

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DE GRADO

**USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN
COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND
EN EL MUNICIPIO DE COBIJA**

Univ. Jesus Duran Choque

Asesor: Ing. Mirko Fabrício Ulloa Quintana

Tutor: Ing. Richard Manrique Sanabria

Cobija - Pando – Bolivia

2022

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Crisóstomo Duran Ortega y Martha Choque Lucero, mi mayor gratitud por darme la vida, por creer siempre en mí, por hacerme creer y sentir que en la vida nada es imposible, gracias porque fueron esas palabras mi fortaleza durante todo este tiempo de estudio.

A mis hermanos: Mariana, Confesora, Primo, Douglas y Zulema, de los cuales estuvieron desde el primer día que inicie esta etapa formativa, gracias por todo su cariño, atención y apoyo.

A mi alma mater: Universidad Amazónica de Pando, por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente, por las vivencias, conocimientos y experiencias adquiridas durante toda esta etapa formativa.

A mis docentes: Quienes me transmitieron día a día conocimiento, experiencia y lecciones de vida guiando y acompañando en el camino de la realización profesional, forjando parte muy importante de la persona que soy hoy.

A mis tribunales: Ing. Jaime Neil flores Zambrana, Ing. Christian Alex veneros Ordoñez, Ing. José Luis Richard Manrique Sanabria, por las recomendaciones y correcciones brindadas a esta investigación.

A mi asesor: Ing. Mirko Fabricio Ulloa Quintana, por compartir sus conocimientos y experiencia como profesional que me ayudaron en la elaboración y concepción del presente trabajo.

A mis compañeros y amigos, por brindarme su amistad compartiendo anécdotas y experiencias. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Mi padre: Crisóstomo Duran Ortega, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, que desde su alcance dio todo de sí mismo del cual me siento orgulloso.

Mi madre: Martha Choque Lucero, sé que desde donde esta, me está viendo, lo único que me gustaría es abrazarla y decirle que gracias mama, tu hijo lo logro.

Mis hermanos: Mariana, Confesora, Primo, Douglas y Zulema, quienes son y siempre serán mi familia, que con su apoyo me ayudaron a seguir adelante.

A mis amigos y compañeros de trabajo de quienes conté con su comprensión y apoyo para culminar mi carrera profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito principal evaluar las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz y mediante su uso como sustituto parcial del cemento en la elaboración de mezclas de hormigón, determinando su desempeño como material alternativo al cemento, este trabajo se realizó en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando y los servicios del Laboratorio de Química de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba. Este proceso de investigación se basó en la obtención de la ceniza de cáscara de arroz (CCA) mediante calcinación a temperatura controlada de 600 °C, evaluando sus propiedades fisicoquímico por su clasificación como material puzolánico, posteriormente se realizó un diseño de mezcla de hormigón con $f'c=210\text{kg/cm}^2$ de las cuales se elaboró 45 especímenes como muestra de control y 45 especímenes como muestra experimental para cada porcentaje de sustitución, se llega a evaluar la incidencia en la resistencia a la compresión mediante ensayos realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. Mediante los resultados obtenidos, se demuestra que la sustitución de cemento por CCA tiene incidencia en la trabajabilidad, siendo que a partir de la sustitución del 10% del cemento por CCA el hormigón pasa a estar en un estado no plástico, y con respecto a la resistencia a compresión se llega a demostrar que las muestras experimentales con sustituciones del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% a los 7 días de curado tienen un incremento del 9%, 16%, 9%, 15% y 29% respectivamente, pero a los 28 días de curado presenta un resultado variable del -3%, 0.7% -0.6%, 1% y -6% respectivamente. En conclusión, la CCA tiene altas propiedades puzolánicas por su alto contenido de sílice que ocupa un 84.79% de sus componentes químicos, además de tener un índice de puzolanidad del 108.14 %.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES.....	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL	11
1.3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.4. OBJETIVOS.....	11
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (O.E.).....	12
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.6. METODOLOGÍA	14
1.7. ALCANCES.....	15
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. DEFINICIONES	17
2.1.1. ADITIVOS Y ADICIONES PARA EL HORMIGÓN.....	17
2.1.2. ADICIONES.....	17
2.1.2.1. ADICIONES MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS	18
2.1.3. PUZOLANAS.....	19
2.1.3.1. TIPOS DE PUZOLANAS	19
2.1.3.2. CLASIFICACIÓN DE PUZOLANAS SEGÚN ASTM C 618.....	20
2.1.4. REQUISITOS NORMADOS DE LAS PUZOLANAS.....	20
2.1.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA.	20
2.1.4.2. REQUERIMIENTOS FÍSICOS.	21
2.1.5. REACCIÓN QUÍMICA DE LA PUZOLANA EN EL CEMENTO.....	22
2.1.6. INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN EL HORMIGÓN	24
2.1.7. CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.....	26
2.1.7.1. PRODUCCIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ.....	26
2.1.7.2. ESTRUCTURA DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.....	27
2.1.7.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ	28

2.1.7.4.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL CEMENTO POR CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.....	30
2.1.8.	HORMIGÓN.....	32
2.1.8.1.	HISTORIA DEL HORMIGÓN.....	32
2.1.8.2.	COMPONENTES DEL HORMIGÓN.....	32
2.1.8.3.	CEMENTO.....	33
2.1.8.4.	AGREGADOS.....	38
2.1.8.5.	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.....	40
2.1.8.6.	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	42
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
3.1.	OBTENCIÓN DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ (O. E. 1).....	48
3.1.1.	OBTENCIÓN Y MUESTREO Y DE LA CÁSCARA DE ARROZ.....	48
3.1.2.	CALCINACIÓN DE CÁSCARA DE ARROZ.....	50
3.2.	ANÁLISIS QUÍMICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ MEDIANTE ASTM C 311 (O. E. 2).....	52
3.2.1.	PROPIEDADES PUZOLÁNICAS DE LA CCA.....	52
3.2.1.1.	ANÁLISIS QUÍMICO DE CCA.....	52
3.2.1.2.	PRUEBAS FÍSICAS DE CCA.....	53
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS (O. E. 3) 67	
3.3.1.	MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75.....	67
3.3.2.	REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA ASTM C-702.....	70
3.3.3.	DETERMINACIÓN DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMIZ 0,075 MM (No. 200) (ASTM C 117 – 03).	72
3.3.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA (ASTM C 128 - 01).....	75
3.3.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN NORMA (ASTM C 127 - 01).....	80
3.3.6.	DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C 29/C 29M – 97).	85

3.3.7.	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN EL AGREGADO (ASTM C 566 - 04).	91
3.3.8.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES DE AGREGADO GRUESO Y FINO (ASTM C 136 - 01).	94
3.3.9.	COMBINACIONES DE GRANULOMETRÍAS, UBICANDO DENTRO DE LOS LÍMITES DE (ASTM C 33 - 03).	100
3.4.	DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN H21 MEDIANTE EL MÉTODO DE LA ACI 211 PARA SU USO COMO MEZCLA DE CONTROL (O. E. 4)	105
3.4.1.	DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE 21 MPA - MÉTODO ACI 211	105
3.4.1.1.	DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN DE CONTROL.	106
3.4.1.2.	MEZCLAS DE PRUEBA PARA VERIFICAR LOS RESULTADOS REQUERIDOS DEL DISEÑO DE MEZCLA.	112
3.5.	DETERMINACIÓN DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS (O. E. 5)	114
3.5.1.	DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN SUSTITUYENDO CEMENTO POR CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.	114
3.6.	ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS Y MEZCLA DE CONTROL (O. E. 6)	116
3.6.1.	DETERMINACIÓN DE REVENIMIENTO SEGÚN MÉTODO (ASTM C 143/C 143M – 03).	116
3.6.2.	PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA (ASTM C 31/C 31M - 03)	119
3.6.3.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN (ASTM C 39/C 39M - 03)	123
3.6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA TERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA.	125
3.6.4.1.	ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA.	125
3.7.	EVALUACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DE LAS MEZCLAS DE CONTROL Y EXPERIMENTALES (O. E. 7)	126
3.7.1.	ANÁLISIS DE COSTO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE CCA	126
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	129
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS FISICOQUÍMICO DE CCA.	129
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGREGADOS	130
4.2.1.	AGREGADOS FINOS	130

4.2.2.	AGREGADOS GRUESOS.....	131
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE HORMIGÓN	131
4.3.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN 131	
4.3.2.	ANÁLISIS RESULTADOS EN EL HORMIGÓN FRESCO	133
4.3.3.	ANÁLISIS RESULTADOS EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO	134
4.3.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	136
4.3.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS COSTO DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN DE CONTROL Y EXPERIMENTALES.....	138
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
5.1.	CONCLUSIÓN GENERAL	139
5.1.1.	RESPECTO A LA PUZOLANIDAD DE LA CENIZA	139
5.1.2.	RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	139
5.1.3.	RESPECTO A LA DURABILIDAD.....	139
5.1.4.	RESPECTO AL COSTO ECONÓMICO.....	140
5.1.5.	RESPUESTA A PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	141
5.2.	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	141
5.3.	RECOMENDACIONES	143
6.	BIBLIOGRAFÍA	144
7.	ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos químicos para cenizas volantes y puzolanas	21
Tabla 2 Requisitos físicos para cenizas volantes y puzolanas	21
Tabla 3 Reacciones de hidratación de los silicatos del cemento.....	22
Tabla 4 Métodos de producción de Ceniza de Cáscara de Arroz	26
Tabla 5 Efecto de la temperatura de combustión en la estructura de la CCA.....	28
Tabla 6 Composición de óxidos de la ceniza de cascarilla de arroz.....	29
Tabla 7 Composición química de la CCA en distintos países	30
Tabla 8 Remplazo óptimo de CCA para el desarrollo de fuerza comparable a las muestras de control.	31
Tabla 9 Porcentajes típicos de intervención de los óxidos.....	33
Tabla 10 Consistencia de mezcla de hormigón (sin aditivos).....	40
Tabla 11 Criterios con base en la resistencia a la compresión según la NB, la EHE y la ACI....	41
Tabla 12 Factor para incrementar la desviación estándar de acuerdo con el número de ensayos.	43
Tabla 13 Factores para el cálculo de la desviación estándar dentro de la tanda (d_2).	44
Tabla 14 Estándares de control de la desviación estándar del lote de muestras hormigón $f'c' \leq 35$ MPa.	45
Tabla 15 Estándares de control del coeficiente de variación entre muestras hormigón $f'c' \leq 35$ MPa.....	45
Tabla 16 Estructura de la CCA calcinadas a diferentes temperaturas	51
Tabla 17 Análisis composición químico de la CCA	52
Tabla 18 Clasificación de la CCA según resultados componentes químicos	53
Tabla 19 Especificaciones para ensayo método de prueba estándar ASTM C 109/C 109M.....	58
Tabla 20 Especificaciones estándar para arena estándar ASTM C 778.....	59
Tabla 21 Resultados ensayo de arena graduada estándar ASTM C 778.....	60
Tabla 22 Resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm.....	64
Tabla 23 Clasificación de la CCA según resultados de pruebas físicas.....	66
Tabla 24 Tamaño de muestras para agregados según ASTM D-75.....	68
Tabla 25 Límites para sustancias nocivas en agregados para el hormigón.....	72
Tabla 26 Tamaño de muestra para pérdida por lavado según ASTM C117.	73
Tabla 27 Datos para determinar la gravedad específica de los agregados finos.....	80
Tabla 28 Gravedad específica de los agregados	80
Tabla 29 Tamaño de muestra representativa.....	82
Tabla 30 Datos de agregados gruesos para determinación de gravedad específica.....	85
Tabla 31 Gravedad específica de los agregados gruesos	85
Tabla 32 Capacidad de recipiente volumétrico para densidad bruta ASTM C-29/C-29M.....	86
Tabla 33 Densidad bruta compactada o peso unitario compactado de agregados.	90
Tabla 34 Densidad bruta suelta o peso unitario suelto de agregados.....	91
Tabla 35 Masa mínima de muestra de ensayo de contenido de humedad.	92

Tabla 36 Porcentaje de humedad de los agregados.....	93
Tabla 37 Tamaño mínimo de la muestra para ensayo de granulometría.	95
Tabla 38 Granulometría de Brita 1 (25 mm).....	99
Tabla 39 Combinación de agregado grueso piedra triturada.	101
Tabla 40 Verificación límites de gradación ASTM C33 combinación agregado grueso.	101
Tabla 41 Combinación de agregado fino polvo de brita y arena.	103
Tabla 42 Verificación límites de gradación ASTM C33 combinación agregado fino.....	103
Tabla 43 Características físicas de los agregados combinados gruesos y finos.....	105
Tabla 44 Características de los materiales para el diseño de mezcla de hormigón	106
Tabla 45 Resistencia promedio requerida (f'_{cr}) cuando no hay datos disponibles de desviación estándar.	107
Tabla 46 Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.....	107
Tabla 47 Requerimiento de agua para diferentes revenimientos y tamaño máx. de agregado .	108
Tabla 48 Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del hormigón	108
Tabla 49 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón	109
Tabla 50 Primera estimación del peso del hormigón fresco	110
Tabla 51 Cálculo de agregado fino por volumen absoluto	111
Tabla 52 El resumen de cantidades de cada material por m ³ de hormigón.....	111
Tabla 53 Dosificación mezcla de prueba.	112
Tabla 54 Resultados diseño de mezcla dosificaciones de prueba.	113
Tabla 55 Materiales para dosificación de hormigones de control y experimental.....	115
Tabla 56 Trabajabilidad del hormigón.....	118
Tabla 57 Asentamiento de las diferentes mezclas de hormigón	119
Tabla 58 Requisito método de consolidación	121
Tabla 59 Requisitos de moldeado por varillado.....	121
Tabla 60 Análisis de precio unitario producción de CCA	127
Tabla 61 Análisis de precio unitario de materiales para la producción de un M ³ de hormigón	127
Tabla 62 Clasificación de la ceniza de cáscara de arroz.....	129
Tabla 63 Revenimiento con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por CCA	133
Tabla 64 Variación de f'_{cr} entre la muestra de control y las muestras experimentales.....	134
Tabla 65 Resultados del análisis estadístico de resistencia característica	136
Tabla 66 Resumen costo unitario de materiales para producción de hormigón de control y experimentales	138
Tabla 67 Variación del peso de hormigón experimental	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Consumo y producción de cemento, y PBI del mundo (2006-2018)	8
Figura 2 Producción de cemento y emisiones de CO ₂ relacionados con su fabricación.....	9
Figura 3 Explotación de puzolana, empresa minera SERMISUD Comunidad de La Calera- Sucre.	10
Figura 4 Problemas por la explotación de la puzolana en yacimientos mineros	10
Figura 5 Reacción de hidratación del cemento	23
Figura 6 Reacción adición de puzolana	23
Figura 7 Distribución normal supuesto correspondiente al hormigón.....	43
Figura 8 Diagrama de flujo de la primera etapa del desarrollo experimental.....	47
Figura 9 Diagrama de flujo de la segunda etapa del programa experimental.....	48
Figura 10 Ubicación planta peladora de arroz Filadelfia.....	49
Figura 11 Obtención y muestreo de la cáscara de arroz	49
Figura 12 Horno mufla marca Nabertherm capacidad 30 – 3000 °C	51
Figura 13 Lectura inicial y fina ensayo de densidad de CCA	55
Figura 14 Ensayo arena graduada estándar ASTM C 778.....	60
Figura 15 Índice de puzolanidad muestra de control.....	61
Figura 16 Índice de puzolanidad muestra de prueba	62
Figura 17 Determinación de la resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm.....	63
Figura 18 Resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm	64
Figura 19 Agregados utilizados en la investigación.	69
Figura 20 Almacenamiento de Agregados utilizados en la investigación.	70
Figura 21 Cuarteo de agregados “Método B” ASTM C-702.....	71
Figura 22 Lavado del material que pasa por tamiz 0,075 μm (No. 200).....	74
Figura 23 Gravedad específica y absorción del agregado fino	78
Figura 24 Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	83
Figura 25 Recipiente volumétrico par densidad bruta de agregado.....	88
Figura 26 Determinación de peso unitario compactado	89
Figura 27 Determinación de peso unitario suelto	90
Figura 28 Proceso de tamizado de agregados.....	96
Figura 29 Muestra retenida en los tamices	97
Figura 30 Curva granulométrica de Brita 1 (25 mm)	100
Figura 31 Curva granulométrica combinación de agregado grueso.	102
Figura 32 Curva granulométrica combinación de agregado fino.	104
Figura 33 Resultados diseño de mezcla dosificaciones de prueba.	113
Figura 34 Ensayo determinación de revenimiento ASTM C 143.....	118
Figura 35 Preparación de especímenes cilíndricos de hormigón para ensayos de resistencia ..	122
Figura 36 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón	124
Figura 37 Resultados de diseño de mezcla dosificaciones de prueba.....	132

Figura 38 Curva de madurez de la resistencia a compresión del hormigón	135
Figura 39 Evolución del costo unitario de materiales para producción de hormigón según porcentaje de sustitución.....	138

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día en la gran mayoría de construcciones civiles el hormigón es considerado uno de los componentes más empleados en este rubro, ya que este es un material mecánicamente resistente, estable y muy versátil, sin embargo, se han estado presentando diversos cuestionamientos en cuanto a su constante y excesivo uso, específicamente a uno de sus componentes como es el cemento, ya que este en su proceso de fabricación produce problemas medioambientales y de sostenibilidad.

Es por eso que a nivel mundial se elaboran diversas investigaciones con la finalidad de evaluar, identificar y emplear nuevas fuentes de materiales alternativas al cemento, con el objetivo que la producción de hormigón sea cada vez más sostenible y amigable con el medio ambiente, entre estas investigaciones se ha empezado a evaluar el uso de desechos agroindustriales que hoy en día también son considerados un problema ambiental, uno de estos desechos agroindustriales es la cáscara de arroz, pero esta por sí sola no tiene ninguna propiedad beneficiosa para la producción del hormigón, sino que mediante un proceso de calcinación se pueda obtener la ceniza de cáscara de arroz que se ha demostrado tener altas propiedades puzolánicas.

Es de ahí, que surge la necesidad de realizar la presente investigación donde se pueda identificar las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz y su incidencia de su uso como sustituto parcial del cemento Portland en la producción de mezclas de hormigón.

Para un adecuado entendimiento la presente tesis, ha sido organizada en los siguientes puntos, los cuales se detalla a continuación:

El Capítulo I: Introducción, en el cual se aborda los aspectos básicos de la investigación como el planteamiento del problema, los antecedentes, los objetivos, la justificación, la metodología de la investigación y los alcances.

El Capítulo II: Fundamentos teóricos y estado del arte del dominio del problema, donde se describe conceptos generales sobre los materiales puzolánicos y su clasificación, conceptos sobre la tecnología del hormigón y sus variantes en relación al tema de investigación.

El Capítulo III: Descripción de los métodos utilizados, donde se detalla las características de los materiales empleados y el procedimiento experimental utilizado para obtener los resultados de la investigación.

El Capítulo IV: Análisis de resultados, donde se detalla y analiza los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en laboratorio.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones, donde se da las conclusiones generales y específicas obtenidas en la investigación y las recomendaciones para su aplicación y ampliación en futuras investigaciones similares.

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, el hormigón, por su característica de resistencia, durabilidad y versatilidad, es considerado el material más empleado en la industria de la construcción a nivel mundial, es un material compuesto por varios materiales que consiste esencialmente de un medio aglomerante que por lo general es una mezcla del cemento Portland y agua, dentro del cual, se encuentran partículas o fragmentos de una combinación de agregado fino y grueso, así mismo es comprendido que conforme va evolucionando la tecnología del hormigón, se fueron empleando

adiciones en el diseño de mezclas, las cuales brindaron una serie de beneficios tales como: la durabilidad, compacidad, resistencia etc., permitiendo de esa forma ampliar el campo de su aplicación.

Entre las adiciones estudiadas en los últimos años, se pudo evidenciar que, a nivel internacional se están empleando materiales alternativos a los convencionales en el diseño de mezclas de hormigón, con la finalidad de mejorar algunas características mecánicas y reducir el costo de su producción, representando así una nueva alternativa para la industria de la construcción. Por lo cual, surge el cuestionamiento al uso constante del cemento Portland como único material aglomerante para el diseño de mezclas de hormigón en la ciudad de Cobija, ya que a través de diversas investigaciones, se puede evidenciar que la utilización de materiales tales como: Cenizas volantes, Cenizas de sub productos agrícolas (ceniza de cáscara de arroz), Escoria y Humos de sílice, pueden sustituir adecuadamente al cemento Portland, debido a que estos tienen altas propiedades puzolánicas, con la ventaja de que estos subproductos presentan un bajo costo económico además de ser amigables con el medio ambiente.

Ahora, con base en los cuestionamientos, se pudo observar que uno de las principales dificultades que tiene el ingeniero a la hora de querer aplicar estos estudios internacionales en la ciudad de Cobija, es que no existe estudios a nivel local con materiales del lugar, lo que imposibilita su aplicación, a causa de la incertidumbre sobre el uso de estos materiales alternativos y sus efectos en las características mecánicas del hormigón, específicamente en su resistencia a la compresión.

Es de ahí que surge la importancia de conocer, verificar y tener un estudio sobre materiales alternativos que puedan sustituir al cemento Portland como material aglomerante en la ciudad de

Cobija, debido a que la demanda del uso del cemento va en constante crecimiento a nivel local, y de esa forma apoyar al crecimiento económico de las empresas locales que se dedican a la industria de la construcción, otorgando la suficiente información sobre el tema de estudio mediante este trabajo de Grado. Además, se pretende dar pie a que se inicien estudios más especializados sobre materiales alternativos para el diseño de mezclas y la evaluación de su influencia en las propiedades del hormigón.

1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES

Por lo dicho anteriormente, se observa que en los últimos años se han desarrollado investigaciones donde se demuestra las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz además de que tiene la propiedad de mejorar la resistencia mecánica del hormigón, utilizando el mencionado material alternativo como sustituto parcial del cemento Portland en el diseño de mezclas de hormigón, se presenta los siguientes antecedentes:

(Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017) Presentan un artículo científico titulado: “Estructura y propiedades de morteros y hormigones con ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario”, donde se hace una revisión exhaustiva y actualizada del trabajo de numerosos investigadores sobre la estructura y las propiedades del hormigón, que contiene ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento Portland. Y que a partir de los resultados de la revisión de investigaciones se llega a las siguientes conclusiones: la ceniza de cáscara de arroz en su estado amorfo y poroso, obtenidas mediante calcinación a temperatura controlada de entre 600 y 700 °C, tiene potencial para su uso en hormigón estructural debido a las tendencias puzolánicas y que su composición química mostró alto contenido de sílice, además de que estas composiciones químicas no se ve afectado por la ubicación geográfica, así mismo se pudo llegar a la conclusión de que la pasta que contiene ceniza de cáscara de arroz, requiere más

agua para lograr la consistencia estándar en comparación con las muestras de control sin ceniza de cáscara de arroz, influyendo así en la resistencia a compresión del hormigón, ya que, para lograr resultados comparables con la muestra de control, solo se podrá hacer la sustitución de hasta un 10 % de cemento por ceniza de cáscara de arroz.

(Wilbert, De Souza, & Piva, 2017) estudiantes de la Universidad de Vale do Rio dos Sinos São Leopoldo – RS - Brasil, presentan el artículo científico titulado “Análisis de interfaces de áridos de hormigón reciclado y morteros de hormigón con ceniza de cascarilla de arroz y filler basáltico por nanoindentación” en la cual se hace un estudio sobre materiales alternativos como adición en mezclas de mortero, donde se define que la ceniza de cáscara de arroz (CCA), tiene una masa específica de $2,07 \text{ g/cm}^3$ y está clasificada, según la NBR 12653 (ABNT, 2014), como una puzolana clase E, con alto contenido de sílice, cuya suma de los compuestos de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 representa un total del 95,23%, así mismo se llega a la conclusión que, la adición de CCA provoca la densificación del mortero, aumentando la masa específica, la resistencia a compresión y la resistencia a tracción de los morteros. Las mayores resistencias encontradas para cada tipo de adición se dieron en los niveles de adición del 10%.

(Trujillo Montero, 2017) En su tesis para optar el título de ingeniero civil, en la Universidad San Francisco De Quito, presenta el trabajo titulado “Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador” donde se llega la conclusión de que el dióxido de silicio obtenido de la cascarilla de arroz, obtenido de un proceso de calcinación con temperatura de alrededor de los $500 \text{ }^\circ\text{C}$, y posteriormente de trituración presentó buenas propiedades como material puzolánico, con respecto a la resistencia a compresión, se hizo ensayos en cubos de mortero de $50 \times 50 \text{ mm}$ donde la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz en un 5% dieron mejor resultados

comparados a las sustituciones del 10% y 15%, así mismo se hizo la sustitución de un 10% de ceniza de cáscara de arroz en la dosificación de un hormigón convencional donde para el diseño de este hormigón se usó piedra 57 (piedra triturada 4,75 - 25 mm) como agregado grueso, arena como agregado fino y cemento Holcim tipo GU, obteniendo mejores prestaciones en resistencia a los 28 días de curado, puesto que generó un aumento del 16% en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla control.

(Huaroc Palacios, 2017) Realizó la tesis titulada "Influencia del porcentaje de micro sílice a partir de la ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y peso unitario de un hormigón mejorado", para optar por el título de ingeniero civil de la Universidad Privada Del Norte, donde para obtener la ceniza de cáscara de arroz utiliza un horno cilíndrico a temperatura entre los 400° - 600°C, una vez fría la ceniza llega a utilizar un molino de bolas para obtener partículas más finas y llegar al tamaño micro, concluyendo con todos sus ensayos de laboratorio llegan a determinar que con una adición de ceniza de cascarilla de arroz al 6% se alcanzó la mayor resistencia a la compresión que fue de 376 kg/cm² a los 28 días con una ganancia del 27% respecto a la probeta patrón de 280 kg/cm².

(Do Santos & Lopes, 2018) Presentan el artículo científico titulado “Estudio de la resistencia del hormigón con arena de fundición y ceniza de cascarilla de arroz” estudiante y asesor de maestría en ingeniería civil respectivamente, en la Universidad Federal de Santa María - Brasil. Donde se observa que, se hace estudios sobre la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz en distintos porcentajes, tales como 5%, 10%, 15% y 20%, teniendo como resultado que la óptima sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz es de 5%, ya que sustituciones mayores y a partir del 10% empiezan a tener disminuciones considerables con respecto a la resistencia a compresión de referencia, los materiales empleados para este estudio fueron cemento tipo CP II-

E-32 como aglomerante, Arena como agregado fino, piedra chancada (Brita 1) como agregado grueso y ceniza de cáscara de arroz (Micro Silica MS – 325) como adición.

