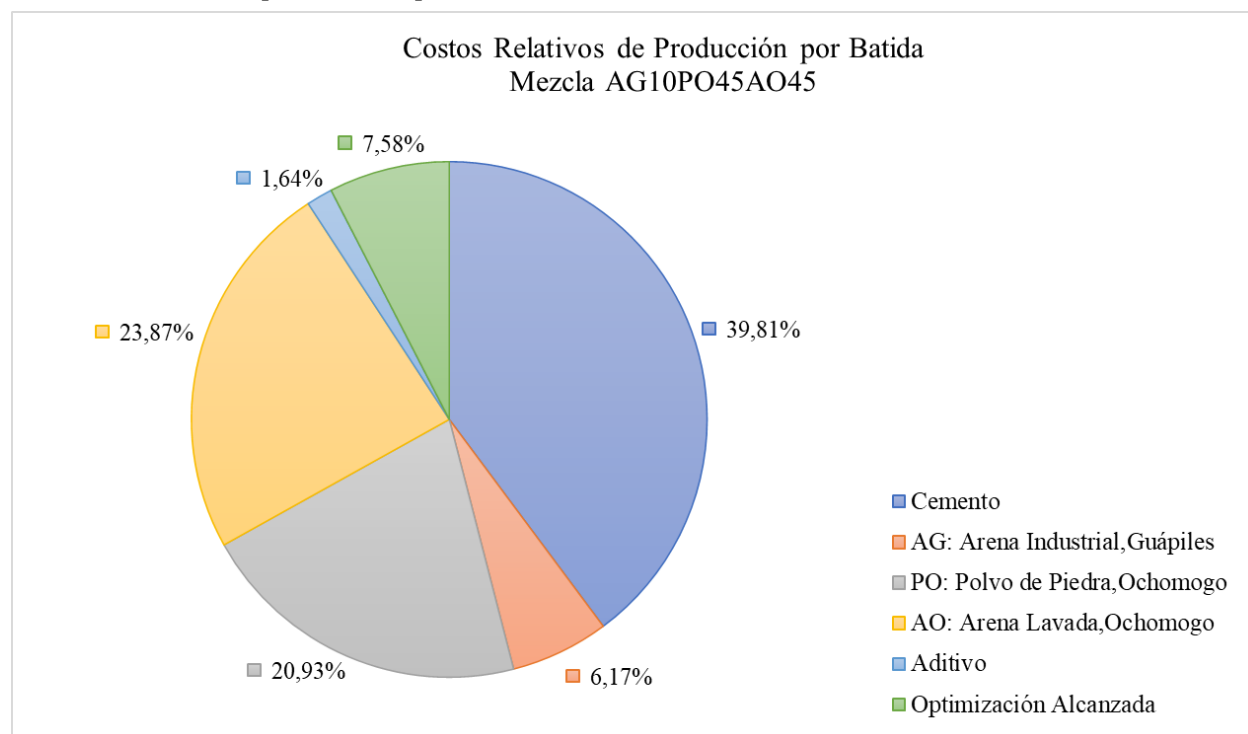


Nota. Elaboración propia, 2021.

Observando la figura anterior, es fácil determinar que, con solo una disminución aproximada de 20 % en la cantidad de arena industrial proveniente de Guápiles, se logra una optimización de 2.06 % en costo total por batida lo que permite concluir que, si dicha mezcla se replica a escala real y continúa mostrando resultados optimistas y satisfactorios con respecto a lo que establecen las normativas nacionales, la presente variación AG55PO20AO25 presenta un diseño de mezcla que optimiza en 2.06 % los costos de producción actuales que se tienen en la Bloquera Ochomogo. Seguidamente, es importante resaltar que el análisis del gráfico anterior se realizó con base en los costos de producción actuales mostrados en la figura 52 a partir de los cuales se logró llegar al porcentaje de optimización mencionado.

Figura 54

Costos relativos de producción por batida, mezcla AG10PO45AO45.



Nota. Elaboración propia, 2021.