(Aliaga & Badajos, 2018) en su tesis titulado “Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de hormigón f'c 210kg/cm²”, presentado para obtener el título profesional de ingeniero civil, llega a determinar que la adición de ceniza de cascarilla de arroz para elaboración de hormigón fc 210 kg/cm², Atalaya – Ucayali, 2018; influye de manera positiva, de tal modo que, de acuerdo a los resultados obtenidos, se reduce el uso de cemento entre 10% a 15%. Mientras con la adición de 20 % de CCA no llega a la resistencia esperada, así mismo determina que la adición de ceniza de cascarilla de arroz, la dosificación óptima es con la adición de ceniza de cascarilla de arroz de 10%, debido a que es la única dosificación que sobrepasa llegando a un promedio de 101.97 % compresión a los 28 días, por tal motivo recomienda completar la investigación con una dosificación menor que 10% de sustituto de ceniza de cascarilla de arroz a cemento.

A nivel nacional no se encontraron estudios relacionados con el tema de estudio de la presente tesis de grado, pero se pudo obtener información con respecto a un aditivo a base de microcílíce (componente principal de los productos puzolánicos) de fabricación nacional denominado Sika® Fume, según (Sika Bolivia, 2019) este aditivo contiene partículas reactivas de dióxido de sílice extremadamente finas (0,1 µm). La presencia de Sika® Fume, otorga una gran cohesión interna y retención de agua, permitiendo una mayor estabilidad de la mezcla fresca. En el hormigón endurecido la reactividad latente de la microsílíce forma enlaces químicos con la cal libre del cemento, produciendo una matriz mucho más densa, resistente e impermeable y se recomienda su uso en dosis comprendidas entre 2% y 10% con relación al peso del cemento.

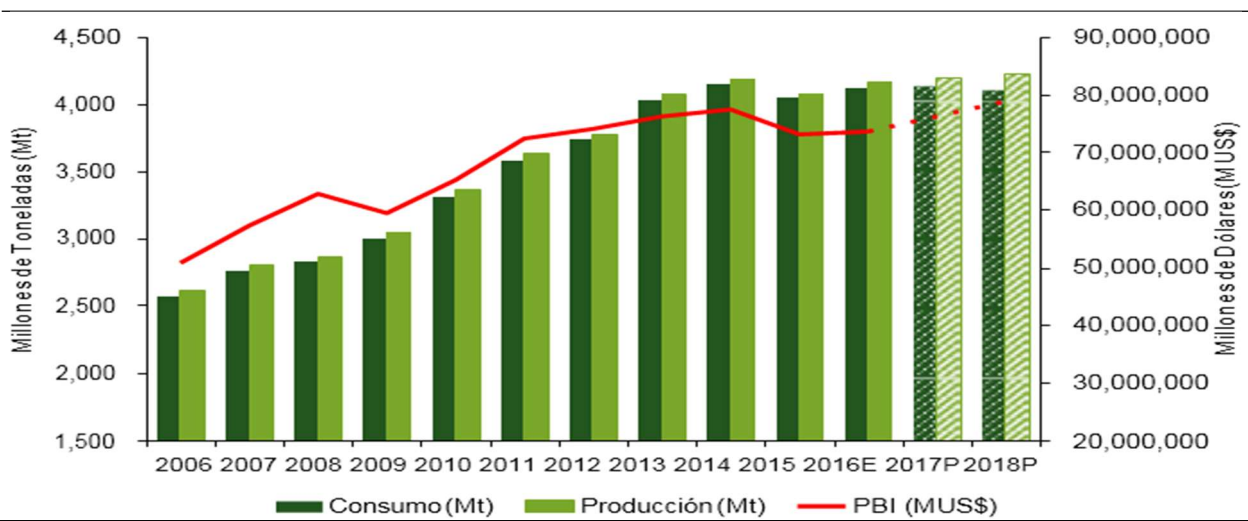
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los diversos materiales de construcción empleado por el hombre para la edificación de sus infraestructuras, el hormigón es el material más utilizado en las obras, ya que este es un material mecánicamente resistente y estable, lo que a su vez lo hace uno de los materiales más consumidos a nivel mundial.

Así mismo con el pasar del tiempo las exigencias a este material fueron incrementando por diversos factores, uno de estos es que cada vez se realizan más estructuras de gran magnitud que requieren mayor cantidad de hormigón y con mayores características de resistencia, ya que muchas veces un hormigón convencional no consigue cumplir estas exigencias.

Con la necesidad de producir mayor cantidad de hormigón y con mejores características mecánicas para cumplir la necesidad de infraestructura del hombre, se ha optado por incrementar el uso del cemento, teniendo por consecuencia un aumento en su fabricación como se muestra en la figura 1.

Figura 1
Consumo y producción de cemento, y PBI del mundo (2006-2018)



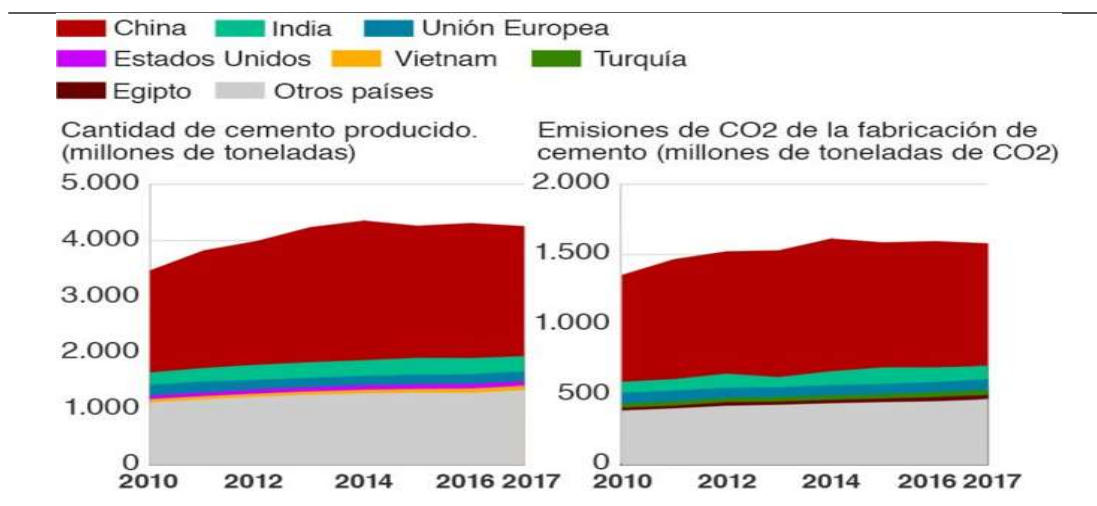
Elaboración: ASOCEM

Fuente: Internacional Cement Review, Banco Mundial y FMI

Este alto consumo y producción de cemento viene aliada con una gran cantidad de emisiones de dióxido de carbono en su proceso de fabricación como se muestra en la figura 2, siendo esta la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del mundo, según el Centro de Estudios Británico Chatham House. “Si la industria del cemento fuera un país, sería el tercer emisor más grande del mundo, detrás de China y EE.UU. Emite a la atmosfera más CO₂ que el combustible de aviación (2,5%) y no está muy lejos del que emite el negocio mundial de la agricultura (12%)” (BBC News, 2018).

Figura 2

Producción de cemento y emisiones de CO₂ relacionados con su fabricación



Elaboración: (BBC News, 2018)

Fuente: PBL Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos

Viendo esta problemática en cuanto al uso y consumo excesivo del cemento muchas investigaciones se encaminaron en hallar la forma de reducir el uso del cemento y a su vez incrementar el desempeño de la misma, llegando así a implementar el uso de aditivos y adiciones tales como la puzolana, muestra de eso es que en la actualidad todo cemento producido y consumido a nivel nacional es un cemento puzolánico.

Si bien con la adición de la puzolana se reduce el consumo del Clinker que es el principal componente del cemento, esta adición trae consigo un alto nivel de deforestación como se muestra en la figura 3, estas actividades mineras a su vez llegan a afectar a comunidades campesinas generando un problema ambiental y social, como se reportó en la comunidad campesina Malca Mayu del departamento de Potosí (ver figura4).

Figura 3

Explotación de puzolana, empresa minera SERMISUD Comunidad de La Calera-Sucre.



Fuente: Periódico Correo del Sur (Álvaro Valdez, 2015)

Figura 4

Problemas por la explotación de la puzolana en yacimientos mineros



Fuente: (Periodico El Potosi, 2017)

De acuerdo a lo expuesto anteriormente considerando todos los factores del problema tales como la gran demanda de consumo del cemento y la alta contaminación ambiental que trae su producción, así como los problemas medioambientales ocasionados por la explotación minera de la puzolana, la presente investigación plantea un estudio sobre materiales alternativos que disminuyan el uso del cemento y la explotación minera para la obtención de puzolana.

1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL

Al no contar con estudios sobre materiales alternativos que se puedan usar como adiciones que garanticen un buen desempeño de las mezclas de hormigón, se está optando por incrementar el uso del cemento como único material aglomerante, ocasionando de esa forma un incremento en el costo de las construcciones de estructuras de hormigón y contribuyendo al calentamiento global del planeta.

1.3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es factible y económicamente viable, el uso de la puzolana artificial proveniente de la ceniza de cáscara de arroz, como sustituto parcial del cemento en la elaboración de mezclas de hormigón?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz para su uso como sustituto parcial del cemento Portland y su desempeño como material alternativo en la elaboración de mezclas de hormigón.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (O.E.)

O.E. 1.- Obtener la ceniza de cáscara de arroz mediante calcinación a temperatura controlada de 600 °C para el estudio de sus propiedades fisicoquímicas.

O.E. 2.- Realizar el muestreo y pruebas de ceniza de cáscara de arroz mediante el método de pruebas estándar ASTM C 311 para su uso en el hormigón.

O.E. 3.- Caracterizar las propiedades necesarias de los agregados, mediante procedimientos estándar de las normas ASTM para su uso en un diseño de mezcla.

O.E. 4.- Determinar una dosificación de hormigón H21 mediante el método de la ACI 211 para su uso como mezcla de control.

O.E. 5.- Determinar las mezclas de pruebas, mediante la sustitución de cemento por la ceniza de cáscara de arroz en la dosificación de mezcla de control, para la evaluación del comportamiento de la principal característica mecánica del hormigón en estado endurecido.

O.E. 6.- Realizar los ensayos en estado endurecido de las mezclas experimentales y mezcla de control, mediante procedimientos estándar de las normas ASTM para determinar la resistencia mecánica a la compresión.

O.E. 7.- Realizar el análisis de los resultados mediante procedimientos estadístico para determinar la resistencia a compresión característica de las mezclas experimentales y de la mezcla de control.

O.E. 8.- Evaluar el costo económico de las mezclas de control y experimentales mediante un análisis de precio unitario para determinar el costo beneficio del uso de la ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial de cemento Portland en el hormigón.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En la industria de la construcción, se producen grandes cantidades de hormigón de las cuales se espera un óptimo desempeño, existe la necesidad de garantizar y mejorar algunas propiedades mecánicas tales como su resistencia a la compresión, actualmente para eso, se ha optado por hacer uso de aditivos o adiciones y muchas veces incrementando el uso del cemento como únicas alternativas para obtener hormigones de óptimo desempeño, ocasionando esto un incremento de costo en la construcción de estructuras de hormigón

Es por eso que resulta de especial interés el realizar investigaciones desde el punto de vista técnico y económico, a materiales alternativos a los convencionales que se usan en mezclas de hormigón, identificando su eficacia y de esta forma conocer su desempeño como adición o sustitución de algunos materiales, a la hora de realizar el diseño de mezclas de hormigón que tenga un buen desempeño.

La presente investigación surge de la necesidad de evaluar las características puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz y su uso como sustituto parcial del cemento Portland en el diseño de mezclas de hormigón, para determinar su desempeño como material alternativo al cemento, la cual permitirá conocer esencialmente por medio de un análisis de resultados mediante ensayos de laboratorio, que esta sustitución parcial aporta mayor resistencia al hormigón, conllevando una disminución del uso del cemento y por consecuente una disminución del costo económico.

Por otra parte, la presente investigación busca proporcionar información que será útil para toda la industria de la construcción e ingeniero civil que busque mejorar características mecánicas el hormigón tales como su resistencia a compresión y que a su misma vez no implique un incremento en los costos económicos de su producción.

Y debido a que no se cuenta con estudios suficientes de alcance nacional sobre el uso de la ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial del cemento Portland en el diseño de mezclas, el presente documento es conveniente para afianzar un mayor conocimiento sobre el uso de puzolana artificial en mezclas de hormigón.

1.6. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos específicos planteados, las metodologías empleadas son del tipo; descriptivo, que se utiliza para describir las características de una población o fenómeno en estudio, experimental, donde se obtienen datos a través de la experimentación y los compara con variables constantes, a fin de determinar los efectos de los fenómenos en estudio.

Las razones por las que se adopta estas metodologías para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, es porque la presente investigación fue descriptivo-experimental; ya que se compara, un hormigón elaborado con un nuevo material alternativo que sustituye parcialmente al cemento Portland, con un hormigón normal, describiendo los cambios que sufren por la manipulación de variables, así mismo es del nivel cuasi-experimental porque se necesitó el apoyo de la revisión bibliográfica sobre el tema de estudio para obtener bases teóricas ya conocidas.

Esta metodología aplica al proceso de investigación de la presente tesis, nos permite conseguir los productos parciales declarados en los objetivos específicos, obtenidos mediante

procedimientos experimentales realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil, Área de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Amazónica de Pando, donde se efectuaron ensayos para conocer la resistencia a compresión del hormigón normal respecto al hormigón experimental, y de esa forma conocer y describir los efectos de la manipulación de variables que consiste en sustituir el cemento por ceniza de cáscara de arroz en distintos porcentajes.

Para la elaboración de tablas, gráficos y registros de datos, se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Office Excel, así mismo el detalle del diseño metodológico donde se encuentra la descripción de los métodos utilizados se encuentran en el capítulo tres.

1.7. ALCANCES

La presente investigación está enmarcada en el área del estudio de nuevos materiales para el diseño de mezclas de hormigón desde el punto de vista técnico y económico, específicamente en los materiales puzolánicos, tomando en cuenta la ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial de cemento.

Este estudio de las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz, parte desde su proceso de producción, análisis físico y químico, pasando por el diseño de mezcla de hormigón de control (normal), hasta la elaboración de un hormigón experimental que consiste en la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz en diferentes porcentajes (2%, 4%, 6%, 8% y 10%) con respecto al peso del cemento, usando la misma dosificación del hormigón de control, con la cual se identifica mediante resultados de los ensayos realizados en el laboratorio (rotura de probetas cilíndricas a compresión en las edades de 7, 14 y 28 días), el porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz, en el diseño de mezclas de

hormigón, y de esta forma determinando del costo-beneficio que ofrece su inclusión como material alternativo al cemento.

Para el proceso de investigación del presente estudio, se utilizó materiales disponibles en la ciudad de Cobija del departamento de Pando, como ser la cáscara de arroz que se la obtuvo de la peladora de arroz del municipio de Filadelfia pasando a obtener la ceniza de cáscara de arroz mediante la calcinación a temperatura controlada de 600 °C, así también los agregados pétreos que se usaron fueron la piedra tritura de 3/4" (brita 1), 5/8", 3/8" (brita cero), No. 4 (polvo de brita), que proceden del Brasil, la arena del río Acre como material de explotación local y como material aglomerante se utilizó el cemento Portland tipo IP-30 marca Yura de procedencia Peruana.

Todo el desarrollo de la investigación se dio acorde a la disponibilidad de instrumentos, equipos y herramientas existentes en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando.

La principal limitante de varias que se presentaron, fue el análisis químico de la ceniza de cáscara de arroz, por la insuficiencia de los equipos, reactivos y laboratorios específico donde se puedan realizar dichos análisis, por lo cual se optó por él envío de muestras al Laboratorio de Química de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba.

La delimitación temporal de la presente investigación es del tipo transversal, debido a que se recolectaron datos en un periodo de tiempo desde enero del 2021 hasta agosto del 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Para la sustentación teórica del presente estudio, implico la revisión y análisis de teorías. Por lo cual, a continuación, se presentará un resumen de aspectos más importantes que integran esta Tesis de Grado.

2.1. DEFINICIONES

2.1.1. ADITIVOS Y ADICIONES PARA EL HORMIGÓN

De acuerdo a (Gomero Cervantes , 2006) Se puede definir a los aditivos como, “una sustancia de origen químico que, no siendo agua, agregados, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, llega a reaccionar químicamente con el agua para algunas propiedades del hormigón o morteros. Y las adiciones son productos de origen mineral finamente divididas, cuya incorporación a la mezcla tiene por finalidad reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio resultante de la hidratación del cemento, para formar tobermorita adicional, disminuyendo o eliminando los poros capilares e incrementando las resistencias mecánicas de la pasta y la durabilidad del hormigón”.

2.1.2. ADICIONES

De acuerdo a (Quiroz & Salamanca, 2006) las adiciones se define que, “a diferencia de lo que ocurre con los aditivos, se agregan al hormigón en cantidades importantes, por lo que es necesario tenerlas en cuenta al determinar la composición volumétrica del hormigón, se podrán utilizarse adiciones, para modificar favorablemente alguna de las propiedades del hormigón o conseguir ciertas características especiales tales como aislamiento térmico o acústico,

determinada coloración, etc., tienen el carácter de adiciones, las escorias, cenizas volantes, ciertos polvos minerales, materiales inertes, como los colorantes, materiales no minerales, de naturaleza orgánica, tales como ciertas resinas sintéticas. Al utilizar adiciones con el hormigón no deben sobrepasarse valores límites, ya que, en caso contrario, pueden resultar perjudicadas la durabilidad del hormigón o la protección contra la corrosión, sin que esta influencia desfavorable pueda ser detectada mediante ensayos previos de corta duración”

2.1.2.1. ADICIONES MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS

De acuerdo a (Quiroz & Salamanca, 2006) los “Aditivos minerales finamente divididos. Estos se adicionan al hormigón para aumentar el volumen de la pasta o para compensar la mala gradación de los agregados. Se pueden clasificar como únicamente inactivos (inertes), puzolánicos o cementosos. Las tres clases influyen sobre el hormigón plástico de la misma manera. Los materiales puzolánicos y cementosos pueden contribuir al desarrollo de la resistencia en el hormigón y, como consecuencia, suelen requerir menos cemento para producir una resistencia dada. Cuando minerales finamente divididos se adicionan a hormigones deficientes en finos, la trabajabilidad mejora, reduce la razón y cantidad de exudación, y aumenta la resistencia. Cuando se adicionan polvos minerales a hormigón con finos suficientes, en particular a hormigones ricos en cemento Pórtland, en general disminuye la trabajabilidad para un contenido dado de agua; por lo tanto, aumenta la necesidad de agua y la contracción por secado y disminuye la resistencia. Por lo tanto, estos aditivos sólo tienen mérito en el hormigón pobre o en el hormigón fabricado con agregados deficientes en material que pase un tamiz N° 200”.

Los siguientes son ejemplos de aditivos minerales finamente divididos:

- Material inerte: Cuarzo y piedra caliza molidos, Polvos triturados Cal y talco hidratados.
- Tipos cementosos: Cementos naturales, Cales hidráulicas, Escoria siderúrgica granulada.

- Tipos puzolánicos: Estos se cubrirán ampliamente, ya que es la única adición en los cementos producidos en Bolivia

2.1.3. PUZOLANAS

De acuerdo a la norma (ASTM C 618-03, 2014) se llega a definir que: "las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes"

2.1.3.1. TIPOS DE PUZOLANAS

De acuerdo a lo descrito por (Loayza Goicochea, 2014) "Los materiales puzolánicos o adiciones activas de mayor interés en la industria del cemento pueden dividirse en dos grandes grupos: naturales y artificiales (subproductos industriales). Al primer grupo pertenecen las verdaderas puzolanas y las tobas volcánicas, así como una serie de otros productos naturales, que tienen en común un comportamiento similar frente a la cal. El segundo grupo, están, principalmente, las escorias de horno alto, las cenizas volantes y las arcillas calcinadas"

2.1.3.1.1. PUZOLANAS ARTIFICIALES

Según (Beltrán Taipe & Cama Mendoza, 2017) "En este segundo grupo están, principalmente, las cenizas de la combustión de carbón, la sílice volatilizada (humo de sílice) durante ciertas operaciones metalúrgicas y escorias de alto horno granuladas de la metalurgia férrea y no férrea, las cenizas volantes, los residuos de la calcinación de los esquistos y pizarras (arcillas calcinadas) y ceniza de cáscara de arroz (CCA)".

2.1.3.2. CLASIFICACIÓN DE PUZOLANAS SEGÚN ASTM C 618

La normativa (ASTM C 618-03, 2014) clasifican a las Cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en hormigón en tres tipos las cuales se presentan a continuación:

- **Clase N:** Puzolanas naturales calcinadas o sin calcinar, como algunas tierras diatomáceas; horstenos opalinos y pizarras; tobas y cenizas volcánicas o pumíticas, calcinadas o sin calcinar; y materiales varios que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y pizarras.

- **Clase F:** Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón antracítico o bituminoso. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

- **Clase C:** Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón sub bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicia.

2.1.4. REQUISITOS NORMADOS DE LAS PUZOLANAS

Las especificaciones estándar de las puzolanas están establecidas mediante la normativa (ASTM C 618-03, 2014), para su uso en hormigones, estos proponen requisitos mínimos y máximos que deben de cumplir un material para ser considerado como material puzolánico.

2.1.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Según la norma (ASTM C 618-03, 2014), establece que la composición química debe estar acorde con los requerimientos establecidos en la tabla 1.

Tabla 1

Requisitos químicos para cenizas volantes y puzolanas

	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), min %	70.00	70.00	50.00
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %	4.00	5.00	5.00
Contenido de humedad, máx. %	3.00	3.00	3.00
Pérdida por calcinación, máx. %	10.00	6.00*	6.00

Nota: *El uso de Puzolanas Clase F que contenga hasta un 12.00% de pérdida por calcinación puede ser aprobado por el usuario si los registros de desempeño aceptables o los resultados de las pruebas de laboratorio están disponibles.

Fuente: (ASTM C 618-03, 2014)

2.1.4.2. REQUERIMIENTOS FÍSICOS.

La norma (ASTM C 618-03, 2014) establece que las cenizas volantes y las puzolanas naturales deben cumplir con los requisitos físicos prescritos en la Tabla 2.

Tabla 2

Requisitos físicos para cenizas volantes y puzolanas

	Clase		
	N	F	C
Finura: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 μm (N° 325), máx., % ^A	34.00	34.00	34.00
Índice de actividad puzolánica: ^B Con cemento Portland, a 7 días, mín., % % Con cemento Portland, a 28 días, mín., %	75.00 ^C	75.00 ^C	75.00 ^C
Demanda de agua, máx., % del control	115.00	105.00	105.00
Estabilidad: ^D Expansión, contracción en autoclave, máx., %	0.80	0.80	0.80
Requisitos de uniformidad: Densidad, máxima variación del promedio, %	5.00	5.00	5.00
Porcentaje retenido en 45 μm (N° 325), variación máx., puntos de % del promedio	5.00	5.00	5.00

A) Se debe tener cuidado para evitar la retención de aglomeraciones de material extremadamente fino.

B) El índice de actividad de resistencia con cemento Portland no debe considerarse una medida de la resistencia a la compresión del hormigón que contiene las cenizas volantes o la puzolana. La masa de ceniza volante o puzolana especificada para la prueba para determinar el índice de actividad de fuerza con cemento Portland no se considera la proporción Recomendado para el hormigón que se va a utilizar en la obra. La cantidad óptima de ceniza volante o puzolana natural para cualquier proyecto específico se determina por las propiedades requeridas Del hormigón y otros constituyentes del hormigón y se establecerá mediante ensayos. El índice de actividad de la fuerza con cemento Portland es una medida de reactividad con un Cemento y puede variar en cuanto a la fuente de la ceniza volante o puzolana natural y el cemento.

C) El cumplimiento del índice de actividad de 7 días o 28 días indicará el cumplimiento de la especificación.

D) Si la ceniza volante o la puzolana constituyen más del 20% en peso del material cementoso en el diseño de la mezcla del proyecto, el espécimen de ensayo para la autoclave de expansión deberá contener ese porcentaje previsto. La expansión excesiva de la autoclave es altamente significativa en los casos en que el agua para volar ceniza o puzolana y cemento son bajas, por ejemplo, en mezclas de bloques o de hormigón proyectado.

Fuente: (ASTM C 618-03, 2014)

2.1.5. REACCIÓN QUÍMICA DE LA PUZOLANA EN EL CEMENTO.

Según (Quispe Villca, 2018) y como se muestra en la tabla 3 “los dos silicatos de calcio (C3S y C2S), los cuales constituyen 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al silicato de calcio hidratado, este es el corazón del hormigón”.

El cemento Portland hidratado contiene del 15% hasta 25% de hidróxido de calcio y aproximadamente 50% de silicato de calcio hidratado, en masa. (P.A.C., 2004)

Tabla 3

Reacciones de hidratación de los silicatos del cemento.

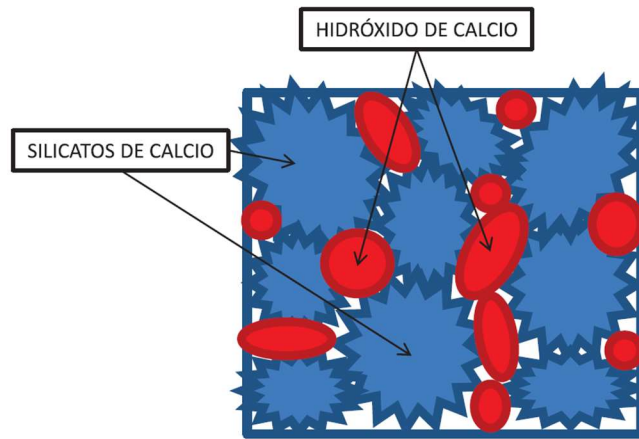
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	+	H_2O	=	C-S-H	+	CaOH
Silicato tricálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio
$2\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$	+	H_2O		C-S-H	+	CaOH
Silicato dicálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio

Fuente: (P.A.C., 2004)

Uno de los principales beneficios de las puzolanas es la reacción con el hidróxido de calcio (CaOH) en el hormigón.