Al observar la figura anterior y en relación con los resultados mostrados en la figura 53, es esperado y apreciable el hecho de que la variación AG10PO45AO45, con una reducción significativa en el porcentaje de arena industrial proveniente de Guápiles, arroje al menos en esta comparación relativa de costos la mejor de las optimizaciones económicas ya que, como se ve en el gráfico anterior, los costos asociados a los agregados provenientes del Quebrador Ochomogo

para este diseño de mezcla presentan un incremento considerable en relación con el agregado proveniente de Guápiles, lo que generó que los costos de producción por batida presentaran una reducción logrando una optimización económica en el proceso, en comparación con los costos de las mezclas referencia; por tanto, se puede concluir que, de producirse a escala real bloques de concreto basados este diseño de mezcla, procedimiento productivo sería 7.58 % más económico que el diseño de mezcla actual.

Finalmente, con estos resultados se define que ambas variaciones de mezcla son óptimas, se proponen como mezclas con las cuales se lograría una optimización económica y ambiental positiva; es claramente apreciable que una de ellas aporta mejores beneficios en relación con la otra; sin embargo, es importante resaltar que, a pesar de que dichos diseños de mezcla presentaron resultados bastante optimistas a nivel de investigación y a nivel de costos, es necesario que se repliquen estos diseños a escala real para evaluar o confirmar parámetros de resistencia, densidad, absorción, apariencia visual del bloque, o bien evaluar la rugosidad de este.

Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y hallazgos

5.1 Conclusiones

- Se logró demostrar que la metodología de diseño de mezclas secas propuesta por Frasson Jr. se puede aplicar como nuevo método de diseño en la producción de bloques de la planta de Ochomogo; con evidencia en que los elementos producidos industrialmente con los diseños AG55PO20AO25 y AG10PO45AO45 presentan resistencias a la compresión muy similares a las obtenidas en los especímenes de laboratorio.
- A través de los resultados obtenidos y la tropicalización del método de Frasson se identificó un factor de calibración de 0,78 para los bloques curados en laboratorio y un factor de 0,73 para los bloques curados bajo el método de la bloquera; en donde ambos aseguran una calibración idónea para la máquina productora de bloques con la que cuenta la Bloquera Ochomogo.
- Se logró probar que, a través de la implementación de la nueva metodología internacional, la Bloquera Ochomogo puede conseguir una optimización económica en el proceso de producción de bloques que va desde un 2,06 % con la mezcla AG55PO20AO25, hasta un 7,58 % menos del costo actual con la mezcla AG10PO45AO45.
- Se demostró que, al aumentar en un 20% y un 65% las proporciones de los agregados provenientes del Quebrador Ochomogo, se consigue un aumento de 12.4% y 9.1% en las resistencias finales a la compresión de los especímenes cilíndricos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda dar continuidad a la presente investigación con la elaboración de bloques de concreto a escala real, basados en los diseños de mezcla óptimos encontrados, de manera que puedan comprobarse y evaluarse otros parámetros importantes como el comportamiento de las mezclas en los ciclos producción, en el proceso de mezclado y de vibrocompactación o bien evaluar los tiempos que requieren los bloques para ser despachados a patio.
- Ampliar la presente investigación explorando otros diseños de mezcla que contengan mayor contenido de agregados del Quebrador Ochomogo. Se sugieren las siguientes proporciones como punto de partida: AG15PO45AO40, AG10PO80AO10, AG0PO90AO10.

- Realizar tres especímenes cilíndricos más por densidad al aplicar la metodología de Frasson Jr., con la finalidad de someterlos al método de curado que utilizan en la Bloquera Ochomogo, y determinar cuál es el comportamiento de las resistencias en función del método de cura real.
- Dar mayor seguimiento al comportamiento que presente la mezcla AG10PO45AO45 a escala real, ya que, además de presentar unas de las mejores resistencias a la compresión de los especímenes cilíndricos, esta mezcla ayuda a minimizar la huella de carbono al reducir en 65% el transporte del agregado desde Guápiles.
- Ampliar el presente trabajo de investigación a través de una nueva exploración en donde se pueda determinar cuál es la influencia que tienen los tiempos de mezclado del mixer en las resistencias a edades tempranas.
- Evaluar cual es comportamiento y aspecto que tendrían las mezclas óptimas encontradas en esta investigación al utilizar agregados extraídos de las fuentes de origen en la época de verano.