- Reacción cemento: $\text{C3S} + \text{H (hidratación)} \rightarrow \text{C-S-H} + \text{CaOH}$
- Reacción Puzolana: $\text{CaOH} + \text{Silice componente de ceniza} \rightarrow \text{C-S-H}$

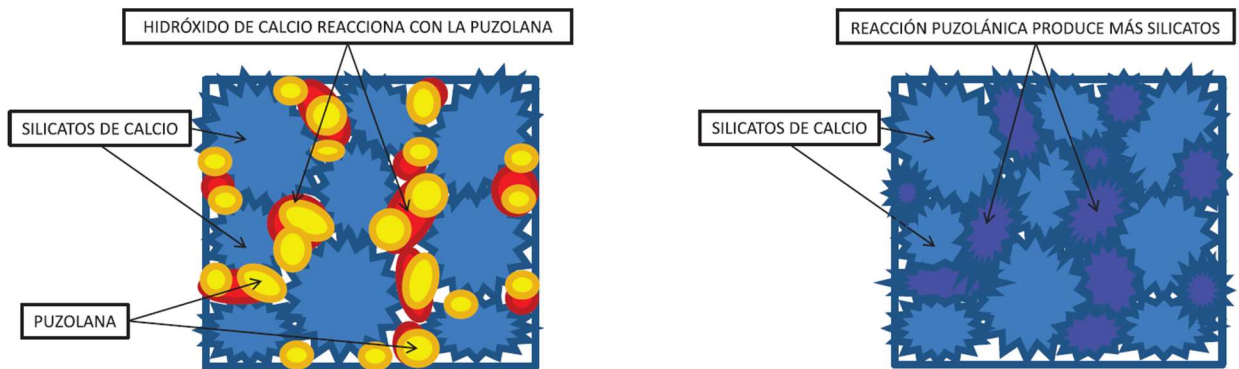
Figura 5
Reacción de hidratación del cemento



Fuente: (Ficha tecnica Cemento Yura, 2017)

En la figura 5 se puede ver como el cemento tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

Figura 6
Reacción adición de puzolana



Fuente: (Ficha tecnica Cemento Yura, 2017)

De acuerdo a la (Ficha tecnica Cemento Yura, 2017) que se muestra en la figura 6, se explica la reacción que tiene la puzolana adicionada en la mezcla de hormigón ya que se dice que, “La puzolana que contiene el cemento, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más

silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un hormigón más impermeable”.

2.1.6. INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN EL HORMIGÓN

Es e relevante importancia el conocer y conceptualizar los factores que afectan al comportamiento del hormigón con adición de puzolana artificial, siendo esto el objetivo del presente trabajo de investigación.

Según (Quiroz & Salamanca, 2006); “En el hormigón plástico, las puzolanas producirán los mismos efectos físicos que los materiales finamente divididos; sin embargo, como las puzolanas son químicamente reactivas, se obtienen beneficios adicionales”.

Ciertas puzolanas como la arcilla y la arcilla esquistosa calcinadas aumentan las necesidades de agua, lo que conduce a una mayor contracción por secado y el agrietamiento resultante; como consecuencia, debe tenerse cuidado en su selección y uso (Quiroz & Salamanca, 2006).

Las puzolanas influirán en las siguientes características del hormigón:

Control de la reacción álcali-agregado. - Los componentes silíceos de ciertos agregados reaccionarán con los álcalis del cemento Portland. El término álcali se refiere al sodio y potasio presentes en pequeñas cantidades y se expresa en los informes y análisis del molino como óxido de sodio equivalente ($\%Na_2O + 0.658*\% K_2O = \%Na_2Oe$). Esta reacción provoca una expansión excesiva, agrietamiento y deterioro general del hormigón. Las pruebas de laboratorio y la experiencia en el campo han indicado que el uso de cementos de bajo álcali (menos del 0.6% de Na_2Oe) o el uso de puzolanas, o ambas cosas, minimizan la reacción álcali-agregado, lo que entonces permite el uso de esos agregados. Las puzolanas varían en su capacidad para controlar

la reacción álcali-agregado; por lo tanto, antes de seleccionar una puzolana para este fin, se deben llevar a cabo pruebas para determinar su eficiencia. Las puzolanas que han probado su eficacia en la reducción de la reacción álcali-agregado son algunos ópalos y rocas fuertemente opalinas, las arcillas del tipo de la caolinita, algunas cenizas muy finas, la tierra de diatomeas y las arcillas calcinadas del tipo montmorillonita (Quiroz & Salamanca, 2006).

Reducción de Cemento. - Se puede reemplazar o sustituir parte del cemento Portland, por puzolana para obtener una resistencia igual (cementos Tipo IP). La resistencia producida por los aditivos puzolánicos se desarrolla con relativa lentitud, en particular a bajas temperaturas. Por consiguiente, debe continuarse el curado en húmedo durante periodos más largos, para desarrollar la resistencia potencial de ese hormigón. En condiciones favorables de curado, las resistencias últimas del hormigón que contiene puzolanas como reemplazo para parte del cemento serán más altas que las obtenidas solo con cemento Portland (Quiroz & Salamanca, 2006).

Desarrollo del calor de hidratación. - Al reducir la cantidad de cemento Portland, por metro cúbico de hormigón, por puzolanas, se reducirá el calor total de hidratación. Esto resulta muy conveniente cuando se vacían grandes masas de hormigón, ya que se reduce la temperatura máxima, con la subsiguiente reducción en los esfuerzos térmicos y el agrietamiento al enfriarse. Esta reducción en la generación de calor puede no ser conveniente cuando se vacían secciones relativamente delgadas en tiempo frío (Quiroz & Salamanca, 2006).

La adición de puzolana está restringida en la NB-011 a un rango entre el 6 y 30% del peso del cemento, en los cementos Tipo I. Por ejemplo, en COBOCE se reemplaza 8% del cemento por una puzolana en el cemento IP 40 y el 25% en el IP 30 (Quiroz & Salamanca, 2006).

2.1.7. CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.

2.1.7.1. PRODUCCIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ.

Según (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017) “Las propiedades y características de un material están estrechamente relacionadas con las del material original y los métodos y técnicas de su producción. Esto también se aplica a la ceniza de cáscara de arroz. La ceniza de cascarilla de arroz (CCA.), es un material producido por la quema de cascarilla de arroz ya sea a campo abierto o en condiciones de incineración en las que se controlan la temperatura y la duración. No se fomenta la quema a cielo abierto debido a los problemas de contaminación y también produce cenizas de cáscara de arroz de mala calidad. La CCA producido a partir de la quema abierta tiene un alto contenido de carbono que afecta negativamente el desempeño del hormigón y también da como resultado una estructura de forma altamente cristalina que es de baja reactividad. Por lo tanto, la CCA en forma amorfa de sílice tiene el potencial de ser utilizado para hormigón estructural y se produce a través de condiciones de incineración controladas (temperatura y duración)”.

Los investigadores han utilizado varios procesos de incineración para producir CCA y las características de algunos se presentan brevemente en la Tabla 4.

Tabla 4
Métodos de producción de Ceniza de Cáscara de Arroz

INVESTIGADORES	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
Van y Otros. (2013)	El incinerador modificado como se detalla en Khan et al. (2015) puede producir entre 20 y 25 kg de CCA en un período de combustión de dos días en un solo lote. El RHA producido a través de este método consta de una gran cantidad de sílice amorfa con un contenido de alrededor del 97,4 %.
Zain y Otros. (2011)	Los autores utilizaron un horno de ferrocemento simple ubicado en el Laboratorio Estructural y de Hormigón de la Universidad Nacional de Malasia (UKM), Malasia. El horno puede producir sílice amorfa con la temperatura de combustión constante del

Habeib y Mahmud (2010)	<p>horno a 500-700 C durante 2 h. Aunque la molienda durante 30 min produjo buenos resultados, los autores recomiendan la molienda durante 60 min o más para lograr una finura estándar de CCA.</p> <p>Los autores utilizaron un horno de incineración con tres pequeñas aberturas para ventilación. Tiene una capacidad de 60 kg de cascarilla de arroz crudo, con tres pequeñas aberturas para ventilación. El concepto de diseño de este horno es casi similar al de Loo et al. (1984). Los autores informaron que para producir CCA reactivo utilizando este horno, la temperatura de combustión de la cáscara de arroz no debe exceder los 690 °C y el tamaño de las partículas de CCA debe ser inferior a 11,5 µm para un tiempo de molienda de 360 min.</p> <p>Tipo de horno utilizado por los autores para producir una buena calidad de CCA. En este horno, la temperatura de combustión y la velocidad de combustión se pueden medir fácilmente. Los autores produjeron CCA a varias temperaturas, como 550, 600, 650, 700 y 750 °C con una duración del tiempo de combustión de 30, 60 y 90 min, respectivamente. Finalmente, sugirieron que la CCA producido a 650 C durante 60 min puede considerarse CCA no cristalino y también ahorrar tiempo de producción de CCA.</p>
Ramezaniyanpour y Otros. (2009)	<p>Los autores quemaron cáscara de arroz usando lechos fluidizados que se basaron en una técnica diferente Torbed reactor. El reactor Torbed puede operar con velocidades de gas de 3 a 12 m/s. La tecnología de producción de CCA es capaz de producir partículas de CCA más pequeñas, más económicas y fáciles de mantener en temperatura.</p>
Nehdi y Otros. (2003)	<p>Diseñaron un horno de ferrocemento para producir CCA. La cáscara de arroz cruda se mantuvo en el horno de incineración para quemarla y luego se dejó enfriar durante 24 h. Finalmente, mejoraron la finura de la ceniza incinerada enfriada utilizando una máquina trituradora Los Ángeles.</p>
Loo y Otros. (1984)	

Fuente: (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017)

2.1.7.2. ESTRUCTURA DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.

La investigación bibliográfica realizada por (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017) llegan a definir que, “La estructura de CCA está influenciada por la incineración. Inicialmente, la cascarilla de arroz contiene alrededor del 50% celulosa, 25 a 30% de lignina y 15 a 20% de sílice. Al quemarse, se eliminan la celulosa y la lignina, dejando la sílice. Según el rango de temperatura y la duración de la combustión de la cáscara, como se muestra en la figura 5, son

obtenidos en formas cristalinas y amorfas. Las formas cristalina y amorfa de la sílice tienen diferentes propiedades y es importante producir cenizas con las especificaciones correctas para un uso final específico, se ha encontrado que tener una estructura altamente cristalina resulta ser un material de baja reactividad, por lo tanto, es necesario asegurarse de que la sílice de la CCA esté en su estado amorfo, esto se logra a través proceso de incineración controlada”

Tabla 5

Efecto de la temperatura de combustión en la estructura de la CCA.

TEMPERATURA	ESTRUCTURA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA (M ² /G)
Hasta 500	Las partículas son de forma esférica o globular con estructura porosa.	0,5–2,1
500–600	Las partículas son no cristalinas y parcialmente cristalinas. Hay presencia de finos granos cristalinos porosos, menores de 1 mm, posiblemente manifestando la transformación entre el estado amorfo y el cristalino	76–122
600–700	Partículas amorfas y el diámetro de los poros es más alto	100–150 a baja temperaturas
700–800	Parcialmente cristalino, formación de cristales en forma de coral.	6–10
800–900	Cristalino	<5
900–1000	La formación de cristales en forma de coral aumentó, y progresivamente se hizo más fino y se fundió considerablemente.	–

Fuente: (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017)

2.1.7.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ

La composición de óxidos de ceniza de cáscara de arroz (CCA) obtenida por varios autores que se muestran en la tabla 6, se puede llegar a identificar que los contenidos de sílice son superiores al 70 % de su composición, esta representa una alta reactividad de la CCA, ya que la sílice es el componente principal responsable de la resistencia del hormigón. Esto es particularmente bueno, ya que estableció que CCA tiene la capacidad de contribuir al proceso de desarrollo de resistencia si se usa en la producción de hormigones. Así también se observa que en todos los especímenes estudiados por los diversos autores la sumatoria de sus componentes SiO₂ + Al₂O₃

+ Fe₂O₃ superan el 70%, demostrando así que la CCA pertenecería a la categoría de las cenizas volantes. (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017).

Sin embargo, se puede observar que existe una susceptibilidad con respecto a la pérdida por ignición, ya que estos presentaron valores elevados, siendo que estos valores están limitados mediante la norma (ASTM C 618-03, 2014), donde indica que, “los valores de pérdida por ignición deberían ser como máximo un 6 % (para cenizas volantes de clase C y F cuando se usan en hormigón)”.

Tabla 6
Composición de óxidos de la ceniza de cascarilla de arroz

Investigadores	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PPC	SAF
Swaminathen and Ravi (2016)	87.2	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	–	–	5.44	87.51
Mahmud et al. (2016)	85.76	0.25	1.15	0.74	0.81	0.31	–	–	4.05	87.16
Foong et al. (2015)	93.46	0.58	0.52	1.03	0.51	–	0.08	1.82	7.76	94.56
Bansal and Antil (2015)	87.20	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	–	–	5.44	87.51
Le et al. (2014)	86.81	0.50	0.87	1.04	0.85	–	0.69	3.16	4.60	88.18
Sivakumar and Mahendran (2014)	87.65	0.22	0.24	0.39	0.28	0.15	1.10	2.98	2.26	86.78
Le et al. (2015)	87.00	0.80	0.40	1.20	0.60	0.40	0.40	2.63	3.70	88.20
Kumar and Venugopal (2013)	93.80	0.74	0.30	0.89	0.32	–	0.28	0.12	3.37	94.84
Marthong (2012)	75.00	1.29	0.78	3.30	0.22	0.20	0.40	1.50	3.67	77.07
De Souza et al. (2011)	73.60	0.07	0.26	0.76	0.27	–	0.09	1.17	22.90	73.93
Memon et al. (2011)	77.19	6.19	3.65	2.88	1.45	–	0.00	1.81	5.42	87.03
Shukla et al. (2011)	87.20	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	–	–	5.44	87.51
Madandoust et al. (2011)	90.90	0.83	0.6	0.8	0.56	–	–	–	–	92.33
Raman et al. (2011)	89.87	0.14	0.94	0.49	–	–	0.25	2.16	4.81	90.95
Hwang et al. (2011)	91.00	0.35	0.41	–	0.81	1.21	0.08	3.21	8.50	91.76
Zerbino et al. (2011)	94.84	0.39	0.54	1.32	0.40	0.01	0.11	1.45	0.25	95.77
Habeeb and Mahmud (2010)	88.32	0.46	0.67	0.67	0.44	–	–	2.91	5.81	89.45
Muthandhi and Kothandaraman (2010)	89.47	Traces	0.62	2.69	1.16	0.93	2.09	0.83	2.27	90.09
Gastaldini et al. (2010)	90.00	0.28	0.14	0.45	0.28	0.02	0.08	1.55	5.00	90.42
Gastaldini et al. (2009)	87.46	2.53	0.40	0.78	1.58	–	–	4.73	2.52	90.39
Dakroury and Gasser	87.20	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	1.12	3.68	8.55	87.51

(2008)

Chindaprasirt et al. (2008)	93.20	0.40	0.10	1.10	0.10	0.90	0.10	1.30	3.70	93.70
Da Silva et al. (2008)	97.53	–	0.21	0.22	–	–	0.01	0.04	1.72	97.74
Chindaprasirta et al. (2007)	90.00	0.50	0.90	0.80	0.60	0.10	0.10	2.10	3.20	91.40
Ramezaniapour et al. (2009)	89.61	0.04	0.22	0.91	0.42	–	0.07	1.58	5.91	89.87
Giaccio et al. (2007)	87.20	0.15	0.16	0.55	0.35	–	1.12	3.60	6.55	87.51
Bui et al. (2005)	86.98	0.84	0.73	1.40	0.57	–	0.11	2.46	5.14	88.55
Bui et al. (2005)	86.98	0.84	0.73	1.40	0.57	0.11	2.46	–	5.14	88.55
Zhang et al. (1996)	87.30	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	1.12	3.68	8.55	87.61
Mehta (1992)	87.20	0.15	0.16	0.55	0.35	0.24	1.12	3.68	8.55	87.51

*SAF = SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃.

*PPC = Perdida Por Calcinacion

Fuente: (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017)

Mediante la tabla 7, se puede observar que la composición de óxidos de CCA, no es influenciado por la ubicación geográfica.

Tabla 7

Composición química de la CCA en distintos países

Países	Óxidos							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	SO ₃	PPI	SAF
Brasil	92.9	0.18	0.43	0.1	1.03	0.1	–	93.51
Canadá	87–97	0.15–0.4	0.16–0.4	0–0.24	0.4–0.49	0–0.24	4–8	87.31–97.08
Guyana	88–95	–	–	–	0.06–1.2	–	–	88.95
India	86–94	0.2–5.0	0.3–2	–	0.5–2.5	–	4.62–5.3	86.5–95.20
Iraq	86.8	0.40	0.19	1.54	1.40	1.54	3.30	87.39
Japón	91.6	0.14	0.06	0.52	0.58	0.52	4.2	91.80
Malasia	93.1	0.21	0.21	–	0.41	–	2.36	93.52
Nordland	86–96	0.08–0.84	0.03–0.73	–	0.3–1.4	–	5.14	87.1–97.57
Nigeria	67–76	3–4.90	0–0.95	0–2.8	1.36–6	0–2.8	17.78	70.0–81.85
Tailandia	89–95	0.5–1.0	2.5–2.8	–	1.0–1.3	–	3.5–3.7	92.0–98.8
U.S.A.	87–97	Traces	0.38–0.54	0–1.13	0.25–1.0	0–1.13	–	87.38–97.54
Vietnam	86.90	0.84	0.73	–	1.40	–	5.14	88.47

PPI. - perdida por ignición

SAF = SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃

Fuente: (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017)

2.1.7.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL CEMENTO POR CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.

En la investigación bibliográfica realizada por (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017) se puede llegar a identificar que diversos autores llegaron a tener similares resultados con respecto a la

resistencia a compresión del hormigón con sustitución de cemento por CCA, “La resistencia a la compresión del hormigón es un factor importante no solo porque es la propiedad que es más utilizado para el diseño de hormigón estructural, sino también es importante para fines de cumplimiento como un medio de control de calidad de campo. De la Tabla 8, se puede identificar que el hormigón que contiene reemplazo parcial de cemento con CCA, independientemente de composición porcentual de otros componentes, la sustitución de 10% en peso, dará como resultado un desarrollo de resistencia comparable al de las muestras sin CCA, independientemente de la relación agua-cemento utilizada”.

Tabla 8

Remplazo óptimo de CCA para el desarrollo de fuerza comparable a las muestras de control.

INVESTIGADOR	% CCA	A/C	COMENTARIOS ADICIONALES
Mahmud et al. (2016)	20	0.25	Hormigón de alta resistencia y alto rendimiento.
Foong et al. (2015)	15	0.35	La arena manufacturada se usó como agregado fino
Bansal and Antil (2015)	10	0.43	Grado de hormigón M30
Talsania et al. (2015)	10	0.3–0.4	–
Khassaf et al. (2014a,b)	10	0.59	–
Le et al. (2014)	10	0.33	Agregado grueso de la mezcla reemplazado por arena y agregado fino
Muthandhi and Kothandaraman (2013)	20	–	–
Abalaka (2013)	15	0.50	–
Nguyen (2011)	20	0.18	Superplastificante añadido a la mezcla
Adenuga et al. (2010)	10	0.60	–
Gastaldini et al. (2010)	20	0.35	–
Habeeb and Mahmud (2010)	10	0.53	–
Kartini et al. (2010)	20	0.68	Superplastificante añadido a la mezcla
Kumar and Rao (2010)	10	–	Superplastificante añadido a la mezcla
Uduweriya and De Silva (2010)	20	0.75	–
Dakroury and Gasser (2008)	30	All	–
Ganesan et al. (2008)	15	–	–
Saraswathy and Song (2007)	30	–	–
Mahmud et al. (1996)	15	–	–
Zhang et al. (1996)	10	–	–

*A/C = Relación Agua-Cemento.

Fuente: (Fapohunda, Bolatito, & Ahmed, 2017)

2.1.8. HORMIGÓN

2.1.8.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN

Primero le daremos un repaso a la propia palabra hormigón, ¿De dónde viene? Pues bien, la palabra hormigón procede del término formic (o formáceo), palabra latina que alude a la cualidad de «*moldeable*» o «*dar forma*». Su primera utilización la hicieron los antiguos griegos, hacia el año 500 a.c., y los romanos también lo utilizaban, añadiéndole cenizas volcánicas o puzolánicas, o añadiendo a su masa materiales menos densos como trozos de cerámica dando lugar al primer hormigón aligerado de la historia. Llegamos ya al siglo XX, la era dorada del hormigón armado, donde comienza su auge como material de construcción gracias a los avances de la revolución industrial (Marcos, 2013)

2.1.8.2. COMPONENTES DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material compuesto por varios materiales que consiste esencialmente de un medio aglutinante dentro del cual se encuentran partículas o fragmentos de agregado, por lo general una combinación de agregado fino y grueso; en el hormigón de cemento Portland, el aglutinante es una mezcla de cemento Portland y agua, con o sin aditivos (Quiroz & Salamanca, 2006).

El cemento es la principal materia para la elaboración del hormigón podemos definir como un aglomerante que fragua y endurece por la interacción química con el agua tanto al aire como bajo agua a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables (Quiroz & Salamanca, 2006).

Los silicatos en el cemento son el compuesto activo por excelencia del Clinker, es el que produce la alta resistencia inicial del cemento Portland hidratado. Pasa del fraguado inicial al final en

unas cuantas horas, es también el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento Portland. Debido a que su reacción de hidratación avanza con lentitud, genera un bajo calor de hidratación, los cementos con alto contenido en silicato son más resistentes (Quiroz & Salamanca, 2006)

2.1.8.3. CEMENTO

“Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de fraguar y endurecer, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables” (Rivva López, 2010).

2.1.8.3.1. DEFINICIONES

Cemento Hidráulico: Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables. Cemento Portland: Un cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker Portland, usualmente en combinación con sulfato de calcio. (Quiroz & Salamanca, 2006)

2.1.8.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

La tabla 9 muestra los porcentajes típicos en que se presentan los compuestos en el cemento y las abreviaturas con las que suelen ser denominados:

Tabla 9

Porcentajes típicos de intervención de los óxidos

	Oxido componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
Cal combinada	CaO	62.5%	C
Sílice	SiO ₂	21%	S
Alúmina	Al ₂ O ₃	6.5%	A

Hierro	Fe ₂ O ₃	2.5%	F
Cal Libre	CaO	0%	
Azufre	SO ₃	2%	
Magnesio	MgO	2%	
Álcalis	Na ₂ O y K ₂ O	0.5%	
Perdida al Fuego	P.F.	2%	
Residuo insoluble	R.I.	1%	

Fuente: (Quiroz & Salamanca, 2006)

Los cuatro primeros componentes nombrados en la tabla 9 no se encuentran libremente en el cemento, sino combinados formando los componentes potenciales, conocidos como “compuestos Bogue”, sus fórmulas químicas y abreviaturas simbólicas son los siguientes:

- Silicato tricálcico $3\text{CaO} - \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$
- Silicato dicálcico $2\text{CaO} - \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$
- Aluminato tricálcico $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$
- Ferroaluminato tetracálcico $4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

Estos compuestos o “Fases”, como se les llama, no son compuestos verdaderos en el sentido químico; sin embargo, las proporciones calculadas de estos compuestos proporcionan información valiosa en la predicción de las propiedades del cemento. Las fórmulas utilizadas para calcular los compuestos Bogue se pueden encontrar en la ASTM C150. (Quiroz & Salamanca, 2006)

2.1.8.3.3. EFECTO DE LOS COMPONENTES DEL CEMENTO

Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento Portland, así como los compuestos secundarios, contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación. El conocimiento del comportamiento de cada uno de los compuestos principales, durante la hidratación, permite ajustar las cantidades de cada uno durante la fabricación, para producir las propiedades deseadas en el cemento (Quiroz &

Salamanca, 2006), a continuación, se describe los efectos que tienen estos componentes en la mezcla de hormigón.

El Silicato Tricálcico, C3S, es el compuesto activo por excelencia del Clinker, es el que produce la alta resistencia inicial del cemento Portland hidratado. Pasa del fraguado inicial al final en unas cuantas horas. El C3S reacciona con el agua desprendiendo una gran cantidad de calor (calor de hidratación). La rapidez de endurecimiento de la pasta de cemento está en relación directa con el calor de hidratación; cuanto más rápido sea el fraguado, mayor será la exotérmica. El C3S hidratado alcanza gran parte de su resistencia en siete días. Debe limitarse el contenido de S3C en los cementos para obras de grandes masas de hormigón, no debiendo rebasarse un 35%, con objeto de evitar valores elevados del calor de hidratación (Quiroz & Salamanca, 2006).

El Silicato Dicálcico, C2S, requiere algunos días para fraguar. Es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento Portland. Debido a que su reacción de hidratación avanza con lentitud, genera un bajo calor de hidratación. Este compuesto en el cemento Portland desarrolla menores resistencias que el C3S en las primeras edades; sin embargo, aumenta gradualmente, alcanzando a unos tres meses una resistencia similar a la del C3S. Los cementos con alto contenido en silicato dicálcico son más resistentes a los sulfatos (Quiroz & Salamanca, 2006).

Aluminato Tricálcico, C3A, presenta fraguado instantáneo al ser hidratado y gran retracción. Es el causante primario del fraguado inicial del cemento Portland y desprende grandes cantidades de calor durante la hidratación. El yeso, agregado al cemento durante el proceso de fabricación, en la trituración o en la molienda, se combina con el C3A para controlar el tiempo de fraguado, por su acción al retardar la hidratación de este. El compuesto C3A muestra poco aumento en la

resistencia después de un día. Aunque el C3A hidratado, por sí solo, produce una resistencia muy baja, su presencia en el cemento Portland hidratado produce otros efectos importantes. Por ejemplo, un aumento en la cantidad de C3A en el cemento Portland ocasiona un fraguado más rápido, pero conduce a propiedades indeseables del hormigón, como una mala resistencia a los sulfatos y un mayor cambio de volumen. Su estabilidad química es buena frente a ciertas aguas agresivas (de mar, por ejemplo) y muy débil frente a sulfatos. Con objeto de frenar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento, se añade al Clinker un sulfato (piedra de yeso) (Quiroz & Salamanca, 2006).

El Ferroaluminato Tetracálcico, C4AF, El uso de más óxido de hierro en la alimentación del horno ayuda a disminuir el C3A, pero lleva a la formación de C4AF, un producto que actúa como relleno con poca o ninguna resistencia. No obstante, es necesario como fundente para bajar la temperatura de formación del Clinker. Es semejante al C3A, porque se hidrata con rapidez y solo desarrolla baja resistencia. No obstante, al contrario del C3A, no muestra fraguado instantáneo. Su resistencia a las aguas selenitosas y agresivos en general es la más alta de todos los constituyentes. Su color oscuro le hace prohibitivo para los cementos blancos por lo que en este caso se utilizan otros fundentes en la fabricación (Quiroz & Salamanca, 2006).

La Cal libre, CaO, No debe sobrepasar el 2%, ya que en cantidades excesivas puede dar por resultado una calcinación insuficiente del Clinker en el horno, esto puede provocar expansión y desintegración del hormigón. Inversamente, cantidades muy bajas de cal libre reducen la eficiencia en el consumo de combustible y producen un Clinker duro para moler que reacciona con mayor lentitud (Quiroz & Salamanca, 2006).

El Óxido de Magnesio queda limitado por las especificaciones al 6%, ya que conduce a una expansión de volumen variable en el hormigón, debido a la hidratación retardada, en especial en un medio ambiente húmedo (Quiroz & Salamanca, 2006).

Los Álcalis (Na₂O y K₂O) son componentes secundarios importantes, ya que pueden causar deterioro expansivo cuando se usan tipos reactivos de agregados silíceos para el hormigón. Se especifica cemento de bajo álcali en zonas en donde se encuentran estos agregados. El cemento de bajo álcali contiene no más del 0,6% de álcalis totales. Sin embargo, debe controlarse el porcentaje de álcalis totales en el hormigón, ya que el álcali puede entrar a la mezcla de ese hormigón proveniente de ingredientes que no son el cemento, como el agua, los agregados y los aditivos (Quiroz & Salamanca, 2006).

Trióxido de azufre, SO₃, el azufre proviene de la adición de piedra de yeso que se hace al Clinker durante la molienda para regular su fraguado, pudiendo también provenir del combustible empleado en el horno. Un exceso de SO₃ puede conducir al fenómeno de falso fraguado, por lo que conviene limitarlo a no más del 4% (Quiroz & Salamanca, 2006).

Perdida al fuego, cuando su valor es apreciable, la pérdida al fuego proviene de la presencia de adiciones de naturaleza caliza o similar, lo cual no suele ser conveniente. Si el cemento ha experimentado un prolongado almacenamiento, la pérdida al fuego puede provenir del vapor de agua o del CO₂ presentes en el conglomerante, siendo entonces expresiva de una meteorización del cemento (Quiroz & Salamanca, 2006).

Residuo insoluble, proviene de la presencia de adiciones de naturaleza silícea. No debe superar el 5% para el Portland I. (Quiroz & Salamanca, 2006)

2.1.8.4. AGREGADOS

Alrededor de las tres cuartas partes (75%) del volumen del hormigón convencional es ocupado por agregados que consisten en materiales como arena, grava, roca triturada o escoria siderúrgica. Es inevitable que un componente que ocupa un porcentaje tan grande de la masa contribuya con importantes propiedades tanto para el hormigón plástico (fresco) como para el endurecido; para este último la selección adecuada de las proporciones y tipo de agregado influye en propiedades como la estabilidad volumétrica, el peso unitario, la resistencia a un medio ambiente destructivo, las resistencias mecánicas, las propiedades térmicas y la textura superficial. Inicialmente se podría pensar que la función de los agregados en el Hormigón es la de reducir los costos, pero en realidad no se podría conseguir un buen hormigón si no se contara con estos (Quiroz & Salamanca, 2006).

2.1.8.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA HORMIGÓN

De acuerdo a (Quiroz & Salamanca, 2006) se puede identificar que existe variedad de material granular. Por lo que aquí se dan varias definiciones según tres clasificaciones: por su procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica que se detallan a continuación.

POR SU PROCEDENCIA

- **Agregados naturales.** - Formados por procesos geológicos.
- **Agregados artificiales.** - Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada (chancada), etc.

- **Piedra triturada.** - Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.
- **Escoria siderúrgica.** - Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro (Quiroz & Salamanca, 2006).

POR SU TAMAÑO

- **Agregado grueso.** - Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.
- **Agregado fino.** - Agregado que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenido de modo predominante por el tamiz No. 200 (de 75 μ m); o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenida de modo predominante por el No. 200 (de 75 μ m). El agregado fino utilizado en nuestro medio se denomina “Arena”, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta (Quiroz & Salamanca, 2006).

POR SU GRAVEDAD ESPECÍFICA

- **Ligeros.** - $G_s < 2.5$. Los agregados ligeros, como la arcilla esquistosa y la expandida, la escoria expandida, la Vermiculita, la Perlita, la Piedra Pómez y las Cenizas, se utilizan

para producir hormigón aislante, para unidades de mampostería o estructural ligero que pesa entre 400 y 2000 kg/m³.

- **Normales.** - $2.5 < G_s < 2.75$. Los materiales principales que se usan en el hormigón de peso normal, por lo común de 2300 a 2500 kg/m³, incluyen las arenas y gravas, roca triturada y escoria siderurgica. Las rocas trituradas de uso más común son el Granito, Basalto, Arenisca, Piedra Caliza y Cuarcita.
- **Pesados.** - $G_s > 2.75$. Los agregados pesados, como la Magnetita, la Barita o el Hierro de desecho, se usan para producir hormigón de 2900 a 3500 kg/m³, utilizado para blindaje contra la radiación y para contrapesos de hormigón (Quiroz & Salamanca, 2006).

2.1.8.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

2.1.8.5.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

Trabajabilidad. - La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada, el equipo necesario para realizar la consistencia del hormigón consiste en un tronco de cono, los dos círculos de las bases son paralelos entre sí midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm. (Quispe Villca, 2018).

Tabla 10

Consistencia de mezcla de hormigón (sin aditivos)

Consistencias	Asentamiento en cono el de Abrams, cm	Altura máxima de la capa, cm	Forma de compactación	Equipos*
Seca	0 a 2	30	Vibrado energético en taller	Mecánico de alta potencia
Plástica	3 a 5	30	Vibrado energético en obra	Mecánico corriente, especial o combinar
Blanda	6 a 9	50	Vibrado o apisonado	Manuales, Mecánico corriente, especial o combinar

Fluida	10 a 15	50	Picado con barra (No apta para elementos resistentes)	Manual o especial
Líquida	≥ 16	-		-

* los equipos mencionados corresponden a los siguientes:

1. Mecánico de alta potencia: vibrador externo, pisón mecánico, pisón de compresión, vibrocompresion, etc.
2. Mecánicos corrientes: vibrador de inmersión, vibrador superficial, etc.
3. Especiales: equipos de vacío, de centrifugado, etc.
4. Manuales: varillas, macetas, paletas, etc.

Fuente: (Quiroz & Salamanca, 2006)

Para medir la consistencia de las mezclas se utiliza la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrams, siguiendo la norma (NB 589; ASTM C143) donde se encuentran las consideraciones indicadas en la tabla 10.

2.1.8.5.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

La resistencia a la compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39 (Quispe Villca, 2018).

En la tabla 11, se presentan las definiciones de resistencia a la compresión utilizadas para el diseño estructural, según la NB, el EHE y la ACI.

Tabla 11

Criterios con base en la resistencia a la compresión según la NB, la EHE y la ACI.

CRITERIO	NB	EHE	ACI
Valor adoptado en el proyecto para la resistencia a compresión, como base de los cálculos, a este valor se aplican los coeficientes de seguridad prescritos por la norma*.	Resistencia característica de proyecto ó Resistencia especificada, f_{ck}	Resistencia característica de proyecto, f_{ck}	Resistencia Especificada, f'_c

* El 95% de los ensayos a compresión deben dar un valor de resistencia mayor a este, Los coeficientes de seguridad (γ_c) se presentan en el artículo 15.3 de la norma EHE; Los factores de reducción de resistencia (ϕ) se presentan en la sección 9.3 de la ACI 318.

Fuente: (Quiroz & Salamanca, 2006)

Para los ensayos de compresión se suelen usar probetas cilíndricas donde la altura es el doble del diámetro de la base. Cuando el tamaño máximo del agregado es menor a 5cm (2") se utilizan

cilindros de 15cm de diámetro por 30cm de altura, si se utiliza un agregado más grande, el diámetro del cilindro será por lo menos 3 veces el tamaño máximo del agregado. Se pueden utilizar moldes cilíndricos, prismáticos ó cúbicos, de distintas dimensiones, de acuerdo a lo especificado en la CBH 87. Deberá hacerse constar en estos casos, la forma y dimensiones del molde junto a los resultados de los ensayos. La resistencia a la compresión se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma (NB 639) (ASTM C39) (Quiroz & Salamanca, 2006).

2.1.8.6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Se necesita un número suficiente de pruebas para indicar con precisión la variación de la resistencia del hormigón y permitir la aplicación de procedimientos estadísticos apropiados para interpretar los resultados de la prueba (ACI 214R-11).

De acuerdo a lo establecido en (ACI 214R-11), “la cantidad para establecer la resistencia promedio (f_{cr}) requerida, debe representar un grupo de al menos 30 ensayos para estimar la desviación estándar o el coeficiente de variación. Cuando el número disponible de resultados de ensayo es menor que 30, se necesita un enfoque más conservado para estimar la desviación estándar, permitiendo el registro de por lo menos 15 ensayos como mínimo. Sin embargo, el valor de la desviación estándar de la muestra se debe incrementar en hasta 16% para tomar en cuenta la mayor incertidumbre en la desviación estándar de la población estimada”.

Cuando existen de 15 a 30 resultados del ensayo de resistencia, la desviación estándar calculada se debe multiplicar por el factor de modificación de la tabla 12, para proporcionar estimaciones lo suficientemente conservadores (ACI 214R-11).

Tabla 12

Factor para incrementar la desviación estándar de acuerdo con el número de ensayos.

Número total de ensayos considerado	Factor para incrementar la desviación estándar de la muestra
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1.00

Nota: Se permite interpolar linealmente entre valores intermedios.

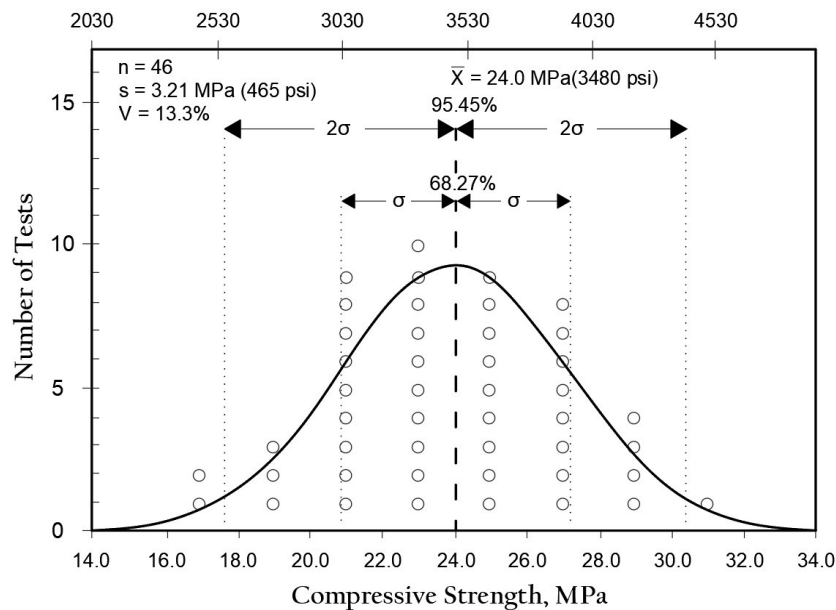
Fuente: (ACI 301 S-16)

2.1.8.6.1. FUNCIONES ESTADÍSTICAS

El resultado de los ensayos de resistencia, se supone que siguen una distribución normal, la figura 7 muestra la característica “curva en forma de campana” de la distribución normal. La distribución normal se define de manera matemática por medio de dos parámetros estadísticos: la media de la población μ y la desviación estándar σ (ACI 214R-11).

Figura 7

Distribución normal supuesto correspondiente al hormigón



Fuente: (ACI 214R-11)

Al evaluar las pruebas de resistencia del hormigón, no siempre se puede suponer una distribución normal. Una distribución normal es apropiada en la mayoría de los casos cuando la resistencia del hormigón no excede los 10,000 psi (70 MPa) (ACI 214R-11).

La desviación estándar de los resultados obtenidos mediante ensayos de resistencia a compresión del hormigón, se la obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde S es la desviación estándar de la muestra; n es el número de los resultados del ensayo de resistencia en el registro; \bar{X} es la media de la muestra, X_i es el resultado del ensayo de resistencia (ACI 214R-11).

Según la guía (ACI 214R-11), Otro de los aspectos de control para la evaluación de los resultados de resistencias obtenida en los ensayos, son la variación de resistencia, una de ellas es la variación entre tandas las cuales se calculan por la variación dentro de la tanda con base a la diferencia en la resistencia media de los cilindros compañeros, que aunque se prefiere una muestra de más de 30 ensayos, la desviación estándar dentro de la tanda S_1 se puede estimar a partir del intervalo promedio \bar{R} de al menos 10 resultados del ensayo de resistencia de la misma edad. \bar{R} se divide entre el factor d_2 de la tabla 13 quedando así la siguiente formula:

$$S_1 = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Tabla 13

Factores para el cálculo de la desviación estándar dentro de la tanda (d_2).

No. de especímenes	d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059

Fuente: (ACI 214R-11)

2.1.8.6.2. NORMAS DE CONTROL POR ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un propósito principal de la evaluación estadística de los datos del hormigón es la identificación de fuentes de variabilidad. Este conocimiento se puede usar para determinar los pasos apropiados para mantener el control de calidad. Se pueden usar varias técnicas para detectar variaciones en la producción del hormigón, el procesamiento y el manejo de los materiales, y las operaciones de los ensayos. Un enfoque simple consiste en comparar la variabilidad general y la variabilidad dentro de la tanda utilizando la desviación o el coeficiente de variación, según sea apropiado (ACI 214R-11).

La evaluación de los resultados de resistencia del hormigón mediante un análisis estadístico de los datos, están establecidos por la guía (ACI 214R-11), mediante una metodología de control donde se analizan la desviación estándar y el coeficiente de variación en función a las tablas 14 y 15.

Tabla 14

Estándares de control de la desviación estándar del lote de muestras hormigón $f'c' \leq 35$ MPa.

Variación general					
Clase de operación	Desviación estándar de diferentes estándares de control (MPa)				
	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Ensayos generales de construcción	Por debajo de 2.8	2.8 a 3.4	3.4 a 4.1	4.1 a 4.8	Por encima de 4.8
Tandas de ensayo en laboratorio	Por debajo de 1.4	1.4 a 1.7	1.7 a 2.1	2.1 a 2.4	Por encima de 2.4

Las variaciones de la desviación estándar dentro de los resultados del mismo lote pueden ser a causa de los siguientes factores:

- 1.- Variación en las características de los materiales de la mezcla
- 2.- Variaciones en las proporciones de los ingredientes de la mezcla

Fuente: (ACI 214R-11)

Tabla 15

Estándares de control del coeficiente de variación entre muestras hormigón $f'c' \leq 35$ MPa

Variación dentro de la tanda	
------------------------------	--

Clase de operación	Coeficiente de variación de diferentes estándares de control, %				
	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Ensayos de control en obra	Por debajo de 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	Por encima de 6.0
Tandas de ensayo en laboratorio	Por debajo de 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	Por encima de 5.0

* Las variaciones del coeficiente de variación entre muestras dentro de un lote pueden ser a causa de los siguientes factores:

- 1.- Muestreo inadecuado de la muestra
- 2.- Condiciones deficientes (moldes de mala calidad)
- 3.- Diferencia en el curado (manejos bruscos)
- 4.- Variación en la prueba de resistencia (equipos no certificados)

Fuente: (ACI 214R-11)

2.1.8.6.3. CRITERIOS PARA LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA

Según la (ACI 214R-11) “existen varios criterios que se pueden utilizar para garantizar que el desempeño de un hormigón cumpla con los requisitos específicos. En forma más simple, esto se hace al solicitar que la resistencia promedio requerida (f_{cr}) sea igual o mayor a la resistencia (f_c) especificada por un múltiplo, escogido para representar el porcentaje de ensayos que se permite sean defectuosos”. A continuación, se presenta los criterios de control que se debe aplicar a los resultados obtenidos para su verificación y validación de datos.

- Criterio 1.- Ningún resultado de prueba individual puede estar debajo de $f_c - 3.5$ MPa.
- Criterio 2.- Todos los promedios de tres ensayos consecutivos sean igual o mayor que f_c
- Criterio 3.- La probabilidad de que se produzcan resultados bajos sea menor que 1% (1 en 100) que el mínimo de f_c aceptable.

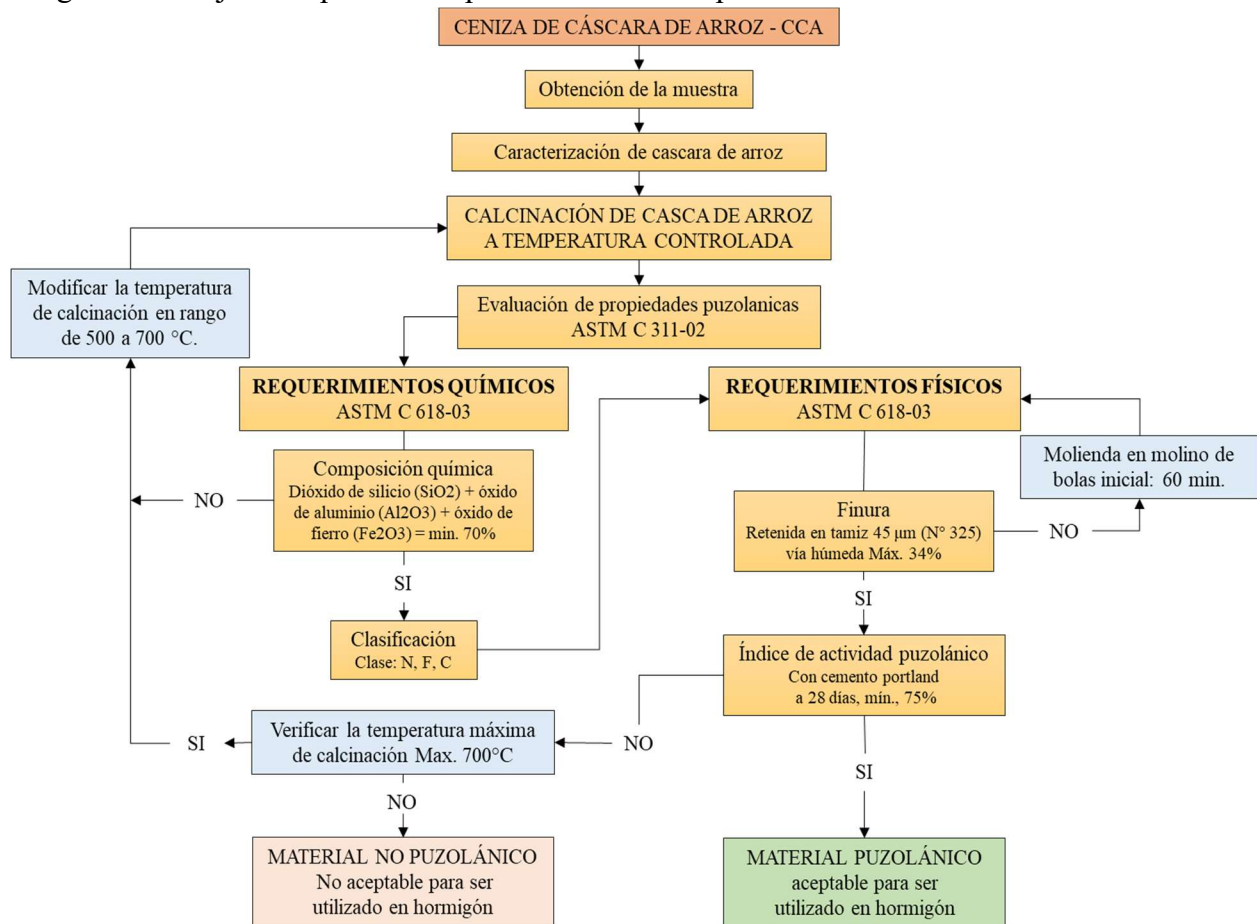
CAPÍTULO III

3. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen los materiales y métodos inherentes al procedimiento experimental que sigue la presente investigación, donde para el desarrollo del programa de investigación se dividieron en tres etapas sucesivas, las dos primeras etapas se exponen en los diagramas de flujo se ilustran de la figura 8 y figura 9, la tercera etapa abarca el análisis costo beneficio del uso de CCA como sustituto parcial del cemento en el diseño de mezclas de hormigón mediante un análisis de precio unitario.

Figura 8

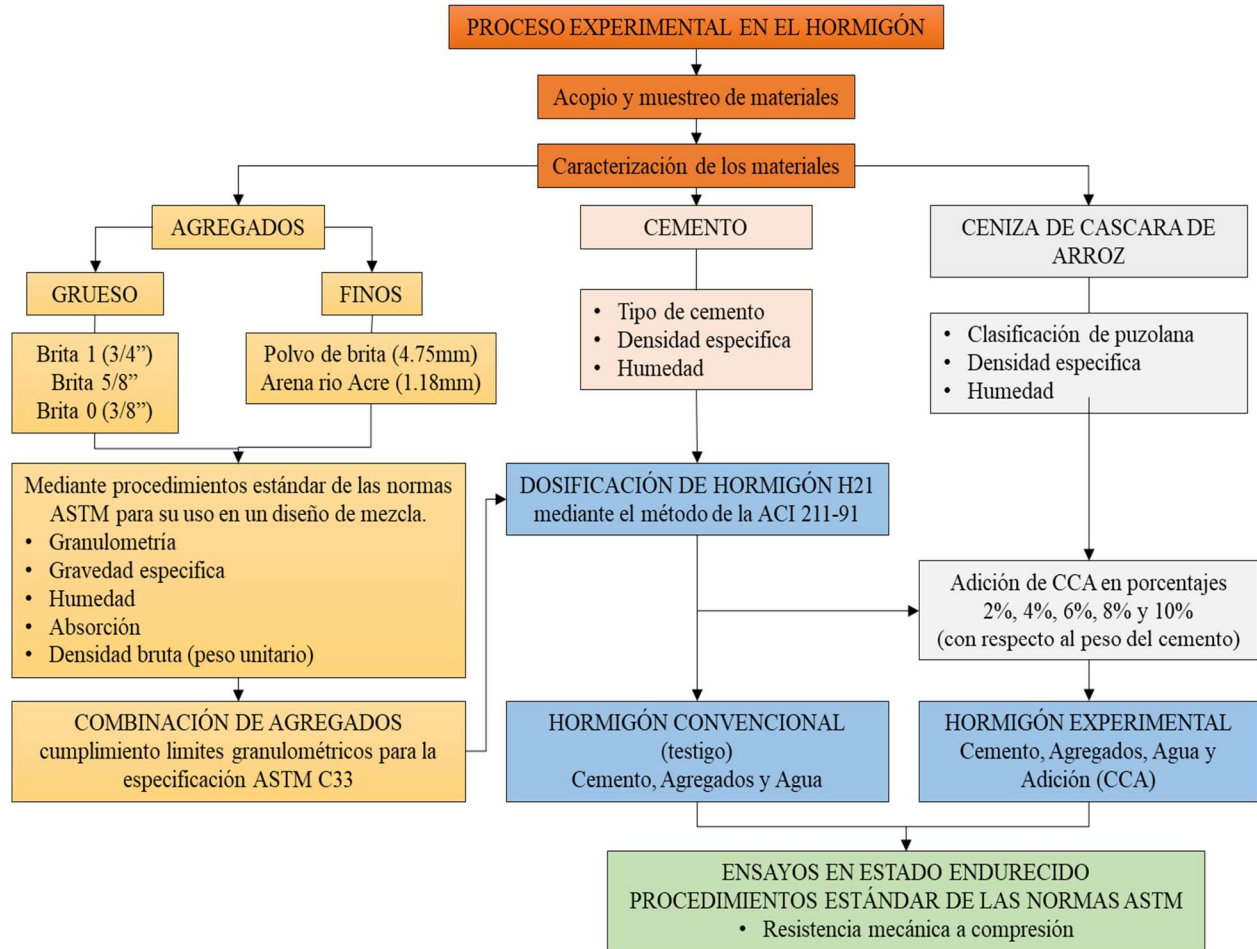
Diagrama de flujo de la primera etapa del desarrollo experimental



Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Diagrama de flujo de la segunda etapa del programa experimental



Fuente: Elaboración propia

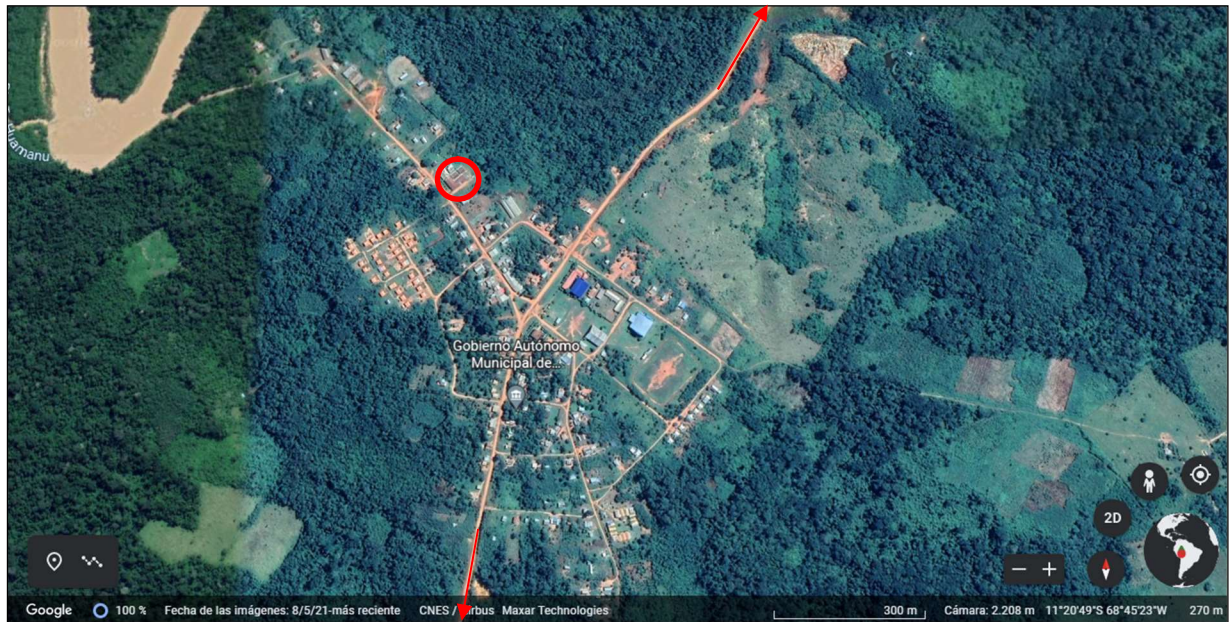
3.1. OBTENCIÓN DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ (O. E. 1)

3.1.1. OBTENCIÓN Y MUESTREO Y DE LA CÁSCARA DE ARROZ

Para la presente investigación la cáscara de arroz, fue obtenida de la Planta Peladora de Arroz del Municipio de Filadelfia (ver figura 10), ubicado en el Municipio de Filadelfia de la Provincia Manuripi del Departamento de Pando sobre la Ruta Nacional 16 a aproximadamente 45 kilómetros de la ciudad de Cobija.

Figura 10

Ubicación planta peladora de arroz Filadelfia



Fuente: Elaboración propia

Para el muestreo se identificó la muestra como semilla de arroz tipo estaquilla (*Oryza sativa*), se procedió a su embolsado, traslado y almacenamiento en el área de estudio.