5.3 Hallazgos

- Se determinó que, al utilizar una mayor cantidad de arena lavada del Quebrador Ochomogo en los diseños de mezcla, las absorciones finales de los especímenes cilíndricos aumentaron entre un 2,0% y un 4,0%, aproximadamente.
- Se percibió que las resistencias finales a la compresión tienden a aumentar entre un 15,2% y un 16,1%, al utilizar porcentajes iguales o de un 5,0% más de arena lavada, en comparación con el porcentaje de polvo de piedra.
- Se experimentó una pérdida de un 25,5% en las resistencias finales a la compresión de las unidades de mampostería al someterlas al mismo método de curado al que se someten los especímenes cilíndricos.
- Se presentó un aumento del 23,2% en las resistencias a edades tempranas de la mezcla denominada como Ref-2 en este trabajo, producto de los tiempos de mezclado que se tienen en el mixer de la máquina productora de bloques.
- Se comprobó como la compactación y la densidad de los especímenes son factores influyentes en las resistencias finales de estos elementos, debido a que, conforme se aumentó la densidad, se percibía una mejor compactación, por ende, mayores eran la resistencias finales de los especímenes.

Referencias bibliográficas

- Alario, E. (29 de diciembre de 2014). *Cuidados del hormigón. La importancia de un buen vibrado del hormigón*. <https://enriquealario.com/la-importancia-de-un-buen-vibrado-del-hormigon/>
- Álvarez, D. (2014). *Evaluación de la densidad y la resistencia a la compresión de bloques de concreto con sustitución del agregado de piedra por desechos de la industria del papel*. [Tesis de Licenciatura, Universidad EAFIT]. Repositorio EAFIT <https://bit.ly/3kMEJcy>
- American Concrete Institute. (2008). *Guía para el curado del concreto*. Estados Unidos. http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf
- Andece. (2019). *Muros de bloques y ladrillos de hormigón*. *Revista Guías Técnicas Andece*, 1(1), pp. 1-73. <https://www.andece.org/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Muros-de-bloques-y-ladrillos-de-horming%C3%B3n.V1.pdf>
- Avelar Durán, E., Binueza, F. y Solano Cristales, B. (2010). *Análisis de adherencia en morteros para repello en mampostería de bloque de concreto*. Universidad De El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15352>
- Barahona, A., Martínez Guerrero, R. y Zelaya Zelaya, M. (2013). *Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la Pedrera, de la Zona Oriental de el Salvador* [Tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad de El Salvador]. <https://vdocuments.mx/documents/50107992docx.html>
- Chaux, C. y Perea, B. (2016). *Elaboración de una máquina que optimice la producción de unidades de mampostería estructural para mediados del año 2016 en la región de los Llanos Orientales* [Tesis de Licenciatura, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio UCC https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/12605/1/2016_elaboracion_maquina_optimice.pdf
- Del Real Davalos, J. (2013). *Influencia del curado con CO2 en mampostería fabricada con sistemas cementantes ternarios* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio UANL <http://eprints.uanl.mx/3661/1/1080256595.pdf>