Figura 11

Obtención y muestreo de la cáscara de arroz



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. CALCINACIÓN DE CÁSCARA DE ARROZ

Para obtener ceniza de cáscara de arroz con alto contenido de sílice en un estado amorfo, donde su valor esté entre los 80-90%. Se eliminó los constituyentes volátiles de la cáscara de arroz tales como la celulosa y lignina, mediante la calcinación, transformándolos en carbón y posteriormente en componentes gaseosos.

Esta cáscara de arroz fue calcinada a una temperatura menor a los 700 °C, que es la temperatura de cristalización del SiO₂, para obtener un SiO₂ uniforme de estructura amorfa, este desarrollo comprendió de tres pasos.

- Eliminación de la humedad
- Separación de los constituyentes volátiles
- Eliminación del carbón fijo siendo oxidado a CO₂

Para la presente investigación se procedió a la obtención de la ceniza de cáscara de arroz tomando como base de fundamentación teórica, los estudios del profesor Povindar Kumar (PK) Mehta del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Berkeley, California, EE. UU. En su trabajo titulado “Ceniza de cáscara de arroz un material de cementación suplementario único” el año 1994, donde llega a determinar que para la obtención de ceniza en su estado amorfo no cristalino la temperatura de calcinación debe de estar entre los 600 a 700 °C. (Metha, 1994).

En esta etapa se realizó la calcinación de cáscara de arroz a temperaturas entre 400 a 800 °C utilizando un horno mufla marca Nabertherm (ver figura 12) con capacidad de alcanzar una temperatura máxima y controlada de 30 – 3000 °C.

Figura 12

Horno mufla marca Nabertherm capacidad 30 – 3000 °C



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se observa los resultados de la calcinación a diferentes temperaturas por un tiempo de 60 minutos, estos resultados se dieron a razón de la evaluación táctica y visual a las cenizas obtenidas, donde la que presenta mayores características de ceniza puzolánica en estado amorfo y no cristalino es aquella obtenida a 600 °C quemado durante 60 minutos, a la cual se le hizo un estudio químico en el Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón en la ciudad de Cochabamba. Por lo tanto, podemos considerar la temperatura de 600 °C como la temperatura óptima de calcinación.

Tabla 16

Estructura de la CCA calcinadas a diferentes temperaturas

Temperatura	Tiempo de calcinación	Observación a la estructura de la ceniza de cascarilla de arroz
400 °C	60 min	partículas en estado de carbono, no se formó la ceniza
500 °C	60 min	hay presencia de residuos de carbón
600 °C	60 min	Partículas amorfas, muestra mayor finura al tacto

700 °C	60 min	Parcialmente cristalino, formación de cristales muestra aspereza al tacto
800 °C	60 min	Cristalino, muestra aspereza a tacto

Fuente: Elaboración propia

3.2. ANÁLISIS QUÍMICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ MEDIANTE ASTM C 311 (O. E. 2)

3.2.1. PROPIEDADES PUZOLÁNICAS DE LA CCA

Para determinar las propiedades puzolánicas de la ceniza de cáscara de arroz se hizo uso del método de prueba estándar para muestreo y prueba de cenizas volantes o puzolanas naturales para su uso en el hormigón de Cemento Portland (ASTM C 311-02).

3.2.1.1. ANÁLISIS QUÍMICO DE CCA

El análisis de la composición química de la ceniza de cáscara de arroz (Ver anexo A) que se muestra en la tabla 17, se realizó en la ciudad de Cochabamba, en el Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, donde los resultados son:

Tabla 17

Análisis composición químico de la CCA

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO
Óxido de Silicio (SiO ₂)	Gravimétrico	84.08 %
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Volumétrico	3.03 %
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Absorción atómica	9.41 %
Trióxido de azufre (SO ₃)	espectrofotométrico	1.17 %
Perdida por ignición	ASTM C 114	4.15 %

Fuente: Informe de ensayos químicos del Departamento de Química UMSS

Los requerimientos para su clasificación como material puzolánico según la norma ASTM C 618 se muestran en la tabla 18 e indican lo siguiente:

Tabla 18

Clasificación de la CCA según resultados componentes químicos

	Requisito según Clase			Resultado	Observación
	N	F	C		
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), min %	70.00	70.00	50.00	96.52%	Cumple
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %	4.00	5.00	5.00	1.17 %	Cumple
Contenido de humedad, máx. %	3.00	3.00	3.00	0.85%	Cumple
Pérdida por calcinación, máx. %	10.00	6.00	6.00	4.15%	Cumple

Fuente: Informe de ensayos químicos del Departamento de Química UMSS

3.2.1.2. PRUEBAS FÍSICAS DE CCA

Para las pruebas físicas de la ceniza de cáscara de arroz, se las realizó de acuerdo a la disponibilidad de equipos y herramientas existentes en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando.

3.2.1.2.1. DENSIDAD DE CCA

Se determinó la densidad de la muestra de acuerdo con el procedimiento descrito en el Método de prueba ASTM C 188, excepto que use aproximadamente 50 g de ceniza volante o puzolana natural en lugar de aproximadamente 64 g de cemento como se recomienda en el Método de prueba ASTM C 188.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del cemento hidráulico. Su utilidad particular está relacionada con el diseño y control de mezclas de hormigón.

La densidad del cemento hidráulico se define como la masa de una unidad de volumen de los sólidos.

Equipos

- Matraz de Le Chatelier.
- Balanza de precisión ± 0.1 g

Materiales

- Keroseno, libre de agua, o nafta, con una densidad superior a $0,73$ g/mL a 23 ± 2 ° C.
- 50 g de ceniza volante

Procedimiento

Se determinó la densidad de la ceniza sobre el material tal como se recibió, para la determinación de la densidad de la muestra sin pérdidas, primero se calcinó la muestra como descrito en el ensayo de pérdida por calcinación.

Paso 1.- Llenamos el matraz con el Keroseno, libre de agua, o nafta, con una densidad superior a $0,73$ g/mL a 23 ± 2 ° C., a un punto en el tallo entre la marca de 0 y 1 ml. Seque el interior del matraz por encima del nivel del líquido, si necesario, después de verter. Registre la primera lectura después del matraz ha sido sumergido en el baño de agua.

Paso 2.- Se introdujo una cantidad de cemento, pesado al $0,05$ g, (alrededor de 50 g para ceniza volante) en pequeños incrementos en la misma temperatura que el líquido. Tenga cuidado de evitar salpicar y ver que el cemento no se adhiera al interior.

Paso 3.- Después de que se ha introducido toda la ceniza volante, se colocó el tapón en el matraz y se hizo rodar el matraz en una posición inclinada, girándolo suavemente en círculos horizontales, para liberar el aire de la ceniza volante hasta que no quede más burbujas de aire que suban a la superficie del líquido

Paso 4.- Tomamos la lectura final después de que el matraz haya sido sumergido en el baño de agua a temperatura constante durante períodos de tiempo suficientes para evitar que la temperatura del matraz presente variaciones superiores a 0,2°C entre la lectura inicial y final.

Figura 13

Lectura inicial y fina ensayo de densidad de CCA



Fuente: Elaboración propia

Cálculo

La diferencia entre la primera lectura y la final que se muestra en la figura 13, representa el volumen de líquido desplazado por la masa de ceniza utilizado en el ensayo.

Calcular la densidad de la ceniza, ρ , como sigue:

$$\rho = \frac{M [\text{g}]}{V [\text{cm}^3]}$$

Donde

ρ = Densidad en g/cm³

M = masa de la ceniza volante en gramos

V = volumen desplazado en centímetros cúbicos

Densidad de la ceniza de cáscara de arroz:

M = masa de la ceniza volante 50 g.

Lectura inicial = 1.00 ml

Lectura final = 20.30 ml

Volumen desplazado = Lectura final – Lectura inicial = 20.30 – 0.10 = 20.20 ml

$$\rho = \frac{50 \text{ g}}{20.20 \text{ cm}^3} = 2.47 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

3.2.1.2.2. FINURA DE CCA

Este ensayo se utilizó para determinar la cantidad de muestra retenida cuando se tamiza en húmedo en un tamiz de 45 μm (No. 325), de acuerdo con el método de prueba estándar para finura del cemento hidráulico ASTM C 430.

Equipos

- Tamiz de 45 μm (No. 325)
- Balanza de precisión ± 0.01 g
- Manómetro de precisión de ± 2 kPa

Calibración del tamiz. - Se colocó 1.00 g de la muestra No.114, del ASTM, sobre el tamiz 45 μm (No.325), limpio y seco y se procede como se indica en el apartado del procedimiento. El factor de corrección del tamiz es la diferencia entre la cantidad de residuo obtenida y el valor del residuo sobre la malla de 45 μm certificado para la muestra patrón y expresado como porcentaje del residuo de ensayo.

Ejemplo de Determinación del Factor de Corrección de Tamiz:

Residuo de la muestra No.114 en el tamiz 45 μm . (No.325)	= 12.20%
Residuo para 1 g de muestra	= 0,122 g
Residuo en el tamiz que está siendo calibrado	= 0,093 g
Diferencia	<hr/> = + 0,029 g
Factor de corrección = (+ 0,029/0,093) x 100 = + 31,18	= +31.20%

Procedimiento

Se colocó 1.00 g de la muestra de la ceniza volante en el tamiz de 45 μm (No.325), seco y limpio. Se lavó la muestra completamente con un chorro suave de agua. Luego se retira el tamiz de la ducha y se ajusta la presión de ésta a $69 \text{ kPa} \pm 4 \text{ kPa}$. Se colocó nuevamente el tamiz bajo la ducha y se lavó durante 1 min, moviendo el tamiz en forma circular en un plano horizontal, a velocidad de una revolución por segundo. La parte inferior de la ducha estuvo a una distancia de 12 mm de la parte superior del marco del tamiz. Inmediatamente después de separar el tamiz de la ducha, se enjuagó una vez, con aproximadamente 50 cm^3 de agua destilada, con la precaución de que no haya pérdidas de residuo, y luego se secó suavemente la parte inferior del tejido con una tela húmeda y limpia. Se secó el tamiz como el residuo en un horno o sobre una placa caliente, sosteniéndolo en forma que el aire pueda pasar libremente por debajo. Después se enfrió el tamiz, y luego se retiró el residuo pesándolo en una balanza analítica que permitió una lectura con aproximación de 0,0005 g.

Cálculo

La finura de la CCA se calcula con aproximación de 0,1 % con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$R_c = R_s \times (100 + C)$$

$$F = 100 - R_c$$

Donde

F = Finura de la CCA expresada como porcentaje corregido de la cantidad que pasa por el tamiz de $45 \mu\text{m}$ (No.325).

R_c = Residuo corregido expresado en porcentaje.

R_s = residuo de la muestra, retenido en el tamiz de $45 \mu\text{m}$ (No.325), en g.

C = factor de corrección del tamiz (determinado como se indica en el apartado calibración del tamiz), el cual puede ser positivo o negativo.

Factor de corrección del tamiz, C	= +31.2 %
Residuo de la muestra ensayada, Rs	= 0.088 g
Residuo corregido, Rc	= 0.088 X (100 + 31.2)
	= 11.5 %
Cantidad corregida que pasa (finura), F	= 88,5 %

3.2.1.2.3. ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE CCA CON CEMENTO PORTLAND

Este ensayo se utilizó para determinar el índice de actividad puzolánica de la CCA con cemento, para este objeto se moldeó los especímenes a partir de una mezcla de control y de una mezcla de prueba de acuerdo a las especificaciones del método de prueba estándar ASTM C 109/C 109M que se muestran en la tabla 19, para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (usando especímenes cúbicos de 2 pulgadas o [50 mm]).

Tabla 19

Especificaciones para ensayo método de prueba estándar ASTM C 109/C 109M

Requisitos para ensayo según método de prueba estándar ASTM C 109/C 109M	
Composición del mortero	1:2.75
Relación a/c	a/c=0.485
Materiales	Arena normalizada ASTM C778
Temperatura y Humedad	Lab 23±3/Curado 23±2/Hum > 50%
Moldes	50 mm x 50 mm x 50 mm
Moldeado de especímenes	Apisonamiento manual
Determinación de resistencia	Velocidad de carga 900-1800 N/s
Promedio de tres o dos resultados individuales, el rango máximo admisible entre especímenes de la misma amasada de mortero, a la misma edad de ensayo es 8.7% del promedio para tres cubos y 7.6% para dos cubos	

Fuente: ASTM C 109/C 109M

Equipos

- Balanza de precisión ± 0.01 g.

- Probetas graduadores de vidrio.
- Moldes metálicos de 50 mm x 50 mm x 50 mm.
- Tamper de apisonamiento.
- Paleta o llana.
- Gabinete o Cuarto Húmedo.
- Máquina o prensa hidráulica.

Materiales

- Cemento Portland.
- Ceniza de cáscara de arroz.
- Arena estándar graduada según ASTM C 778.

Arena estándar graduada. - Según las especificaciones estándar para arena estándar ASTM C 778, la arena deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 20.

Tabla 20
Especificaciones estándar para arena estándar ASTM C 778

Características	Arena estándar clasificada
Clasificación, porcentaje que pasa por:	
1.18 mm (No. 16)	100
850 μm (No. 20)	100
600 μm (No. 30)	96 a 100
425 μm (No. 40)	65 a 75
300 μm (No. 50)	20 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 4

Fuente: ASTM C 778

El procedimiento para este ensayo se tomó una muestra de arena estándar a un tamaño de prueba de 500 gramos, posterior a eso se pasa a tamizar la arena como se describe en el método de prueba ASTM C 136 y se muestra en la figura 14, los resultados del ensayo de arena graduada estándar se muestran en la tabla 21.

Figura 14

Ensayo arena graduada estándar ASTM C 778



Fuente: elaboración propia

Tabla 21

Resultados ensayo de arena graduada estándar ASTM C 778

Tamiz	Tara	W. Tara (gr.)	W. Retenid o + tara	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido (%)	Requisito que pasa (%)	Resultado Pasante (%)	Verificación
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	0,00	0,00%	100,00	100%	Cumple
850 μ m (No. 20)	-	-	-	0,00	0,00%	100,00	100%	Cumple
600 μ m (No. 30)	R152	34,25	44,25	9,60	1,90%	96 a 100	98,08%	Cumple
425 μ m (No. 40)	L-3	32,56	172,56	141,25	28,30%	65 a 75	69,83%	Cumple
300 μ m (No. 50)	L-1	32,49	257,49	220,78	44,20%	20 a 30	25,67%	Cumple
150 μ m (No. 100)	L-6	32,39	147,39	113,62	22,70%	0 a 4	2,95%	Cumple
fondo	L-2	31,83	41,83	14,75	3,00%		0,00%	Cumple
TOTAL			500.00 gramos					

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Las proporciones de los materiales para el mortero estándar fueron; una parte de cemento por 2,75 partes de arena estándar graduada en peso. Utilizando una relación agua-cemento de 0,485. La cantidad de agua de mezcla para cemento, fue tal que produzca un flujo de 110 ± 5 determinado de acuerdo con el procedimiento dado en el Método de prueba ASTM C 1437 y se expresó como porcentaje en peso de cemento.

En la mezcla de prueba mostrada en la figura 16, se reemplazó el 20 % de la masa de la cantidad de cemento utilizada en la mezcla de control mostrada en la figura 15, por la misma masa de la muestra de prueba. Haciendo lotes de seis cubos de la siguiente manera:

Mezcla de control

	Cantidad
Cemento Portland	500 g
Arena gradada estándar	1375 g
Agua	442 ml

Figura 15

Índice de puzolanidad muestra de control



Fuente: Elaboración propia

Especímenes cúbicos de (50 X 50 X 50) mm



Mezcla de prueba

	Cantidad
Cemento Portland	400 g
Ceniza de cáscara de arroz	100 g
Arena gradada estándar	1375 g
Agua	X cantidad de agua requerida para flujo ± 5 con respecto a la mezcla de control

Figura 16

Índice de puzolanidad muestra de prueba



Fuente: Elaboración propia

Dado que la Especificación ASTM C 618 especifica que "cumplir con el índice de actividad de fuerza de 7 o 28 días indicará el cumplimiento de la especificación", solo se puede requerir una edad. A opción del productor o del usuario, después de preparar lotes de seis cubos, solo se necesitan moldear tres cubos de mezclas de control y tres cubos de prueba para el ensayo a los 7 o 28 días.

Después del moldeo, se colocó las muestras y los moldes (sobre las placas base) en el cuarto húmedo a $23,0 \pm 2,0$ °C ($73,4 \pm 3$ °F) durante 20 a 24 h. Mientras esté en la habitación húmeda, se protegió la superficie del goteo de agua. Se quitaron los moldes del cuarto húmedo y sacamos los cubos de los moldes. Colocamos y almacenamos los cubos en agua como se especifica en el Método de prueba C 109/C 109M.

Se determinó la resistencia a la compresión, como se especifica en el método de prueba ASTM C 109/C 109M, de tres especímenes de la mezcla de control y tres especímenes de la mezcla de prueba a edades de 7 días, o 28 días, como se muestra en la figura 17 obteniendo los resultados mostrados en la tabla 22.

Figura 17

Determinación de la resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm



Fuente: Elaboración propia

Cálculo

Se procedió a realizar el cálculo del índice de actividad puzolánica con cemento Portland de la siguiente manera:

$$\text{Índice de actividad de resistencia con cemento Portland} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = Resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de Prueba, MPa.

B = Resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de Control, MPa.

Tabla 22

Resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm

Espécimen	Edad (días)	Lado (mm)	Superficie base (mm ²)	Carga de rotura (KN)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
MC. P-1	7	50	2500	16,00	6,40	6,41
MC. P-2	7	50	2500	16,70	6,68	
MC. P-3	7	50	2500	15,35	6,14	
MP. P-1	7	50	2500	18,74	7,49	7,17
MP. P-2	7	50	2500	18,67	7,46	
MP. P-3	7	50	2500	16,38	6,55	
MC. P-1	28	50	2500	23,45	9,38	9,34
MC. P-2	28	50	2500	23,73	9,49	
MC. P-3	28	50	2500	22,89	9,16	
MP. P-1	28	50	2500	24,56	9,82	10,10
MP. P-2	28	50	2500	25,54	10,22	
MP. P-3	28	50	2500	25,65	10,26	

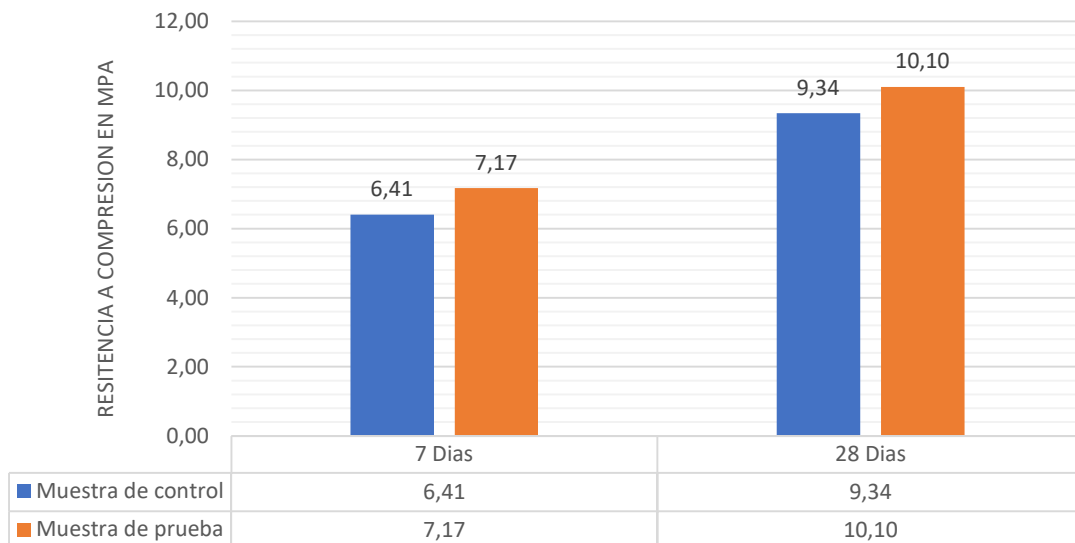
MC.- muestra de control

MP. - muestra de Prueba

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Resistencia a compresión especímenes de cúbico de (50 X 50 X 50) mm



Fuente: Elaboración propia

Índice de actividad puzolánica con cemento Portland a los 7 días:

$$I_{7\text{días}} = \frac{7,17}{6,41} \times 100 = 111,86\%$$

Índice de actividad puzolánica con cemento Portland a los 28 días:

$$I_{28\text{días}} = \frac{10,10}{9,34} \times 100 = 108,14\%$$

Estos resultados sobre el índice de puzolanidad obtenidas por la muestra de prueba, indican que cumplen con el índice de puzolanidad mínimo de 70% requerido por la ASTM C 618.

3.2.1.2.4. REQUERIMIENTO DE AGUA DE CCA

Para determinar el requerimiento de agua para el Índice de Actividad de resistencia con Cemento Portland, se empleó el Método de prueba estándar para flujo de mortero de cemento hidráulico ASTM C 1437.

Equipos

- Balanza de precisión ± 0.01 g.
- Probetas graduadores de vidrio.
- Paleta o llana.
- Mesa de flujo según ASTM C 230.
- Molde de flujo según ASTM C 230.
- Calibre.

Materiales

- Mortero de cemento hidráulico muestra de control.
- Mortero de cemento hidráulico y CCA muestra de prueba.

Procedimiento

Para determinar la cantidad de agua requerida, primero se obtuvo el flujo de la muestra de control (mortero de cemento hidráulico), posterior a esto se hicieron los morteros de prueba

(mortero con cemento y CCA) con porcentajes variables de agua hasta obtener el flujo especificado de ± 5 con respecto a la mezcla de control, se hizo cada ensayo con mortero fresco.

Cálculo

Se calculó el requerimiento de agua para el Índice de Actividad de resistencia con Cemento Portland de la siguiente manera:

$$\text{Requerimiento de agua, porcentaje de control} = \frac{Y}{242} \times 100$$

Donde:

Y = Agua requerida para que la mezcla de prueba tenga ± 5 de flujo de control.

$$\text{Requerimiento de agua, porcentaje de control} = \frac{290}{242} \times 100 = 119.83\%$$

Una vez obtenido los resultados de las pruebas físicas, se procedió a verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por ASTM C 618 que se muestran en la tabla 23, para que la ceniza de cáscara de arroz pueda ser considerado como material puzolánico.

Tabla 23

Clasificación de la CCA según resultados de pruebas físicas

	Requisito según Clase			Resultado	Observación
	N	F	C		
Finura: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 μm (Nº 325), máx., %	34.00	34.00	34.00	32.60	Cumple
Índice de actividad puzolánica: Con cemento Portland, a 7 días, mín., % Con cemento Portland, a 28 días, mín., %	75.00	75.00	75.00	108.14	Cumple
Demanda de agua, máx., % del control	115.00	105.00	105.00	119.83	No cumple

Fuente: Elaboración propia

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS (O. E. 3)

Esta práctica se refiere a caracterizar las propiedades necesarias de los agregados, mediante procedimientos estándar de las normas ASTM para su uso en un diseño de mezcla

3.3.1. MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75.

Este método de ensayo presenta las técnicas del muestreo de los agregados gruesos y finos. Las muestras de campo están relacionadas con el tipo y el número de ensayos a los que el material será sometido.

Definiciones

- **Agregado grueso.** - Agregado predominantemente retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)
- **Agregado fino.** - Agregado que pasa el tamiz de 9,5 mm y pasa casi por completo el tamiz de 4,75 mm (núm. 4) y predominantemente retenido en el tamiz de 75 μ m (núm. 200).
- **Tamaño máximo del agregado.** - La malla del tamiz más pequeño por donde pasa la totalidad de la muestra del agregado.
- **Tamaño máximo nominal del agregado.** - Es el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% al 15% de la masa.

Muestreo desde pilas de almacenamiento

Para el muestreo del agregado grueso se obtuvo tres incrementos, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo de la pila.

Para el muestreo del agregado fino se tomó la muestra que se encuentra bajo el material segregado, en tres lugares aleatorios.

Las pruebas de control y aceptación estándar están cubiertas por las normas ASTM y especifican la porción de la muestra de campo requerida para cada prueba específica. En términos generales, las cantidades especificadas en la tabla 24, proporcionaron el material adecuado para la clasificación de rutina y el análisis de calidad

Tabla 24

Tamaño de muestras para agregados según ASTM D-75

Tamaño agregado ^A	Masa de muestra de campo, min, kg ^B
Agregado fino	
2,36 mm (No 8)	10
4,76 mm (No 4)	10
Agregado grueso	
9,5 mm (3/8")	10
12,5 mm (1/2")	15
19 mm (3/4")	25
25 mm (1")	50
37,5 mm (1 1/2")	75
50 mm (2")	100
63 mm (2 1/2")	125
75 mm (3")	150
90 mm (3 1/2")	175

^A Para agregados procesados, use el tamaño máximo nominal como lo indica la especificación o descripción apropiada. Si la especificación o descripción no indica un tamaño máximo nominal (por ejemplo, un tamaño de tamiz que indica un paso del 90-100 %), utilice el tamaño máximo (ese tamiz que indica un paso del 100 %).

^B Para agregados gruesos y finos combinados (por ejemplo, agregado base o sub base), el peso mínimo debe ser la masa mínima del agregado grueso más 10 kg.

Fuente: (ASTM D-75)

Trasporte y almacenamiento

Se procedió al transporte de los agregados en bolsas u otros contenedores construidos de tal manera que impidan la pérdida o contaminación de cualquier parte de la muestra, o daños al contenido por mal manejo durante el envío y almacenamiento.

Procedimiento

Tipo de muestra. - Para la presente investigación se utilizó como agregado fino al polvo de brita de procedencia del Brasil y la arena fina del río Acre, como agregado grueso se utilizó piedra triturada proveniente del Brasil en fracciones de tamaño individual, 3/4" (brita 1), 5/8" (brita 5/8"), 3/8" (brita cero), las que se muestran en la figura 19.

Figura 19

Agregados utilizados en la investigación.



Fuente: Elaboración propia

Acopio de materiales

Se procedió al acopio de los materiales en instalaciones del laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando, almacenando los mismos en bolsas, previo registro del tamaño y procedencia de cada lote de ellos.

Figura 20

Almacenamiento de Agregados utilizados en la investigación.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA ASTM C-702

Se redujo la muestra obtenida en campo, a un tamaño conveniente para realizar la cantidad de ensayos necesarios, que describan el material y la calidad, de manera que la porción más pequeña de la muestra tenga más probabilidad en representar a la muestra más grande y así al total aportado.

La práctica estándar para reducción de las muestras de agregados (ASTM C-702), cubren tres métodos para la reducción de muestras de agregados a tamaños apropiados para ensayos, empleando técnicas que intenten minimizar las variaciones en la medición de las características entre los especímenes, estos tres métodos son las siguientes:

- Método A: divisor mecánico.
- Método B: descuarte (método adoptado para la presente investigación).
- Método C: muestreo de existencias en miniatura (únicamente agregado fino húmedo).