- Frasson Jr., A. (2000). *Metodología propuesta para dosificar y controlar el proceso productivo de bloques de hormigón para albañilería estructural* [Tesis de Maestría, Universidad Federal de Santa Catarina]. Repositorio UFSC <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78274>
- Frasson Jr., A., Casali, J., Oliveira, A., Prudencio Jr., L. (2012). A mix design methodology for concrete block units. *International Brick and Block Masonry Conference*, 15(1). <https://tarjomefa.com/wp-content/uploads/2017/04/6446-English-TarjomeFa.pdf#page48>
- Frasson Jr., A., Lima de Oliveira, A., Prudencio Jr., L. (s. f.). *Metodología de dosificación para bloques de hormigón empleados de mampostería estructural*. Cuaderno Técnico Alvenaria Estructural. <https://docplayer.com.br/17325359-Parte-1-metodologia-de-dosagem-para-blocos-de-concreto-empregados-em-alvenaria-estrutural.html>
- Gamboa, O. (2005). *Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm², caso específico fuerte-block máquinas #1 Y #2* [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1468_IN.pdf
- García, J. (2004). *Diseño de hormigones dirigido a la aplicación* [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio UPC. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3327?show=full>
- Gonzales, J.F. (2008). Bloques de concreto muy sanos. *IMCYC 1*, pp. 1-4. <http://www.imcyc.com/ct2008/oct08/sustentabilidad.htm>
- Granda Mejía, C. y Perlaza Benavides, W. (s. f.). *Resumen*. Universidad de cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/676/1/te341.pdf>
- Grupo Masa, (2021). *Fabricación de prefabricados de hormigón*. <https://www.masa-group.com/es/productos/betonsteinfertigung/>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5.^a ed.). Editorial McGraw-Hill / Interamericana editores, S. A. de C. V.
- Hincapié, A. y Montoya, Y. (2005). La microestructura de los prefabricados de concreto. *Revista Universidad EAFIT*, 41(140), pp. 95-105.

<https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/17157/document%20-%202020-08-15T140446.782.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

ICCYC, CFIA. (2009). *Informe final: estudio sobre la calidad de la mampostería de concreto para viviendas en la provincia de San José*. <http://iccy.com/sites/default/files/Investigaciones/INFORME%20MAMPOSTERIA.pdf>

Incera, A. (2017). *Comparación de los sistemas de curado de bloques de concreto y adaptación del método de diseño de Frasson Jr. para mezclas secas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Latina de Costa Rica]. San José, Costa Rica. https://ulatinuam-my.sharepoint.com/personal/melany_campos_ulatina_cr/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fmelany%5Fcampos%5Fulatina%5Fcr%2FDocuments%2FTesis%20compartidas%2FJean%20Carlos%20Villalobos%20Arguedas%2FTFG%5FULatina%5FAntonio%5FIncera%5FPerez%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fmelany%5Fcampos%5Fulatina%5Fcr%2FDocuments%2FTesis%20compartidas%2FJean%20Carlos%20Villalobos%20Arguedas&originalPath=aHR0cHM6Ly91bGF0aW5hdW FtLW15LnNoYXJlcG9pb nQ uY29tLzpiOi9nL3BlcnNvb mFsL211bGFueV9jYW1wb3NfdWxhdGluYV9jci9FWVFHO URzOEdVOU1oSUNnUTJwLXNGMEItNGs1SFNmVUROSHJkT0lxN09pcWFnP3J0aW11PU10UzR6ZWdFMlVn

Instituto Colombiano de Productores de Cemento, (s. f.). *Fabricación de bloques de concreto*. *Revista Notas Técnicas ICPC*, 4(38), pp. 1-25. https://www.academia.edu/35739775/Fabricacion_de_bloques_de_concreto

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (s. f.). *Construcción de vivienda utilizando mampostería de bloques de concreto reforzado I*(1), pp. 1-13. <https://www.ficem.org/CIC-descargas/salvador/Construccion-de-vivienda-utilizando-mamposteria-de-bloque-de-concreto-reforzado.pdf>

Inteco. (2016). *Norma INTE C18: Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio*. <https://www.inteco.org/shop/inte-c18-2016-construccion-elaboracion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-para-ensayo-en-laboratorio-1224#attr=>

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1ª ed.). Editorial Portland Cement Association.


- Lamb, C. y Ramírez, M. (2008). Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. *Investigaciones Aplicadas*, 4, pp. 8-15. <https://bit.ly/3jyyLwy>
- Lanamme. (s. f.). *Resistencia a la compresión de cilindros*. Norma ASTM C39. Costa Rica. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.10-11.pdf>
- Lanamme. (s. f.). *Resistencia a la compresión de prismas de mampostería*. Norma ASTM C1314. Costa Rica. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.23.pdf>
- Larce. (31 de mayo de 2021). *Maquinaria para productos de concreto*. <https://dilarce.com/maquinaria-para-productos-concreto/>
- López, M. y Pinedo, M. (2015). *Mejoramiento de las características físico-mecánicas de adoquines de cemento para pavimentación, adicionando escoria de horno eléctrico en su proceso de fabricación* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2707>
- Molina, E. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto* [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6262/evaluaciondelusodelacascarillaadearrozenlafabricacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oliveira, A. (2004). *Contribución a la dosificación y producción de piezas de hormigón para pavimentación* [Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Santa Catarina]. Repositorio UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87148/206164.pdf?sequence=1>
- Ordoñez, K. y Villanueva, L. (2012). *Elaboración de bloques de mortero tipo estructural mediante secado natural empleando la calamina procedente de Tenaris Tubocaribe S. A. como aditivo*. (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Buenaventura). Repositorio USB. <https://bit.ly/3DI9RT5>
- Quintana, E. y Quintana, I. (2015a). Método mecánico para la compactación del concreto: La Vibración (Parte I). *Revista IMCYC*. <https://bit.ly/3gWSILH>

Quintana, E. y Quintana, I. (2015b). Método mecánico para la compactación del concreto: La Vibración (Parte II). *Revista IMCYC*.
<http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/marzo2015/ingenieria.pdf>

Zúñiga, M. y Martínez, O. (2002). *Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas en elementos prefabricados vibro-compactados* [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5771/implementacion%20metodologia%20dise%c3%bl0%20mezclas%20secas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Anexo A. Certificado de Calidad del Cemento Industrial Tipo MP/A-28