Herramientas

- Pala.
- Llana de borde recto.
- Escoba.

Procedimiento

Método B (descuarte). – Se colocó la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada evitando la pérdida de material ni adición accidental de material extraño. Mezclando bien el material volteando la muestra entera tres veces. Con el último volteo, se paleó toda la muestra en una pila cónica depositando cada palada encima de la anterior. Con cuidado, se aplanó completamente la pila cónica hasta lograr un grosor y un diámetro uniformes presionando el vértice con una pala para que cada cuarto sector de la pila resultante contendrá el material originalmente en él. El diámetro fue aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor. Se dividió la masa aplanada en cuatro cuartos iguales con una pala retirando dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, se cepilló los espacios despejados. Mezclamos y cortamos en cuartos sucesivamente el material restante hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado como se muestra en la figura 21.

Figura 21

Cuarteo de agregados “Método B” ASTM C-702.



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMIZ 0,075 MM (No. 200) (ASTM C 117 – 03).

En este procedimiento, está incluida la determinación por lavado de la cantidad de material más fino que el tamiz de 0,075 mm (No. 200) de agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregados, que se dispersan en el agua de lavado y los materiales solubles en agua, se remueven de los agregados durante el ensayo.

Se incluyen dos procedimientos, uno que usa solo agua para la operación de lavado y el otro que incluye un agente humectante para ayudar a aflojar el material más fino que el tamiz de 75 μ m (No. 200) del material más grueso.

Por lo general, la cantidad adicional de material más fino que 75 μ m obtenidos en el proceso de tamizado en seco es una pequeña cantidad. Si es grande, se debe verificar la eficiencia de la operación de lavado. También podría ser una indicación de degradación del agregado.

Entre las sustancias perjudiciales para hormigón, las cuales disminuyen la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del hormigón, se presenta a los materiales que pasan el tamiz de 0,075 mm (No. 200), las cuales están limitados mediante especificaciones de la norma ASTM C33 y se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

Límites para sustancias nocivas en agregados para el hormigón.

Concepto	% Máximo en peso de la muestra total
Agregado grueso	
Material más fino que el tamiz No. 200	1.00 ^A
Agregado Fino	
Material más fino que el tamiz No. 200	
Hormigón sujeto a abrasión	3.00 ^B

Todos los demás hormigones	5.00 ^B
----------------------------	-------------------

^A En el caso de los agregados triturados, si el material más fino que el tamiz No 200 consta de polvo de la fractura, que en esencia no contiene arcilla o arcilla esquistosa, el porcentaje se puede aumentar hasta 1.5.

^B En el caso de la arena fabricada, si el material más fino que el tamiz No 200 consta del polvo de la fractura, que no contiene en esencia arcilla o arcilla esquistosa, se pueden aumentar estos límites hasta un 5 y 7%, respectivamente.

Fuente: ASTM C 33.

Aparatos

- Balanza de precisión de 0,1 g.
- Conjunto de tamices, uno inferior de 0,075 mm (No. 200) y el superior de 1,18 mm (No. 16) ambos conformes a los requisitos de las especificaciones ASTM E-11.
- Recipiente.
- Horno de temperatura uniforme, en el rango de 110 ± 5 °C.

Procedimiento

Se obtuvo la muestra del agregado de acuerdo con la Práctica D 75, mezclándolo completamente la muestra de agregado a ensayar y reduciendo la cantidad a una cantidad adecuada para ensayar usando los métodos aplicables descritos en la Práctica C 702, la masa mínima fue determinada como se describe en las secciones correspondientes de ese método, la masa de la muestra de ensayo, después del secado, deberá ser conforme a la tabla 26.

Tabla 26

Tamaño de muestra para pérdida por lavado según ASTM C117.

Tamaño máximo nominal	Masa mínima, g
4.75 mm (No. 4) o mas pequeño	300
9.5 mm (3/8 pulg.)	1000
19.0 mm (3/4 pulg.)	2500
37.5 mm (1 1/2 pulg.) o más grande	5000

Fuente: ASTM C 117

Como se muestra en la figura 22, se lavó una muestra del agregado, usando agua de lavado. El agua de lavado decantada, que contiene material suspendido y disuelto, se pasó a través de un tamiz de 75 µm (No. 200). La pérdida de masa que resulta del tratamiento de lavado se calculó como porcentaje de masa de la muestra original y se reportó como el porcentaje de material más fino que un tamiz de 75 µm (No. 200) por lavado.

Figura 22

Lavado del material que pasa por tamiz 0,075 µm (No. 200)



Fuente: Elaboración propia

Cálculo

Se ha determinado la cantidad de material que pasa por un tamiz de 75 µm (núm. 200) de la siguiente manera:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde

A = Porcentaje de material más fino que el tamiz de 0.075 mm (No. 200) por lavado.

B = Masa seca original de la muestra en g.

C = Masa seca de la muestra después del lavado en g.

A manera de ejemplo se presenta el ensayo de la cantidad de material que pasa el tamiz de 0,075 mm (No. 200) por lavado, del agregado grueso piedra triturada Brita 1, con tamaño nominal de 25 mm.

B = 5416.30 g.

C = 5405.40 g.

$$A = \frac{5416.30 - 5405.46}{5416.30} \times 100 = 0.2 \%$$

3.3.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA (ASTM C 128 - 01)

Este método de ensayo determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de áridos finos (sin incluir el volumen de los huecos entre las partículas), la densidad relativa (peso específico) y la absorción de los áridos finos. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en kg/m³ (lb/ft³) es expresada como secada al horno (S), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. Igualmente, la densidad relativa (gravedad específica), cualidad sin dimensión, es expresada como secada al horno (S), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad (S) y la densidad relativa (S) se determinan después de secar los áridos. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan después de sumergir los áridos en agua durante un tiempo determinado

Este método de prueba cubre la determinación de volumen y gravedad específica aparente, 23/23°C y absorción de agregado fino. Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en el peso de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las

partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. El estándar de laboratorio para la absorción es el que se obtiene después de sumergir el agregado seco durante aproximadamente 24 h en agua. Los agregados extraídos debajo del nivel freático pueden tener una mayor absorción cuando se usan, si no se dejan secar.

Este método de ensayo determina (después de 24 h en agua) la gravedad específica aparente y la gravedad específica aparente, la gravedad específica aparente sobre la base del peso del agregado superficialmente seco saturado y la absorción.

Equipo

- Picnómetro (procedimiento gravimétrico)
- Balanza de capacidad $20000 \pm 0,1$ g
- Molde y apisonador para prueba de humedad superficial
- Horno de secado eléctrico de temperatura 110 ± 5 °C
- Secador eléctrico
- Cucharón
- Escobilla
- Recipiente

Muestreo y preparación de muestra

Se obtuvo y mezcló la muestra del agregado de acuerdo con la Norma ASTM D 75. Reduciéndolo para obtener una prueba espécimen de aproximadamente 1 kg usando los procedimientos aplicables descritos en la Norma ASTM C 702.

Se colocó la muestra en una charola y se secó en un horno a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Una vez seca la muestra, se permitió que se enfríe a temperatura ambiente, hasta alcanzar una temperatura cómoda para manejarla (aproximadamente 50 °C). Agregamos agua a la muestra hasta alcanzar al menos 6 % de humedad, y permitir reposar durante 24 ± 4 horas en un recipiente hermético para evitar la pérdida de humedad.

Procedimiento

Se extendió la muestra en una superficie plana expuesta a una suave corriente de aire tibio mientras se remueve para asegurar un secado homogéneo.

Continuando esta operación hasta que la muestra se aproxime a la condición saturada superficialmente seca. Realizando el primer intento de prueba de humedad superficial (condición saturada superficialmente seca) cuando aún haya agua en la muestra

Se sostuvo el molde sobre una superficie suave, lisa y no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Vaciando la muestra del agregado fino y llenando hasta que sobresalga del molde. Utilizamos los dedos en forma de circular cubriendo la parte superior del molde para agregar material adicional.

Sosteniendo el molde se procedió a compactar ligeramente el agregado fino con el pisón dentro del molde con 25 golpes. Para cada golpe, se dejó caer el pisón desde una altura de 5 mm respecto a la superficie de la muestra, se ajustó la altura inicial a la nueva altura de la superficie del material después de cada golpe distribuyendo los golpes en toda la superficie.

Se hizo a un lado el material suelto alrededor de la base del cono y levantamos el molde verticalmente. “Si aún está presente humedad superficial, el agregado fino retendrá la forma del

molde. Por otro lado, cuando exista una caída ligera de agregado fino, se ha alcanzado la condición SSS”.

De acuerdo al procedimiento ASTM utilizado, si no se obtiene una caída de material (existe exceso de humedad), se deberá continuar secando con mezclado constante y repetir el proceso para verificación de la condición SSS hasta alcanzar la condición SSS. Si se obtiene una caída excesiva de material (existe falta de humedad), se deberá mezclar el material completamente con unos pocos mililitros de agua y dejar reposar en un contenedor cubierto durante 30 minutos y repetir el proceso de secado y evaluación de la condición SSS, hasta alcanzar dicha condición. Una vez obtenida la condición SSS, se deberá tomar inmediatamente una muestra de 500 ± 10 g. Registrar la masa de la muestra (S).

Se colocó la muestra de 500 ± 10 g dentro del picnómetro llenándolo con agua destilada el volumen adicional hasta aproximadamente al 90 % de su capacidad. Se tapó el picnómetro y agito suavemente para eliminar las burbujas.

Figura 23

Gravedad específica y absorción del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Se giró y agitó el picnómetro para eliminar las burbujas de aire. Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire. Una vez eliminadas las burbujas, llenando el picnómetro con agua destilada hasta la marca de calibración. Ajustando la temperatura del picnómetro y su contenido mediante la inmersión de este dentro del baño de agua a 23 ± 2 °C. Retiramos el picnómetro del baño de agua y secamos. Se procede a determinar la masa del picnómetro con agua y muestra. Retiramos la muestra del picnómetro vertiéndola en una charola (registrar la masa de la charola limpia y seca previo a utilizarla) y lavamos el picnómetro con agua adicional hasta retirar todo el material fino del mismo. Se procedió a secar la muestra a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se permitió que la muestra se enfríe a temperatura ambiente durante 1 hora \pm 30 minutos. Se determinó la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración con agua destilada a una temperatura de 23 ± 2 °C con una aproximación de 0.1 g.

Cálculos

Densidad relativa seca al horno o Gravedad específica bruta (Gs):

$$G_s = \frac{A}{B+S-C}$$

Gravedad específica saturada de superficie seca (Gsss):

$$G_{SSS} = \frac{S}{B+S-C}$$

Gravedad específica aparente (Gs aparente):

$$G_{s\text{aparente}} = \frac{A}{B+A-C}$$

Cálculo del porcentaje de absorción:

$$\%Abs = \frac{S-A}{A} * 100$$

Donde

A = Masa de la muestra de ensayo seca al horno, g

B = Masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibración, g

C = Masa del picnómetro con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de calibración, g

S = Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (usada en el método gravimétrico de densidad relativa o para la absorción), g

En la tabla 27 se muestra los datos de los agregados finos que se emplearon para realizar el ensayo de gravedad específica, así mismo en la tabla 28 se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 27

Datos para determinar la gravedad específica de los agregados finos

Material	“A” Masa seca de la muestra (g)	“B” Masa del picnómetro más agua (g)	“C” Masa del picnómetro más muestra, más agua (g)	“S” Masa de la muestra en estado saturado, superficialmente seca (g)
Polvo de brita	492	717.86	995.46	500
Arena	495	701.79	998.94	500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Gravedad específica de los agregados

Material	Gs bruta	Gs aparente	Gs bruta SSS	Absorción %
Polvo de brita	2.21	2.25	0.69	1.63
Arena	2.44	2.46	0.71	1.01

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN NORMA (ASTM C 127 - 01)

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad

relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. La gravedad específica puede ser Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad (kg/m^3) se expresa como secado al horno (S), saturada superficialmente seca (SSS), o como densidad aparente, igualmente la densidad relativa.

La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se basan en el agregado determinado después de 24 h de remojo del agregado en agua durante un período prescrito.

Este método de prueba se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de una gran cantidad de partículas agregadas y proporciona un valor promedio que representa la muestra. Se hace una distinción entre la densidad de las partículas de agregado según lo determinado por este método de prueba y la densidad aparente de los agregados según lo determinado por el Método de prueba C 29/C 29M, que incluye el volumen de vacíos entre las partículas de los agregados

Este método de prueba no está diseñado para usarse con agregados livianos.

Equipo

- Equipo de gravedad específica y absorción de agregados gruesos, con balanza de capacidad $20000 \pm 0,1$ g
- Horno de secado eléctrico de temperatura 110 ± 5 °C
- Balanza de capacidad de $20000 \pm 0,1$ g
- Cucharón
- Brocha
- Recipientes metálicos
- Tela de absorción

Muestra

Obtener una Muestra de agregado de acuerdo con la Norma ASTM D 75. Mezcle completamente la muestra de agregado y reduzca a la cantidad aproximada necesaria usando los procedimientos aplicables en la Norma ASTM C 702. Rechace todo el material que pase por un tamiz de 4.75 mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado a fondo para eliminar el polvo u otros revestimientos de la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material más fino que el tamiz de 4,75 mm (como los agregados de tamaño N°. 8 y 9 en la clasificación D 448), use el tamiz de 2,36 mm (N°. 8) en lugar del tamiz de 4,75 mm. (N°4) tamiz. Alternativamente, separe el material más fino que el tamiz de 4,75 mm y analice el material más fino de acuerdo con el Método de prueba según ASTM C 128.

La masa mínima de la muestra de prueba es determinada como se indica en la tabla 29.

Tabla 29
Tamaño de muestra representativa

Tamaño nominal máximo del agregado		Masa mínima de la muestra de ensayo	
mm.	Pulg.	Kg.	Lb.
12.5	½	2	4.4
19	¾	3	6.6
25	1	4	8.8
37.5	1 ½	5	11
50	2	8	18
63	2 ½	12	26
75	3	18	40
90	3 ½	25	55
100	4	40	88
112	4 ½	50	110
125	5	75	165
150	6	125	276

Fuente: Norma ASTM C 127

Procedimiento

Se procedió a secar la muestra de prueba hasta masa de peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente dejándolo enfriar al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 h, hasta que el agregado ya se haya enfriado a una temperatura que fue cómoda de manejar

(aproximadamente 50°C). Posteriormente se sumergió el agregado en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

Se procedió a retirar la muestra de prueba del agua y los valores de gravedad específica, enrollándolo en un paño absorbente grande hasta que se eliminaron todas las películas visibles de agua. Se limpiaron las partículas más grandes individualmente. Se hizo el uso de una corriente de aire en las que se realiza la operación de secado teniendo cuidado de evitar la evaporación del agua de los poros del agregado y durante la operación de secado superficial. Se determinó la masa de condición saturada de superficie seca (muestra en aire).

Después de determinar la masa al aire, se colocó inmediatamente, la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de la muestra, determinando su masa aparente en agua a $23 \pm 2,0$ °C, teniendo el cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar.

La diferencia entre la masa al aire y la masa, cuando la muestra es sumergida en agua, es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

Figura 24

Gravedad específica y absorción del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Se secó la muestra de ensayo en el horno, hasta masa constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C; se enfrió en aire, a temperatura ambiente del laboratorio, hasta que el agregado tuvo una temperatura confortable para su manejo, y se determinó su masa de la muestra seca con una precisión de 0.5 gr.

Cálculo

Densidad relativa seca al horno o Gravedad específica bruta (Gs)

$$G_s = \frac{A}{B - C}$$

Gravedad específica saturada de superficie seca (Gsss):

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

Gravedad específica aparente (Gs aparente):

$$G_s \text{ aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Porcentaje de Absorción (% Abs):

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde

A = Masa de la muestra de ensayo seca al horno (s), en el aire, g

B = Masa de la muestra de ensayo saturada de superficie seca (sss) en el aire, g

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua, g

G_s = Gravedad específica bruta (Gs)

En la tabla 30 se muestra los datos de los agregados gruesos que se emplearon para realizar el ensayo de gravedad específica, así mismo en la tabla 31 se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 30

Datos de agregados gruesos para determinación de gravedad específica

Material	“A” Masa seca de la muestra (g)	“B” Masa saturada superficie seca de la muestra (g)	“C” Masa saturada sumergida de la muestra (g)
Piedra triturada 25mm (Brita 1)	3500.1	3505	2196.4
Piedra triturada 19mm (Brita 5/8)	3499.7	3509.7	2204
Piedra triturada 12mm (Brita 3/8)	2181.8	2190.12	1370.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Gravedad específica de los agregados gruesos

Material	Gs bruta	Gs bruta SSS	Gs aparente	Absorción %
Piedra triturada 25mm (Brita 1)	2.67	2.68	2.68	0.14
Piedra triturada 19mm (Brita 5/8)	2.68	2.69	2.70	0.29
Piedra triturada 12mm (Brita 3/8)	2.66	2.67	2.69	0.38

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C 29/C 29M – 97).

Mediante este ensayo, se determinó la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado, en una condición compactada o suelta, y se calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, con base en la misma determinación.

Equipo

- Balanza de capacidad $20000 \pm 0,1$ g.
- Varilla compactadora de 600 mm.
- Pala o cucharón
- Recipiente volumétrico.

Recipiente volumétrico. - Medida cilíndrica de metal, preferiblemente provista de asas. Será estanco, con la parte superior y fondo uniforme, y lo suficientemente rígido para conservar su forma bajo uso rudo. La medida tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menos del 80 % ni más del 150 % del diámetro. La capacidad de la medida se ajustará a los límites de la tabla 32.

Tabla 32

Capacidad de recipiente volumétrico para densidad bruta ASTM C-29/C-29M.

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad de recipiente ^A
Pulg	Mm	L (m3)
1/2	12,5	2.8 (0.0028)
1	25	9.3 (0.0093)
1 1/2	37,5	14 (0.014)
3	75	28 (0.028)
4	100	70 (0.070)
5	125	100 (0.100)

^A El tamaño de medida indicado se utilizará para ensayar agregados de un valor nominal tamaño máximo igual o menor que el indicado. El volumen real de la medida será al menos el 95 % del volumen nominal indicado.

Fuente: ASTM C-29/C-29M.

Procedimiento

Para este procedimiento se tomó la muestra representativa, siendo suficiente la cantidad requerida para llenar el recipiente volumétrico. Fue manejado, de tal manera, que se evitó la segregación. Se secó la muestra de agregado, esencialmente, hasta masa constante, en un horno a 110 ± 5 °C.

Selección del Procedimiento. - El procedimiento de paleado para densidad aparente suelta, debe ser se utiliza solo cuando se estipula específicamente. De lo contrario, la densidad aparente se determinará mediante el procedimiento de varillaje para agregados que tienen un tamaño máximo nominal de 1 1/2 pulg [37.5 mm] o menos, o por el procedimiento de Jigging para

agregados que tienen un tamaño máximo nominal superior a 1 1/2 pulg. [37,5 mm] y que no exceda las 5 pulgadas [125 mm].

Los agregados utilizados para la presente investigación tienen un tamaño nominal máximo de 25 mm por lo cual se procede a realizar el ensayo bajo el procedimiento de varillaje para determinar la densidad bruta (peso unitario) compactado y procedimiento de paleado para determinar la densidad bruta (peso unitario) suelta.

Procedimiento de varillaje. - Llenamos la medida hasta un tercio nivelando la superficie con los dedos, varillando la capa de agregado con 25 golpes de la varilla de apisonamiento uniformemente distribuida sobre la superficie. Se lleno la medida dos tercios de su capacidad y volvimos a nivelar y varillar como se indicó anteriormente. Por último, llenamos la medida a rebosar y volvimos a varillar en la forma antes mencionada. Nivelemos la superficie del agregado con una regla de tal manera que cualquiera ligera proyección de las piezas más grandes del agregado grueso equilibre aproximadamente los vacíos más grandes en la superficie debajo de la parte superior de la medida.

Cálculo

Par el cálculo por cualquiera de los métodos enteramente mencionados se debe determinar la masa de la medida más su contenido y la masa de la medida sola, y registrar los valores en el más cercano a 0,1 lb [0,05 kg].

$$\text{Densidad bruta (Peso unitario)} \quad M = \frac{G-T}{V}$$

Donde

M = Densidad bruta de los agregados, kg/m³.

G = Masa de los agregados más el recipiente, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

Peso unitario

Se procede a determinar la densidad bruta (peso unitario) del agregado grueso Brita 0 (3/8), proveniente de Brasil.

Dato:

Molde (figura 25) (Diámetro=15.2 cm, Altura=17.75 cm, Peso= 6.609 kg.)

Muestra (Bita 0 (3/8), tamaño max. nominal 12 mm.)

Verificación altura del molde:

$$H = D$$

Debe cumplir $H > 80 \%D$

$$H < 150 \%D$$

Figura 25

Recipiente volumétrico par densidad bruta de agregado



Fuente: Elaboración propia

Molde #10

D = Diámetro 15.20 cm

H = Altura 17.75 cm

$$\frac{\text{Altura}}{\text{Diámetro}} \times 100 \rightarrow \frac{17.75 \text{ cm}}{15.20 \text{ cm}} \times 100 = 116 \% \text{ Cumple.}$$

Verificación volumen del molde según tabla 22:

Tamaño máximo nominal del agregado	Capacidad de recipiente
mm	L (m3)
12,5	2.8 (0.0028)

Molde #10

D = Diámetro 15.20 cm

H = Altura 17.75 cm

$$V = \text{Volumen} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H = \frac{\pi \times 0.152^2}{4} \times 0.1775 = 0.0032 \text{ m}^3 \text{ Cumple}$$

Figura 26

Determinación de peso unitario compactado



Fuente: Elaboración propia

G = Masa de los agregados compactado más el recipiente = 11.420 kg.

T = Masa del recipiente = 6.609 kg.

V = Volumen del recipiente = 0.0032m³.

$$\text{Densidad bruta (Peso unitario) Brita 0} = \frac{11.420 - 6.609}{0.0032} = 1503.44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para determinar los valores del peso unitario compactado de los demás agregados, se emplearon hojas de cálculo Excel. Los resultados, se muestran en la tabla 33.

Tabla 33

Densidad bruta compactada o peso unitario compactado de agregados.

Agregado	Peso tara + muestra (kg)	Peso Tara (kg)	Volumen de recipiente (m3)	Peso unitario Compactado Kg/m3
Agregado grueso				
Brita 1	34,584	19,827	0,0096	1537,19
Brita 5/8	34,335	19,827	0,0096	1511,25
Brita 0	11,42	6,609	0,0032	1503,44
Agregado fino				
Polvo de brita	12,137	6,609	0,0032	1727,50
Arena	11,333	6,609	0,0032	1476,25

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Determinación de peso unitario suelto



Fuente: Elaboración propia

G = Masa de los agregados suelto más el recipiente = 10.972 kg.

T = Masa del recipiente = 6.609 kg.

V = Volumen del recipiente = 0.0032m³.

$$\text{Densidad bruta (Peso unitario) Brita 0} = \frac{10.972-6.609}{0.0032} = 1503.44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para determinar los valores del peso unitario compactado de los demás agregados, se emplearon hojas de cálculo Excel. Los resultados, se muestran en la tabla 34.

Tabla 34

Densidad bruta suelta o peso unitario suelto de agregados.

Agregado	Peso tara + muestra (kg)	Peso Tara (kg)	Volumen de recipiente (m3)	Peso unitario Suelto Kg/m3
Agregado grueso				
Brita 1	33,36	19,827	0,0096	1409,69
Brita 5/8	32,94	19,827	0,0096	1365,94
Brita 0	10,972	6,609	0,0032	1363,44
Agregado fino				
Polvo de brita	11,526	6,609	0,0032	1536,56
Arena	10,934	6,609	0,0032	1351,56

Fuente: Elaboración propia

3.3.7. CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN EL AGREGADO (ASTM C 566 - 04).

Este método de ensayo cubrió la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado secando tanto la humedad superficial como la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que se combina químicamente con los minerales del agregado. Dicha agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de prueba.

Generalmente, medirá la humedad en la muestra de ensayo, de forma más confiable, que la propia muestra pueda ser representativa del suministro de agregado.

Equipo

- Balanza con capacidad de $20000 \pm 0,1$ g
- Horno eléctrico, temperatura de 110 ± 5 °C
- Recipiente metálico

Muestra

Se obtiene una muestra de agregado de acuerdo con la Norma ASTM D-75. Obteniendo una muestra del agregado representativo del contenido de humedad en el suministro que se está probando y que tenga una masa no menor que la cantidad indicada en la tabla 35 protegiendo la muestra contra la pérdida de humedad antes de determinar la masa.

Tabla 35

Masa mínima de muestra de ensayo de contenido de humedad.

Tamaño nominal máximo		Masa mínima de la muestra de ensayo (kg)
(mm)	(pulgadas)	
4.75	N° 4	0.5
9.5	3/8	1.5
12.5	½	2
19	¾	3
25	1	4
37.5	1 ½	6
50	2	8
60	2 ½	10
75	3	13
90	3 ½	16
100	4	25
150	6	50

Fuente: Norma ASTM C-566

Procedimiento

Se determinó la masa de la muestra al 0,1 % más cercano, secando completamente la muestra en el recipiente de la muestra por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo cuidado de

evitar la pérdida de cualquier partícula. “Un calentamiento muy rápido puede hacer que algunas partículas exploten, lo que resulta en la pérdida de partículas”. Se usó un horno de temperatura controlada, removiendo la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamientos localizados, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 36.

Cálculo

Calcular el contenido total de humedad evaporable de la siguiente manera:

$$H\% = \frac{M_H - M_S}{M_S} * 100$$

Donde

% H = Contenido de humedad total evaporable

M_H = Masa de la muestra original (muestra húmeda), en g

M_S = Masa de la muestra seca, en g

Tabla 36
Porcentaje de humedad de los agregados

Agregado	Masa recipiente (g)	Masa muestra húmeda +R	Masa muestra saca +R	Porcentaje de humedad (%)
Piedra triturada 25mm (Brita 1)	508.7	8238.1	8228.7	0.11
Piedra triturada 19mm (Brita 5/8)	423.4	6415.9	6411	0.08
Piedra triturada 12mm (Brita 3/8)	508.7	7229.4	7226.2	0.04
Polvo de brita	311.3	8952.1	8940.2	0.13
Arena	508.7	7229.4	7226.2	0.04

Fuente: Elaboración propia

3.3.8. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES DE AGREGADO GRUESO Y FINO (ASTM C 136 - 01).

Este método de prueba cubre la determinación de la partícula distribución de tamaño de agregados finos y gruesos por tamizado.

Este método de prueba se usa principalmente para determinar la clasificación de los materiales propuestos para uso como agregados o que se usan como agregados. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con los requisitos de especificación aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos agregados y mezclas que contienen agregados.