LafargeHolcim					INFORME DE ENSAYO Consecutivo: 1A-IND-2021 Página 1/1									
Mes:	Abril				Recepción muestra:	Abril								
Periodo:	Mensual (1 al 30 de Abril del 2021)				Fecha recomendada de Uso:	Ver Empaque								
Fecha de Informe:	14/5/2021				Fecha de Muestreo:	NI								
Producto:	Cemento				Lugar de Muestreo:	Planta Cartago								
Tipo:	MP/A-28				 <p>Laboratorio de Ensayo Alcance de Acreditación N°. LE-095 Acreditado a partir de: 12.01.2012 Alcance disponible en www.eca.or.cr</p>									
Identificación Cliente:	INDUSTRIAL (HSO IP)													
<p>Holcim (Costa Rica) S.A. cuenta con un sistema de Gestión Integrado (SGI) de Calidad, Ambiente y OHS. Nuestras Operaciones en Planta Cemento están certificadas según Normas: ISO 9001:2008 Gestión de Calidad ISO 14001:2004 Gestión de Ambiente ISO 18001:2001 Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional ISO 14064:2006 Gestión Gases de Efecto Invernadero</p>														
INFORMACIÓN GENERAL					INFORMACIÓN DE CLIENTE									
Laboratorio:	Control Calidad, Holcim (Costa Rica) S.A.				Cliente:									
Dirección Laboratorio:	Planta Cemento Holcim (Costa Rica) S.A., Agua Caliente, Cartago Costa Rica				Dirección Cliente:									
email:	contactenos-ci@holcim.com				email:									
Teléfono:	(506) 2205-2800				Teléfono:									
Fax:	(506) 2205-3100				Fax:									
Informe de Resultados														
Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución	Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución	Parámetro (*)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución
SiO ₂ *	24.47	%	NI	Abril	R10** Uc± 0,3	19.4	MPa	NI	Abril	Contenido Aire** Uc± 0,4	7	%	<12	Abril
MgO*	1.94	%	≤6	Abril	R30** Uc± 0,4	27.9	MPa	>13	Abril	Expansión Autoclave** Uc± 0,002	0.01	%	<0.8	Abril
SO ₃ *	2.62	%	≤4	Abril	R7D** Uc± 0,7	31.8	MPa	>20	Abril	Expansión Barras Mortero** Uc± 0,003	0.007	%	<0.02	Febrero
Residuo Insoluble** Uc± 0,05	NI	%	≤5	NI	28 D** Uc± 0,4	41.5	MPa	>28	Marzo	Falso Fraguado Uc± 6	94	%	>50	Abril
Pérdida Fuego*	4.84	%	NI	Abril	CN** Uc± 0,05	28.0	%	NI	Abril	Calor Hidratación 7 Días*	NI	kJ/kg	<250	NI
Blaine** Uc± 0,05	439	m ² /kg	NI	Abril	SET IN** Uc± 4	95	minutos	>45	Abril	Calor Hidratación 28 Días*	NI	kJ/Kg	<290	NI
Finura 45 um** Uc± 0,0	3.2	%	NI	Abril	SET FN** Uc± 4	265	minutos	<420	Abril		NI	%	NI	NI
Relacion A/C	48.4	%	NI	Abril	Densidad** Uc± 0,06	2.95	g/mL	NI	Abril		NI	NI	NI	NI
<p>Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo Los resultados de los análisis químicos están calculados en porcentaje en peso, se hacen por XRF. Ensayos según Normas: Blaine, INTE C138 Consistencia Normal, INTE C139 Tiempos de Fragua, INTE C137 Pérdida de Fuego, INTE C134 Residuo Insoluble, INTE C134 Expansión por Autoclave, INTE C135 Expansión de Barras de Mortero en Agua, INTE C166 Durabilidad y/o Resistencia a los Sulfatos, ASTM C1012 Densidad, INTE C141 Resistencia a la Compresión, INTE C57 Finura en malla 45µm, INTE C142 Calor Hidratación, ASTM C186 Contenido de Aire, INTE C136 Falso Fraguado, INTE C169 Reactividad Alkali Agregado, ASTM 227</p> <p>El muestreo se realiza según procedimiento I-CG.OP 06.22; I-CG.OP 06.19 según lo establece el plan de calidad (A-CG.OP 06.00.01 Plan de Calidad</p> <p>* Ensayo No Acreditado ** Ensayo y muestreo Acreditado según Alcance N° LE-095, ver alcance en www.eca.or.cr</p>										<p>Nombre: Laura Ramirez Castro Firma: Coordinadora de Cetec Laura Ramirez Castro (FIRMA) Firmado digitalmente por LAURA RAMIREZ CASTRO (FIRMA) Fecha: 2021.05.14 14:46:53 -06'00'</p>				
<p>(*) R1D= Resistencia a la compresión a la edad de 1 día. R3D= Resistencia a la compresión a la edad de 3 días. R7D= Resistencia a la compresión a la edad de 7 días. R28D= Resistencia a la compresión a la edad de 28 días. CN= Consistencia Normal de la pasta. SET IN= Tiempo de fragua inicial. SET FN= Tiempo de fragua final. A/C= Relación Agua Cemento del mortero. NI= No indica Uc= Incertidumbre expandida del ensayo, tomando en cuenta la variabilidad de la producción.</p>										<p>Interpretaciones Adicionales: La incertidumbre reportada en el certificado se expresa con un 95% de confianza y un factor de cobertura de 2</p> <p>Observaciones Adicionales: Solo se realizó una Réplica por análisis Los resultados de resistencias 28días corresponden al mes anterior reportado en el certificado Contenido de Puzolana menor a 10% m/m</p>				

Anexo B. Caracterización de Agregado Fino Guápiles.



INVESTIGACION Y DESARROLLO

PDC.LB.FO-21 CARACTERIZACION DE AGREGADO FINO

MATERIAL: ARENA INDUSTRIAL 7,9 mm
 IDENTIFIC: GUAPILES
 TÉCNICO: EDUARDO A C
 FECHA: 19/4/2021

1- ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136)						Peso inicial (g)	976,8
Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Ret. Individual %	Ret. acumulado %	Total pasando %	Especificación mín (%) máx (%)	
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	33,2	3	3	97	80	100
2,36	#8	314,6	32	36	64	60	100
1,18	#16	193,7	20	55	45	40	85
0,6	#30	121,5	12	68	32	20	60
0,3	#50	87,5	9	77	23	10	45
0,15	#100	59,3	6	83	17	0	30
0,075	#200	40,3	4	87	13	0	18
0	Charola	126,6	13	100	0		
Total (g) =		976,7	M.F.=	3,22	Δ % de peso inicial:		0,0%

2- GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C 128)

Peso muestra saturada superficie seca + recipiente =	740,4	g
Peso recipiente =	240,4	g
Peso muestra saturada superficie seca =	500	g
Peso picnómetro + D + agua =	947,8	g
Peso muestra secada al horno + recipiente =	721,1	g
Peso recipiente =	240,4	g
Peso muestra secada al horno =	480,7	g
Peso picnómetro + agua	638,8	g

Gravedad específica = G_{ss} = 2,52Gravedad específica saturada superficie seca = G_{mm} = 2,62

Absorción = a% = 4,0

3- HUMEDAD TOTAL (ASTM C 566)

Peso muestra original + recipiente =	1519	g
Peso recipiente =	542,2	g
Peso muestra original =	976,8	g
Peso muestra seca + recipiente =	1479,3	g
Peso recipiente =	542,2	g
Peso muestra seca	937,1	g

Humedad total = w% = 4,2

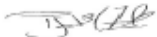
4- PESO UNITARIO (ASTM C29)

	Suelto	Envarillado
Peso unitario (kg/m ³)	1540	1660

5- CONTENIDO DE MATERIALES MAS FINOS QUE LA MALLA #200 (ASTM C117)

Peso seco original de la muestra + recipiente =	1479,3	g
Peso recipiente =	542,2	g
Peso original de la muestra =	976,8	g
Peso seco de la muestra lavada + recipiente =	1403,4	g
Peso recipiente =	542,2	g
Peso seco de la muestra lavada =	861,2	g
% más fino que la malla #200 por lavado =	11,8	

Realizado: 
 Técnico Control de calidad

Revisado: 
 Coordinado Control de calidad

Aprobado: 
 Gerente de Ingeniería

Anexo C. Equipo para la Metodología de Frasson Jr.**Anexo D. Equipo para la Caracterización de los Agregados**



Anexo E. Coronación de Especímenes Cilíndricos



Anexo F. Falla a la Compresión de Especímenes Cilíndricos



Anexo G. Toma de Mezcla Referencia 2 del Mixer



Anexo H. Falla de Bloques a la Compresión



Glosario

1. **Espécimen Cilíndrico:** Corresponde a elemento o probeta cuya forma es cilíndrica, el cual es utilizado en área de los concretos para las pruebas de compresión.
2. **Ensayo:** Consiste en una o varias pruebas que se realizan para determinar si una cosa o proceso resulta como se desea.
3. **Equipo de laboratorio:** Término general aplicable a todos los medidores, recipientes y otras herramientas necesarias para realizar síntesis y análisis de los trabajos de laboratorio.
4. **Falla a la Compresión:** Proceso de control de calidad que consiste en determinar cuál es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.
5. **Densidad:** Corresponde a una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa de un material o sustancia que hay en determinado volumen.
6. **Mixer:** Definición en inglés que se le proporciona o brinda al mezclador de agregados donde se realiza la mezcla de concreto.
7. **Coronación de especímenes cilíndricos:** Procedimiento de laboratorio a través del cual se le pretende dar un acabado final completamente liso y nivelado al espécimen cilíndrico.
8. **Dosificación:** Hace referencia al proceso en el cual se establecen las proporciones por volumen o por peso de los materiales que componen el concreto.
9. **Cohesión:** Corresponde al grado de unión que se puede presentar entre las partículas que componen a un material, el mismo se puede evaluar por tracción o al arrancamiento.
10. **Concreto o Hormigón:** Mezcla de cemento, agua, agregado fino y grueso, la cual una vez homogeneizada y endurecida forma un material de construcción altamente resistente.
11. **Granulometría:** Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la cantidades retenidas en cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.
12. **Mampostería:** Es un sistema de construcción tradicional. Consiste en superponer rocas, ladrillos o bloques de concreto prefabricados, para la edificación de muros o paramentos.
13. **Microsoft Excel:** Se trata de un software que permite realizar tareas matemáticas gracias a sus funciones, a través de hojas de cálculo.
14. **Empaquetamiento:** Corresponde a la acción de agrupar o comprimir una cantidad de cosas en un determinado objeto o lugar.
15. **Puzolana:** Es una roca volcánica muy fragmentada y de composición basáltica; se utiliza como aislante en la construcción y para la fabricación de cemento hidráulico.