Equipo

- Serie de tamices U.S.A. STANDARD SIEVE
- Tamizador mecánico
- Balanza de capacidad $20000 \pm 0,1$ g
- Horno de secado eléctrico de temperatura 110 ± 5 °C
- Brocha
- Cepillo de cerdas metálicas
- Cepillo de cerdas normales
- Recipientes metálicos

Muestreo

El muestreo del agregado se realizó de acuerdo con la Norma ASTM D 75. Se procedió a mezclar completamente la muestra y reducimos a una cantidad adecuada para la prueba utilizando los procedimientos aplicables descritos en la Norma ASTM C 702. La muestra para la prueba fue aproximadamente la cantidad deseada siendo esta el resultado final de la reducción. No se permitió la reducción a una cantidad predeterminada exacta.

Agregado fino: el tamaño de la muestra de prueba, después del secado, fue de 300 g como mínimo.

Para el agregado grueso, el tamaño de la muestra seca de la prueba, se determinó conformar las especificaciones que se consignan en la tabla 37.

Tabla 37

Tamaño mínimo de la muestra para ensayo de granulometría.

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Tamaño mínimo de la muestra de ensayo		
mm.	Pulg.	Kg.	Lb.	
9.5	3/8	1	2	
12.5	1/2	2	4	
19	3/4	5	11	
25	1	10	22	
37.5	1 1/2	15	33	
50	2	20	44	
63	2 1/2	35	77	
75	3	60	130	
90	3 1/2	100	220	
100	4	150	330	
125	5	300	660	

Fuente: norma ASTM C 136

Procedimiento

En la figura 28 se muestra en procedimiento de tamizado que se la realizó de acuerdo al método según la Norma ASTM C117, se lavó la muestra en el tamiz de 75 µm (No. 200), desechando los finos que pasa la malla. Se procedió al secado del material en el horno, a temperatura de 110 ± 5 °C, durante un tiempo de 24 horas.

Se seleccionaron los tamices con las aberturas adecuadas, para obtener la información requerida por las especificaciones que cubren el material a ser ensayado. Se acomodaron los tamices en

orden de tamaño de abertura decreciente, de arriba hacia abajo, y se colocó la muestra en el tamiz superior. Se agito los tamices, manualmente y por medio de un agitador mecánico por un período de tiempo necesario establecido por tanteo. Se dividió la muestra de ensayo en porciones en el tamiz que pueda sobrecargarse, tamizando cada porción individualmente.

Figura 28

Proceso de tamizado de agregados



Fuente: Elaboración propia

Se continuó tamizando el tiempo necesario, de manera tal, que, después de terminar el tamizado, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual que pueda pasar ese tamiz. La masa total del material, luego de pasar por los tamices, fue similar a la masa original de la muestra colocada en los tamices. En el tamizado manual, se manifiesta la rugosidad de los granos de piedra triturada, su textura, su forma geométrica (esquinas pronunciadas) en la dificultad de desplazamiento de partículas entre sí, la trabazón existente que interviene en la baja trabajabilidad de la mezcla de hormigón, como se verificará más adelante. Sin embargo, sucede lo contrario con los agregados de canto rodado, por la textura lisa y esquinas redondeadas.

Figura 29

Muestra retenida en los tamices



Fuente: Elaboración propia

Cálculos

Se calcularon los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales y los porcentajes de las varias fracciones por tamaño, al 0,1% más cercano, sobre la base de la masa inicial seca total de la muestra de ensayo. Como la muestra de ensayo, ha sido previamente ensayada de acuerdo con el método de ensayo ASTM C-117, se incluyó la masa del material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) por lavado en el cálculo del análisis por tamizado; se utilizó la masa seca total de la muestra de ensayo antes del lavado de acuerdo con el método de ensayo C-117, como la base para calcular todos los porcentajes. Se calculó el módulo de finura, sumando los porcentajes totales de material de la muestra que sean más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados), y dividir esta suma entre 100.

Cálculo de la masa de cada tamaño de la muestra original y los porcentajes del material retenido en cada malla, respecto a la masa total de la muestra:

$$\%Retenido = \frac{W_N}{\sum W_T} * 100$$

Donde

- % Retenido= Porcentaje retenido en la malla N respecto al peso total, en %
- W_N = Peso del material retenido en la malla N, en g
- $\sum W_T$ = Suma total del material retenido

Cálculo del porcentaje retenido acumulado

% Retenido Acumulado = % Retenido en la malla N + % Retenido Acumulado en la malla Anterior

Una vez obteniendo los datos de retenido acumulado se clasifica dentro de los límites de acuerdo con la Norma ASTM C 33.

Cálculo de modo de finura

$$\%MF = \frac{\sum \%Retenido \text{ acumulado } 1, 3/4, 1/2", 3/8", N^{\circ} 8}{100} * 100$$

Se muestran los resultados de los ensayos de granulometría de agregados gruesos y finos, acompañado de la pérdida de material fino que pasa el tamiz 0,075 mm, módulo de finura, porcentaje de las pérdidas durante el tamizado, y las características físicas, en el gráfico de la curva granulométrica correspondiente.

Ejemplo

De acuerdo al procedimiento estándar ASTM C-136 para identificar la granulometría de los agregados, y la verificación de los límites granulométricos de ASTM C 33, se presentan los

resultados obtenidos descritos en la tabla 38, así mismo la curva granulométrica obtenida se muestra en la figura 30.

Tabla 38
Granulometría de Brita 1 (25 mm)

w. inicial (gr.)	Tara (gr.)	W. tara (gr.)	W. tara + muestra (gr.)	W. de muestra + tara lavada y secada (gr.)	W. de muestra lavada y secada (gr.)
10839.5	1-2	839.5	10839.5	10813.7	9975.2

TAMIZ		tara	w. tara (gr.)	w. Retenido + tara	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.	mm							
1 1/2"	37.50	-	-	-	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	5.-8	128.30	173.70	45.40	0.46	0.46	99.54
3/4"	19.00	k7	131.40	1376.20	1244.80	12.48	12.93	87.07
1/2"	12.50	k17	839.50	9045.90	8206.40	82.27	95.20	4.80
3/8"	9.50	N-5	133.90	501.10	367.20	3.68	98.88	1.12
N° 4	4.75	5.-7	126.40	230.20	103.80	1.04	99.92	0.08
N° 8	2.36	5.-3	129.80	136.30	6.50	0.07	99.99	0.01
fondo		R-7	60.300	61.30	1.00	0.01	100.00	0.00
TOTAL					9975.10	100.00	-	-

MODULO DE FINURA (MF)

$$MF = \Sigma \% \text{ Acumulado} / 100 = 3.12$$

$$\% \text{ Perdidas} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 = 0.005\%$$

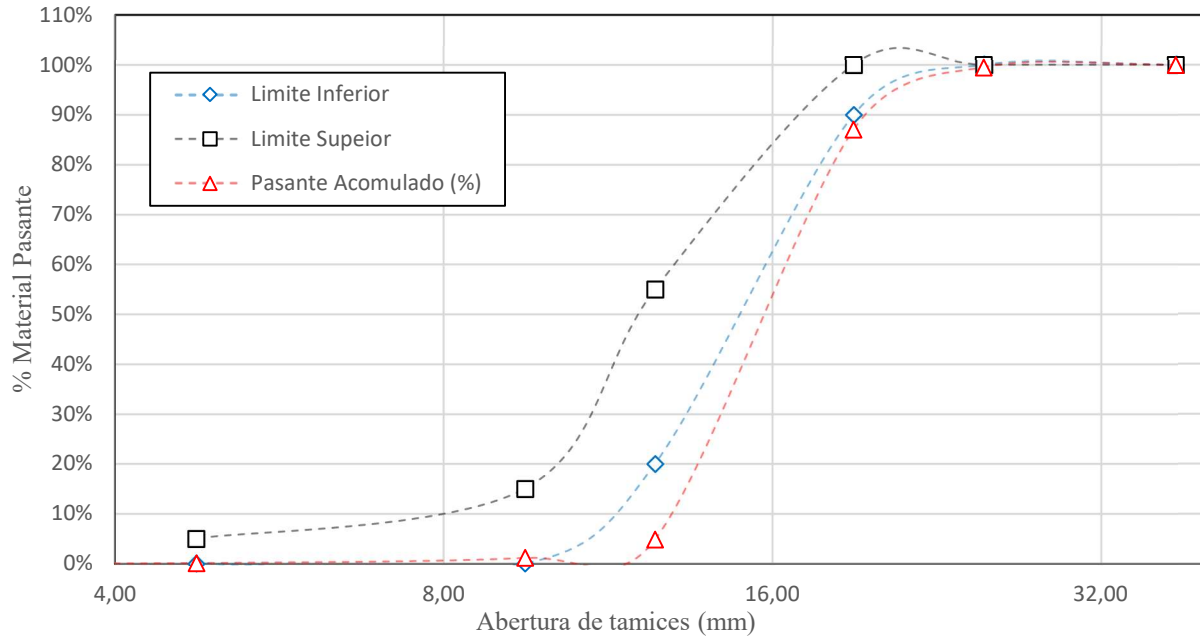
Verificación de limitantes granulométricos norma ASTM C 33

TAMIZ	Límite Inferior	Pasante Acumulado (%)	Límite Superior	Verificación
Pulg.	mm			
1 1/2"	37.50	100.00		CUMPLE
1"	25.00	99.54	100%	NO CUMPLE
3/4"	19.00	87.07	100%	NO CUMPLE
1/2"	12.50	4.80	55%	NO CUMPLE
3/8"	9.50	1.12	15%	CUMPLE
N° 4	4.75	0.08	5%	CUMPLE
N° 8	2.36	0.01		NO CUMPLE

Fuente: elaboración propia

Figura 30

Curva granulométrica de Brita 1 (25 mm)



Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos empleados para el estudio de la presente tesis, se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando, donde los resultados obtenidos son: (Ver anexo B).

3.3.9. COMBINACIONES DE GRANULOMETRÍAS, UBICANDO DENTRO DE LOS LÍMITES DE (ASTM C 33 - 03).

De los resultados del análisis granulométrico de los distintos agregados utilizados para la presente investigación las cuales son, piedra triturada proveniente de Brasil de tamaños 3/4” (brita 1), 5/8” (brita 5/8”), 3/8” (brita cero) y polvo de brita, así también la arena de procedencia del rio Acre, no cumplen con los límites de gradación estipulados en la normativa ASTM C33.

Por tal motivo y para mejorando la calidad de los agregados, de modo que el agregado combinado resulte aceptable y cumpla con los requisitos establecidos por las normas, se llega a

realizar combinaciones de agregados por el método de tanteo, tanto para agregados finos como gruesos, el procedimiento empleado en la presente investigación se presenta a continuación.

COMBINACIÓN AGREGADO GRUESO. - Para la combinación de los agregados grueso se tomó los resultados del análisis granulométrico de la piedra triturada proveniente de Brasil de tamaños 3/4" (brita 1), 5/8" (brita 5/8") y 3/8" (brita cero).

Tabla 39
Combinación de agregado grueso piedra triturada.

Tamiz	Pasante Acumulado (%)			Combinación 15%-60%-25
	Brita 1 (25mm)	Brita 5/8 (19mm)	Brita 0 (12mm)	
1"	100%*0.15	100%*0.60	100,00%*0.25	100.00%
3/4"	87%*0.15	100%*0.60	100%*0.25	98.00%
1/2"	5%*0.15	42%*0.60	100%*0.25	51.00%
3/8"	1%*0.15	6%*0.60	97%*0.25	28.00%
Nº 4	0%*0.15	0%*0.60	31%*0.25	8.00%
Nº 8	0%*0.15	0%*0.60	1%*0.25	0.00%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 39 se pudo identificar que el tamaño nominal de la combinación de agregado grueso mediante el método del tanteo, queda entre el tamiz 3/4" (19.00 mm) y el tamiz 4 (4.75 mm), a la cual se procederá a verificar si cumplen con los límites de gradación estipulados en la normativa ASTM C33 que se muestra en la tabla 40.

Tabla 40
Verificación límites de gradación ASTM C33 combinación agregado grueso.

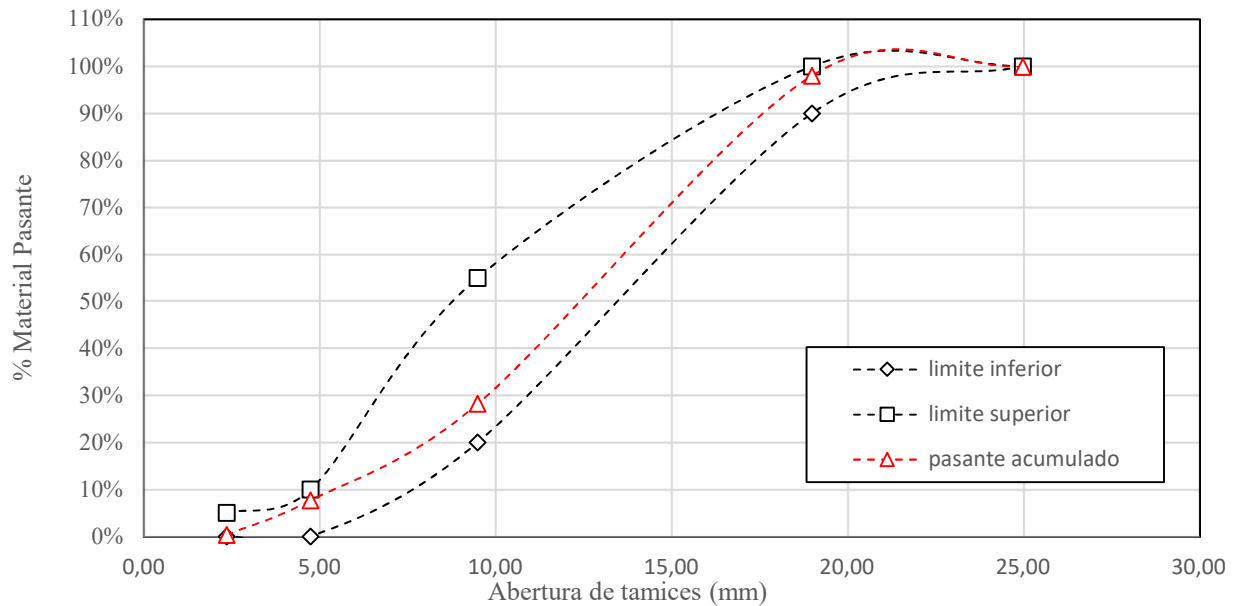
tamiz		Retenido acumulado (%)	Limite Inferior	Pasante acumulado (%)	Limite Superior	Verificación límites ASTM C33
Pulg.	mm					
1"	25,00	0%	100%	100%	100%	Cumple
3/4"	19,00	2%	90%	98%	100%	Cumple
1/2"	12,50					
3/8"	9,50	72%	20%	28%	55%	Cumple

N° 4	4,75	92%	0%	8%	10%	Cumple
N° 8	2,36	100%	0%	0%	5%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Curva granulométrica combinación de agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica mostrada en la figura 31 de la mezcla combina de agregado grueso en porcentajes 15/60/25, satisface con éxito los requisitos de gradación de la ASTM C 33, por lo cual será la combinación de agregado grueso empleado para el diseño de mezcla de hormigón en la presente investigación.

Módulo de finura de una mezcla de agregado grueso. - Se tiene la combinación de agregado grueso entre 3/4" (brita 1), 5/8" (brita 5/8") y 3/8" (brita cero) con los porcentajes de 15, 60 y 25 respectivamente, se procede a determinar el módulo de finura según procedimiento establecido en ASTM C 125.

$$MF_{\text{mag}} = \frac{\%(0 + 0 + 2 + 72 + 92 + 100 + 0 + 0 + 0 + 0)}{100} = 2.66$$

M.F. mag = Modulo de finura de la mezcla del agregado grueso = 2.66

COMBINACIÓN AGREGADO FINO. - Para la combinación de los agregados finos se tomó los resultados del análisis granulométrico del Polvo de Brita proveniente de Brasil y Arena del Rio Acre.

Tabla 41
Combinación de agregado fino polvo de brita y arena.

Tamiz	Pasante Acumulado (%)		Combinación 85%-15%
	Polvo de Brita (4.75mm)	Arena Rio Acre (1.18mm)	
3/8"	100*85%	100*15%	100%
N° 04	99*85%	100*15%	99%
N° 08	85*85%	100*15%	87%
N° 16	55*85%	99*15%	62%
N° 30	34*85%	99*15%	44%
N° 50	17*85%	88*15%	28%
N° 100	7*85%	10*15%	7%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 41 se puede identificar que el tamaño nominal de la combinación de agregado grueso mediante el método del tanteo, queda entre el tamiz N° 04 (4.75 mm) y el tamiz N° 100 (0.15 mm), a la cual se procederá a verificar si cumplen con los límites de gradación estipulados en la normativa ASTM C33 que se muestra en la tabla 42.

Tabla 42
Verificación límites de gradación ASTM C33 combinación agregado fino.

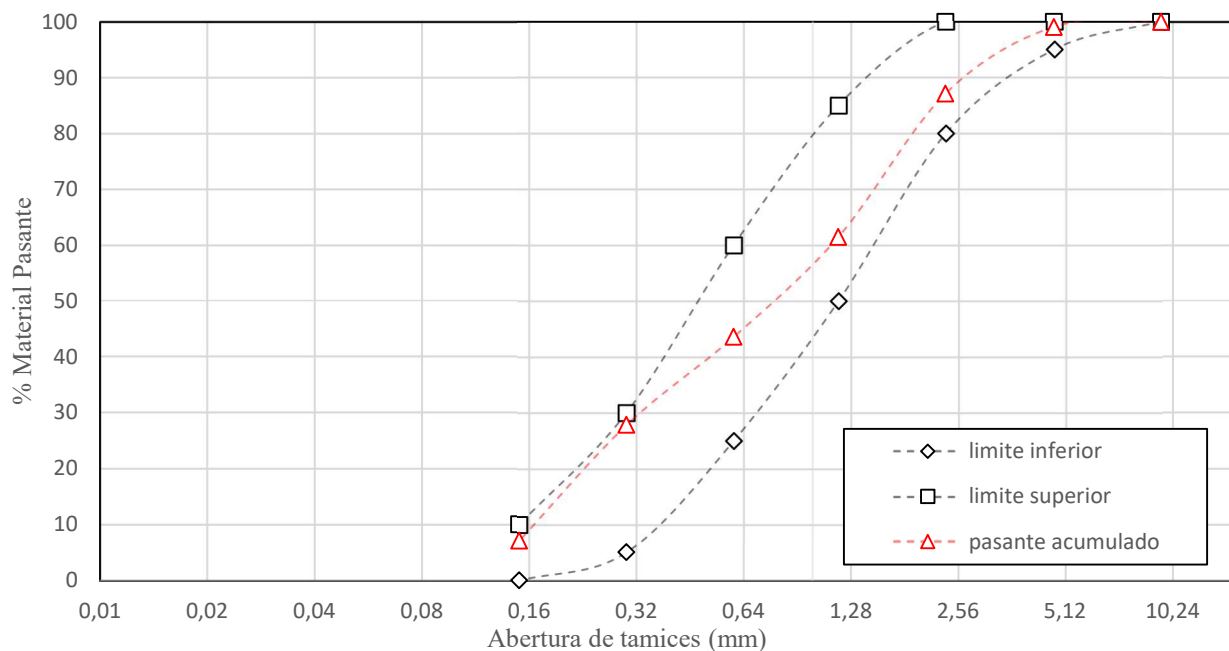
tamiz		Retenido acumulado (%)	Limite Inferior	Pasante acumulado (%)	Limite Superior	Verificación límites ASTM C33
Pulg.	mm					
3/8"	9.50	0%	100%	100%	100%	Cumple
N° 04	4.75	1%	95%	99%	100%	Cumple

N° 08	2.36	13%	80%	87%	100%	Cumple
N° 16	1.18	38%	50%	62%	85%	Cumple
N° 30	0.60	56%	25%	44%	60%	Cumple
N° 50	0.30	72%	5%	28%	30%	Cumple
N° 100	0.15	93%	0%	7%	10%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Curva granulométrica combinación de agregado fino.



Fuente: Elaboración propia

Módulo de finura de una mezcla de agregado fino. - Se tiene la curva granulométrica mostrada en la figura 32 de la combinación de agregados finos, entre polvo de Brita y Arena del Rio Acre con los porcentajes de 85 y 15 respectivamente, se procede a determinar el módulo de finura según procedimiento establecido en ASTM C 125.

$$MF_{maf} = \frac{\%(1 + 13 + 38 + 56 + 72 + 93)}{100} = 2.73$$

M.F. maf = Modulo de finura de la mezcla del agregado fino = 2.73

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS GRUESO Y

FINO. – Para la caracterización física de los agregados gruesos y fino combinado, se procedió a realizar ensayos mediante los métodos estandarizados por las normas ASMT, en la tabla 43 se presenta los resultados de los ensayos que nos servirán para determinar las cantidades de agregados el diseño de mezcla de hormigón.

Tabla 43

Características físicas de los agregados combinados gruesos y finos.

Característica física	Unidad	Agregado grueso	Agregado Fino
Peso específico Gs	Kg/m ³	2673.50	2244.50
Porcentaje de humedad	%	0.07	0.15
Porcentaje de absorción	%	0.32	1.57
Peso unitario compactado	Kg/m ³	1561.84	1736.32
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1397.73	1565.61
Tamaño Max. Nominal	mm	19.00	4.75
Módulo de finura	---	2.66	2.73

Fuente: Elaboración propia

3.4. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN H21 MEDIANTE EL MÉTODO DE LA ACI 211 PARA SU USO COMO MEZCLA DE CONTROL (O. E. 4)

En el presente trabajo se desarrolla la metodología para cuantificar las cantidades de materiales que se utilizan para la preparación de las mezclas de hormigón y su moldeo en las probetas cilíndricas de acuerdo a los requerimientos de las resistencias características.

3.4.1. DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE 21 MPA - MÉTODO ACI 211

El campo de aplicación del método (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) ACI – 211 se limita a la fabricación de hormigones con dos agregados (grueso y fino), además se toma en

cuenta requisitos tales como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad exigidas para cualquier mezcla de hormigón.

El método americano ACI 211, consiste en seguir en forma ordenada, una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1 m³ de hormigón, para lo cual es necesario tener los datos de las características propias de cada material como ser del cemento y los agregados.

3.4.1.1. DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN DE CONTROL.

Para el diseño de la mezcla de hormigón de control, a continuación, se presenta la secuencia de diseño aplicando el método americano (ACI 211.1 - 91).

Tabla 44

Características de los materiales para el diseño de mezcla de hormigón

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	90 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	10 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

Fuente: Elaboración propia

Paso 1.- Determinar la resistencia promedio requerida en laboratorio (f'_{cr})

De acuerdo a lo especificado en ACI 318, cuando no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que permiten calcular la desviación estándar, la resistencia requerida deberá ser determinada mediante el empleo de la tabla 45.

Tabla 45

Resistencia promedio requerida (f'_{cr}) cuando no hay datos disponibles de desviación estándar.

Resistencia a compresión especificada f'_c	Resistencia promedio requerida f'_{cr}
$f'_c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 85 \text{ kg/cm}^2$
$f'_c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = 1,10f'_c + 50 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85 \text{ kg/cm}^2 = 295 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 2.- Selección de revenimiento

Tabla 46

Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas, campanas y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Hormigón masivo	5	2.5

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318-2002

Paso 3.- Selección tamaño máximo nominal del agregado

Según la granulometría del agregado grueso, corresponde:

Tamaño máximo nominal = 19 mm

Paso 4.- Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire

Se llega a determinar la cantidad de agua requerida o de diseño según la tabla 47, considerando el tamaño máximo nominal de agregado de 19 mm y el revenimiento seleccionado de 7.5 cm. Para un hormigón sin aire incluido.

Tabla 47

Requerimiento de agua para diferentes revenimientos y tamaño máx. de agregado

Agua kg/m ³ para el hormigón del agregado de tamaño nominal máximo "mm" indicado								
Revenimiento "cm"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
	9.5mm	12.5mm	19mm	25mm	35mm	50mm	75mm	150mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cant. Aprox. de aire (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: Tabla 6.3.3 ACI 211.1

Requerimiento de agua = 205 kg/m³

Cantidad aprox. De aire = 2.00 %

Paso 5.- Selección de relación agua/cemento

Tabla 48

Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del hormigón

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua/cemento (A/C) por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Tabla 6.3.4 (a) ACI 211.1

INTERPOLACION			Relación agua/cemento (A/C)
Lim. Superior	350	0.48	0.551
Valor	295	X	
Lim. Inferior	280	0.57	

Paso 6.- Cálculo del contenido de cemento

El factor cemento se determina dividiendo el volumen unitario del agua entre la relación agua/cemento.

$$\text{Cantidad de cemento requerido} = \frac{\text{Requerimiento de agua}}{\text{relacion}_{\frac{\text{agua}}{\text{cemento}}}} = 372 \text{ Kg/m}^3$$

Paso 7.- Estimación de contenido de agregado grueso

Los datos para la estimación de la cantidad de agregado grueso son: el módulo de finura del agregado fino de 2.73, Tamaño máx. Nominal del agregado de 19 \approx 20 mm y el peso unitario compactado (P.U.C) = 1561.84 kg/m³.

Tabla 49

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón

Tamaño máximo nominal de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de hormigón para distintos módulos de finura de arena.			
	2.4	2.6	2.8	3
10	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Tabla 6.3.6 (a) ACI 211

INTERPOLACION			Volumen unitario del hormigón
Lim. Superior	2.80	0.62	0.627
Valor	2.73	X	
Lim. Inferior	2.60	0.64	

$$\text{Volumen del agregado grueso} = \text{P.U.C} * \text{V.U.C} = 979.27 \text{ kg/m}^3$$

Paso 8.- Estimación del contenido de agregado fino

Su cantidad es determinada por diferencia. Se propone dos procedimientos cualesquiera de los dos puede ser empleados: el método de peso o el método de volumen absoluto.

Método por peso

El requerimiento del agregado fino será determinado bajo el concepto de peso y volumen absoluto como se mostrará a continuación.

El peso requerido del agregado fino es, simplemente, la diferencia entre el peso del hormigón fresco y el peso total de los demás componentes. En ausencia de la información del peso del hormigón fresco, se puede emplear la tabla 50 para hacer un cálculo tentativo.

Datos:

Agua	205 kg
Cemento	372 kg
Agregado grueso	979 kg
Σ Total	1556 kg

Tamaño máx. Nominal del agregado = 19 \approx 20 mm

Hormigón sin aire incorporado

Tabla 50
Primera estimación del peso del hormigón fresco

Tamaño máximo nominal de agregado (mm)	Primera estimación del peso del hormigón fresco, kg/m ³
	Hormigón sin aire incluido
10	2285
12.5	2315
20	2355
25	2375
40	2420

50	2445
70	2465
150	2505

Fuente: Tabla 6.3.7.1 ACI 211

Estimación del peso del hormigón fresco: 2355 kg/m³

Estimación de la cantidad Agregado Fino:

Peso hormigón fresco - Peso Componentes = Σ Total - Estimación del peso del hormigón fresco
798.00 kg

Método por volumen Absoluto

Con las cantidades de cemento, agua, aire y agregado grueso ya establecidas, el contenido de agregado fino será la diferencia de 1m³ de hormigón menos el volumen ocupado por el resto de los componentes, como se muestra a continuación:

Tabla 51

Cálculo de agregado fino por volumen absoluto

Material	Gravedad Específica, Gs	Densidad (ρ) [Kg/m ³]	Peso calculado de los Mat. [Kg]	Volumen Peso Mat./ ρ [m ³]
Agua	1	1000	205	0.205
Cemento	2.85	$G_s \times \gamma_w =$	372	0.131
Agregado Grueso	2.6735	$G_s \times \gamma_w =$	979	0.366
Contenido de Aire Según		2.00%		0.020
Volumen Total de ingredientes, sin el agregado fino				0.722
Volumen de Agregado Fino: 1 - Volumen total de ingredientes =				0.278
Agregado Fino	2.2445	$G_s \times \gamma_w \times \text{Vol. A.F.} =$	624 Kg	

G_s = Gravedad específica de cada material

γ_w = Peso específico del agua

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52

El resumen de cantidades de cada material por m³ de hormigón

Materiales	Peso (Kg)
Agua	205
Cemento	372
Agregado Grueso Seco	979
Agregado Fino Seco	
	Calculado Por Peso
	798
	Calculado por Volumen
	624

Fuente. Elaboración propia

Paso 9.- Ajustes por humedad de los agregados

Para una primera prueba del diseño de dosificación se empleará la cantidad de agregado fino calculado por volumen absoluto.

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m3)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m3)	Dosificación (m3)
Cemento	0,131	372			372	372 kg
Agregado Fino	0,278	624	-1,42%	-8,88	625	0,40 m3
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m3
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/C Efectiva	0.581
-----------------------	-------

3.4.1.2. MEZCLAS DE PRUEBA PARA VERIFICAR LOS RESULTADOS REQUERIDOS DEL DISEÑO DE MEZCLA.

Una vez realizado del diseño de mezclas se procedió a realizar pruebas para la comprobación de sus resultados mediante el procedimiento estándar (ASTM C 39/C 39M - 03) con el fin de garantizar la resistencia característica requerida y emplearlo como el diseño de mezcla de control, a continuación, se presentan los resultados de los ensayos de prueba.

En el anexo C se detalla las cantidades del diseño de mezcla de prueba utilizado en la presente investigación para lograr obtener una $F'_{cr} = 295 \text{ Kg/cm}^2$.

Tabla 53

Dosificación mezcla de prueba.

Cantidades mezclas de prueba							
Mezcla de agregado grueso: 15% (brita 1), 60% (brita 5/8") y 25% (brita cero).							
Mezcla de agregado fino: 85% Polvo de Brita y 15% Arena del Rio Acre.							
Nº	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)	Cemento (kg)	Agua (lts)	Relación A/C	Slump diseño (Cm)	Observaciones
1	980.00	625.00	372.00	216.00	0,551	7,50	Cantidad Agregado fino cálculo por volumen.
2	980.00	800.00	372.00	219.00	0,551	7,50	Cantidad Agregado fino cálculo por peso
3	980.00	611.00	390.00	216.00	0,526	7,50	Cantidad A. fino cálculo por

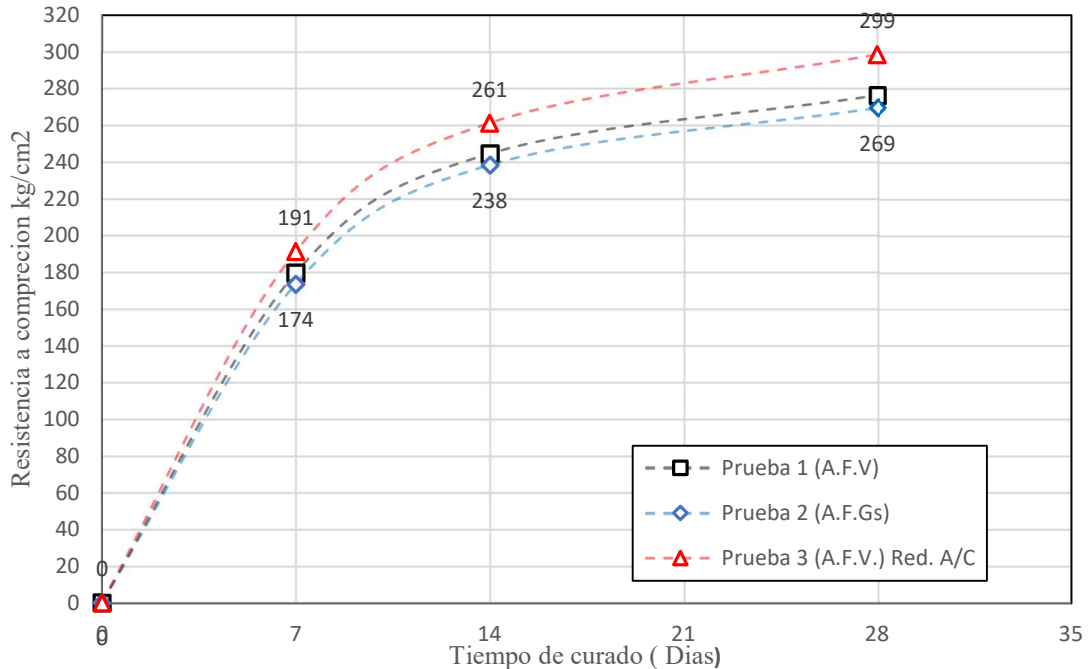
Fuente: Elaboración propia

Tabla 54
Resultados diseño de mezcla dosificaciones de prueba.

N° Prueba	Slump Obtenido	Tiempo de curado/Resistencia a compresión (kg/cm ²)						Observación	
		7 días		14 días		28 días			
		Resistencia	Prom.	Resistencia	Prom.	Resistencia	Prom.		
1	8.0	1	185,24		233,45		284,98	No cumple lo requerido	
		2	174,24	179,58	248,74	244,52	268,07		276,28
		3	179,27		251,36		275,80		
2	9.5	1	177,18		235,15		268,33	No cumple lo requerido	
		2	168,29	173,61	242,82	238,38	283,31		269,46
		3	175,37		237,16		256,73		
3	7.0	1	185,12		254,68		296,09	Cumple	
		2	192,92	191,29	261,18	261,23	305,89		298,54
		3	195,83		267,83		293,63		

Fuente: Elaboración propia

Figura 33
Resultados diseño de mezcla dosificaciones de prueba.



A.F.V.: Agregado fino calculado por volumen.

A.F.Gs.: Agregado fino calculado por gravedad específica.

A.F.V. Red. A/C: Agregado fino calculado por volumen y reducción de la relación agua/cemento.

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados obtenidos en los ensayos de prueba que se muestra en la figura 33, se puede identificar que para obtener la resistencia promedio requerida, la mezcla original diseñando mediante el método ACI 211 tuvo que ser modificada reduciendo la relación agua cemento, además que al utilizar la cantidad de agregado fino calculado por volumen presentan mejores desempeños de resistencia. Por lo tanto, para la presente investigación se utilizará como mezcla de control la dosificación de prueba N° 3 que tiene una relación agua/cemento de 0.526 y la cantidad de agregado fino calculado por volumen.

3.5. DETERMINACIÓN DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS (O. E. 5)

Este método se refiere a determinar las mezclas de pruebas, mediante la sustitución de cemento por la ceniza de cáscara de arroz en la dosificación de mezcla de control, para la evaluación del comportamiento de la principal característica mecánica del hormigón en estado endurecido.

3.5.1. DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN SUSTITUYENDO CEMENTO POR CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.

De acuerdo a las recomendaciones del procedimiento estándar para seleccionar el proporcionamiento de hormigón de peso normal ACI 211, se recomienda que el uso de cenizas o materiales puzolánicos debe tomarse en cuenta solamente como sustituto parcial del cemento, y que su cantidad se debe de tener en cuenta en el proceso de diseño de mezcla, ya que a la hora de determinar la relación agua-cemento (A/C) esta llega a ser modificado llegando a ser la relación agua-material cementante ($A/C+P$).

Para la presente investigación las cantidades de los porcentajes de sustitución de cemento por puzolana tienen un máximo del 10%, basado en la mínima trabajabilidad permisible del hormigón normal. Para esta investigación se utilizó el método por peso equivalente para

determinar las cantidades de la relación A/(C+P), donde se indica que la relación A/C determinada por el método ACI 211 tiene que ser igual a la relación A/(C+P), con el detalle de que la cantidad de puzolana incorporada como sustituto parcial del cemento, se la considera como material cementante.

$$\left[\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento} + \text{Puzolana}} \right] = \left[\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} \right]; \text{ Equivalencia en peso}$$

En el anexo C se detalla las cantidades del diseño de mezcla utilizado en la presente investigación tomando en cuenta la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz mediante el método de equivalencia en peso, a continuación, en la tabla 55 se muestra el resumen de los diseños de dosificaciones:

Tabla 55

Materiales para dosificación de hormigones de control y experimental.

Descripción	Cantidad en peso (Kg/m ³)						
	Muestra	M-C	M-E1	M-E2	M-E3	M-E4	M-E5
Cemento	100%	100%	98%	96%	94%	92%	90%
Ceniza	0%	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Cemento		390	382	374	366	358	351
Ceniza		0	8	16	23	31	39
Agregado Fino húmedo		611	611	611	611	611	611
Agregado Grueso húmedo		980	980	980	980	980	980
Agua		216	216	216	216	216	216
Material cementante		390	390	390	390	390	390
Relación A/C		0.526	-	-	-	-	-
Relación A/(C+CCA)		-	0.526	0.526	0.526	0.526	0.526
Relación A/(C+CCA) efectivo		0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555

M-C Muestra de control

M-E Muestras experimentales

Fuente: Elaboración propia

3.6. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS Y MEZCLA DE CONTROL (O. E. 6)

Este método se refiere a realizar los ensayos en estado endurecido de las mezclas de pruebas y mezcla de control, mediante procedimientos estándar de las normas ASTM para determinar la resistencia mecánica a la compresión

3.6.1. DETERMINACIÓN DE REVENIMIENTO SEGÚN MÉTODO (ASTM C 143/C 143M – 03).

Esta norma instituye los procedimientos que ayudan a determinar la consistencia del hormigón en estado fresco, mediante el método de ensayo conocido como revenimiento. Este método de ensayo se considera aplicable al hormigón plástico con agregado grueso de hasta 37.5 mm (1 ½ in) de tamaño.

Si el agregado grueso es mayor a 37.5 mm (1 ½ in) el método de ensayo es aplicable cuando se realiza en la fracción de hormigón que pasa por un conducto de 37.5 mm (1 ½ in), con el agregado más grande siendo removido de acuerdo con la sección titulada “Procedimiento Adicional para Hormigón con Agregado de Tamaño Máximo Grande” en la Práctica C 172.

El método no se considera aplicable a hormigones no plásticos y no cohesivos

- Asentamiento < 15 mm (1/2”) pueden ser no plásticos
- Asentamientos > 230mm (9”) pueden ser no cohesivos

Equipo

- Cono estándar de revenimiento (10 cm de diámetro en la parte superior por 20 cm de diámetro en la parte inferior, y por 30 cm de altura).
- Varilla de punta redondeada (60 cm de largo x 16 mm de diámetro).
- Cucharón de lámina galvanizada.

- Mazo de hule de 600 ± 200 g, y llana metálica.
- Cinta métrica rígida o semirrígida

Procedimiento

Se humedeció el interior del cono y colocó sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente y rígida, llenando el cono en tres capas.

La primera capa se introdujo al molde aproximadamente $1/3$ de su volumen y 7 cm de altura; se varilló la capa 25 veces en todo su espesor, distribuyendo, uniformemente, los golpes sobre la sección transversal de la capa. Se inclinó ligeramente la varilla, empezando cerca del perímetro, continuando en forma de espiral hacia el centro.

La segunda capa, se vertió la mezcla al cono aproximadamente $2/3$ de su volumen, 16 cm de altura aproximadamente; el compactado es similar a la capa anterior. El varillado fue de 25 veces en todo su espesor, penetrando ligeramente la capa anterior; también se distribuyeron, uniformemente, los golpes en toda la sección transversal.

Para la tercera capa, se llenó el hormigón acumulando por encima de la parte superior del cono; se procedió al varillado 25 veces en todo su espesor, penetrando ligeramente en la segunda capa. Se tuvo hormigón en exceso por encima del cono.

Se enrasó la parte superior de la superficie de hormigón con la varilla de compactación, en un movimiento de enrasado, manteniendo presionado sobre el cono; se removió la mezcla que se acumuló alrededor de la base del cono durante el enrasado.

A continuación, se procedió a la remoción del cono levantándolo en una dirección vertical constante, sin hacer ningún movimiento lateral o de torsión.

Finalmente, se ubicó el cono al revés y la varilla a través del cono volteado, y se midió el revenimiento. Ésta es la distancia vertical entre la parte superior del cono y el centro original desplazado en la parte superior de la superficie del espécimen. La prueba se realizó sin interrupción, desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un período de 2 ½ minutos.

Consistencia de los hormigones frescos: Las distintas consistencias y los valores límites de los asentamientos correspondientes, medidos en el cono de Abrams de acuerdo con el método del ensayo indicando en la norma NB 87 / UNE 7103 se indican en la tabla 26.

Tabla 56
Trabajabilidad del hormigón

Consistencia	Asentamiento, en cm	Tolerancia, en cm	trabajabilidad
Seca	0 – 2	0	Poco trabajable
Plástica	3 – 5	±1	Trabajable
Blanda	6 – 9	±1	Trabajable
fluida	10 - 15	±2	Muy trabajable

Fuente. Norma Boliviana CBH 87

Figura 34
Ensayo determinación de revenimiento ASTM C 143



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 57 se observa los resultados de los ensayos de asentamiento, para lo cual se realizó 3 pruebas para las distintas muestras, una muestra de control y cinco experimentales con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por ceniza de cáscara arroz.

Tabla 57
Asentamiento de las diferentes mezclas de hormigón

Tipo	Hormigón		Revenimiento SLUMP (cm)				Observación
	Cemento	CCA	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	
MC	100%	0%	7.5	7.3	7.7	7,5	Trabajable
ME-1	98%	2%	6.9	7.1	7	7	Trabajable
ME-1	96%	4%	5.8	6	6.2	6	Trabajable
ME-1	94%	6%	5.1	5	5	5	Trabajable
ME-1	92%	8%	3.9	4	4.1	4	Trabajable
ME-1	90	10.%	2.7	2.2	2.6	2,5	Poco trabajable

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA (ASTM C 31/C 31M - 03)

Esta práctica cubre los procedimientos para fabricar y curar especímenes de cilindros y vigas a partir de muestras representativas de hormigón fresco para un proyecto de construcción.

El hormigón utilizado para hacer los especímenes moldeados se debe muestrear después de que se hayan hecho todos los ajustes en el sitio a las proporciones de la mezcla, incluida la adición de agua de mezcla y aditivos.

Equipos

- Moldes cilíndricos de acero según especificación de ASTM C-470/C-470 M.
- Mezcladora del hormigón.
- Cucharón para el llenado del molde
- Carretilla, como recipiente de muestreo, limpio y no absorbente.
- Varilla de punta redondeada (60 cm de largo x 16 mm de diámetro).
- Llana de mano, herramienta de acabado.

Muestreo

Las muestras utilizadas para fabricar especímenes de prueba bajo esta norma se obtuvieron de acuerdo con la Práctica C 172.

Procedimiento

En la elaboración de los especímenes, se realizó usando una mezcladora con capacidad de 350 litros, teniendo separadas las porciones (previamente pesadas) necesarias para cada mezcla. Se procedió a realizar la mezcla, como indica la norma ASTM C-192.

Previa a la iniciación de la rotación de la mezcladora, se adicionó el agregado grueso, y parte del agua de mezclado.

Se encendió la mezcladora, y luego se adicionó el agregado fino, cemento y agua, con la mezcladora funcionando. Se mezcló el hormigón durante 3 min, después que todos los componentes se encuentren en la mezcladora, luego, se dejó en reposo durante 3 min y, finalmente, se mezcló por 2 min. Se cubrió la parte superior abierta de la mezcladora, para prevenir la evaporación durante el período de reposo.

Se procedió a vaciar la mezcla en una carretilla para, posteriormente, llenar los moldes y proceder con las pruebas de caracterización de hormigón fresco realizando el muestreo como especifica la norma ASTM C-176 (NB 634).

Se ubicó el molde en una superficie rígida y nivelado, sin vibraciones y perturbaciones, en un lugar cerca a la ubicación donde fueron almacenados. Se colocó el hormigón en el molde, moviendo el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde, para asegurar una distribución pareja del hormigón con una segregación mínima. Cada molde de contenido fue

consolidado en 3 capas, según los requisitos especificados en la tabla 59. Cuando se coloca la capa final, se agrega una cantidad de hormigón que llene el molde, y se complementa la consolidación según tabla 58.

Tabla 58

Requisito método de consolidación

Asentamiento in. (mm)	Método de consolidación
≥ 1 (25)	Varillado o vibración
< 1 (25)	vibración

Fuente: Normas ASTM C-31

Tabla 59

Requisitos de moldeado por varillado

Tipo y Tamaño del espécimen cilíndricos diámetro.	Número de capas de aproximadamente igual profundidad	Número de golpes de varilla por capa
100 mm (4 in)	2	25
150 mm (6 in)	3	25
225 mm (9 in)	4	50

Fuente: Normas ASTM C-31

Acabado de Cilindros

La parte superior se enrasó con la varilla metálica con un movimiento similar al del serrucho, retirando el excedente del material; posteriormente, con una llana de mano, se realizó el acabado final.

Almacenamiento inicial

Inmediatamente después de elaborados los especímenes fueron transportados al lugar de almacenamiento donde permanecieron sin ser perturbados durante el periodo de curado inicial.

Curado inicial

Inmediatamente acabado, se cubrió la parte superior con un material impermeable (plástico), evitando la pérdida de humedad por un período de hasta 24 ± 8 h, en un rango de temperatura entre 16 y 27 °C [60 y 80 °F], en un ambiente protegido de la luz directa del sol.

Curado final (retiro de moldes)

Al completar el curado inicial, y dentro de los 30 min después de quitar los moldes, se curó los especímenes con agua manteniéndolo sobre sus superficies todo el tiempo, a la temperatura de 23.0 °C, se realizó la inmersión en agua, para que cumplan con los requisitos de la Especificación C-511.

Antes de la inmersión en piscina, se procedió al marcado de datos que corresponde, número de cilindro, resistencia, tipo de material, y fecha.

Figura 35

Preparación de especímenes cilíndricos de hormigón para ensayos de resistencia



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN (ASTM C 39/C 39M - 03)

El método de ensayo determina la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón. Consiste en la aplicación de carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito, hasta que ocurra la falla. Los resultados de este método de ensayo, son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, colocación del hormigón, y uso de aditivos.

Importancia

Se debe tener cuidado en la interpretación dada su importancia de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, ya que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón fabricado con materiales determinados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, los procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeado y fabricación, y las condiciones de edad, temperatura y humedad durante el curado.

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las Prácticas C 31, C 192, C 617 y C 1231 y los Métodos de ensayo C 42 y C 873.

Equipo

- Máquina o prensa hidráulica, motorizada, de aplicación de carga continua y sin impacto.
- Encuadres metálicos: debe ser como mínimo de 30cm. De longitud, para chequear la perpendicularidad.
- Flexómetro, dispositivo para medir.
- Balanza de precisión 0.01 kg.

Procedimiento

Se registraron las dimensiones de diámetro y peso del cilindro, y se limpiaron las superficies; las bases de los especímenes o caras de aplicación de carga son cabeceadas con tapas de almohadillas de neopreno, conforme a la norma ASTM C-1231. Se utilizó la cubierta de almohadilla de neopreno, ya que se permite su utilización para medir las resistencias del hormigón entre 1.500 y 7.000 psi (10 a 50 MPa).

Para el ensayo de rotura, las cabezas del cilindro de prueba se alinearon con su eje, cuidadosamente, con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras, la placa superior se baja hacia el espécimen, teniendo un contacto suave y uniforme.

Los cilindros se centraron en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. Se aplicó la carga hasta que aparezca la falla de ruptura, registrándola en el informe las lecturas de la carga y resistencia; también, se calculó la resistencia a la compresión del cilindro, dividiendo la carga axial máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medido.

Figura 36

Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón



Fuente: Elaboración propia

3.6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA TERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA.

Para la presente investigación se procedió a realizar el análisis estadístico según la Guía Para la Evaluación de Resultados de Ensayos de Resistencia del hormigón (ACI 214RS-11), donde se empieza examinando las fuentes de variabilidad entre tandas en la producción de hormigón, seguida de las fuentes de variabilidad dentro de cada tanda, así también donde presentan las herramientas estadísticas que se usan para analizar y evaluar la variabilidad del hormigón y determinar el cumplimiento de una determinada especificación.

3.6.4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA.

Se requirió un número suficiente de ensayos para determinar en forma precisa la variación de la resistencia del hormigón y permitir la aplicación de procedimientos estadísticos apropiados para la interpretación de los resultados de los ensayos. Los procedimientos estadísticos proporcionaron una base sólida para la determinación de la calidad y la resistencia del hormigón y para la presentación de los resultados en la forma más fiable.

Los cilindros de hormigón que se usaron para medir la resistencia, fueron muestreados (ASTM C172/C172M), fabricados, curados según la norma (ASTM C31 /C31M), y probados (ASTM C39/C39M) bajo condiciones altamente controladas.

Para la comprobación de los resultados que garanticen certeza y confiabilidad se evaluó de acuerdo a los siguientes parámetros: los datos de la resistencia a compresión tienen un tiempo de fraguado de 28 días, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

En el anexo E, se detallan el proceso de cálculo de la distribución normal e histogramas de frecuencia para el hormigón de control M-C y los hormigones experimentales M-E con

diferentes porcentajes de sustitución de cemento por CCA, donde se sigue el procedimiento de análisis estadístico según la Guía Para la Evaluación de Resultados de Ensayos de Resistencia del hormigón (ACI 214RS-11).

3.7. EVALUACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DE LAS MEZCLAS DE CONTROL Y EXPERIMENTALES (O. E. 7)

Este procedimiento se refiere a evaluar el costo económico de las mezclas de control y experimentales mediante un análisis de precio unitario para determinar el costo beneficio del uso de la ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial de cemento Portland en el hormigón

3.7.1. ANÁLISIS DE COSTO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE CCA

Para determinar del costo económico que significa la producción de la ceniza de cáscara de arroz se elaboró un análisis de precio unitario considerando todos los gastos económicos que implicaron su producción, que se muestran en la tabla 60, para lo cual se presenta el siguiente detalle de gastos económicos que genero el proceso de producción de la ceniza de cáscara de arroz.

- La cáscara de arroz por tratarse de un desecho agrícola no tiene costo económico 0.00 Bs.
- Para el transporte se considera el costo económico que implica el alquiler de una movilidad para trasladar toda la cáscara de arroz al lugar de calcinación, flete de movilidad transporte una distancia de aproximadamente 45 kilómetros 50 Bs.
- El consumo eléctrico del horno de calcinación durante toda la producción es de 73.6 KW
- Se pago por concepto de alquiler de horno mufla la suma de 100 Bs.
- Cantidad de ceniza obtenida 30 kg de CCA.

Tabla 60

Análisis de precio unitario producción de CCA

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cáscara de arroz	Kg	0.00	0.00	0.00
Trasporte	H	0.33	50.00	50.00
Consumo eléctrico	KW	73.60	0.84	61.82
Alquiler del horno	Glb	1.00	100.00	100.00
Tec. Laboratorista	H	16.00	15.00	240.00
Total, costo (Bs)				451.82
Cantidad CCA (Kg)				30.00
Precio unitario (Bs/Kg)				15.06

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan la tabla 61 del análisis de precio unitario de las mezclas de hormigón de control y experimentales por concepto de materiales.

Tabla 61Análisis de precio unitario de materiales para la producción de un M³ de hormigón

1.- Mezcla de control (100% cemento + 0% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	390.00	1.16	452.40
Ceniza	Kg	0.00	15.06	0.00
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20
Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (MC 100%C+0%CCA) (Bs)				1035.40
2.- Mezcla experimental 1 (98% cemento + 2% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	382.20	1.16	443.35
Ceniza	Kg	7.80	15.06	117.47
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20

Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (ME-1 98%C+2%CCA) (Bs)				1143.82
3.- Mezcla experimental 2 (96% cemento + 4% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	374.40	1.16	434.30
Ceniza	Kg	15.60	15.06	234.94
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20
Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (ME-2 96%C+4%CCA) (Bs)				1252.24
4.- Mezcla experimental 3 (94% cemento + 6% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	366.60	1.16	425.26
Ceniza	Kg	23.40	15.06	352.40
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20
Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (ME-3 94%C+6%CCA) (Bs)				1360.66
5.- Mezcla experimental 4 (92% cemento + 8% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	358.80	1.16	416.21
Ceniza	Kg	31.20	15.06	469.87
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20
Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (ME-4 92%C+8%CCA) (Bs)				1469.08
6.- Mezcla experimental 5 (90% cemento + 10% CCA)				
Descripción	Unidad	Cantidad Dosificación por (m3)	Costo unitario (Bs)	Sub total (Bs)
Cemento Portland tipo IP 30	Kg	351.00	1.16	407.16
Ceniza	Kg	39.00	15.06	587.34
Agregado grueso	M3	0.70	550	385.00
Agregado fino	M3	0.39	480	187.20
Agua	L	216.00	0.05	10.80
Total, costo (ME-5 90%C+10%CCA) (Bs)				1577.50

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS FISICOQUÍMICO DE CCA.

De los ensayos fisicoquímicos que se le realizó a la ceniza de cáscara de arroz obtenida mediante calcinación a temperatura controlada de 600 °C, la CCA obtenida y empleada para la presente investigación se clasifica como una puzolana del Tipo F ajustándose a los requisitos de la norma ASTM C 618 con un ligero desfase en la demanda de agua máxima según los requisitos de clasificación.

Tabla 62

Clasificación de la ceniza de cáscara de arroz

	Requisito según Clase			Resultado
	N	F	C	
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + óxido de fierro (Fe ₂ O ₃), min %	70.00	70.00	50.00	84.79%
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %	4.00	5.00	5.00	3.17 %
Contenido de humedad, máx. %	3.00	3.00	3.00	0.85%
Pérdida por calcinación, máx. %	10.00	6.00	6.00	4.15%
Finura: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 µm (N° 325), máx., %	34.00	34.00	34.00	32.60%
Índice de actividad puzolánica: Con cemento Portland, a 7 días, mín., % Con cemento Portland, a 28 días, mín., %	75.00	75.00	75.00	108.14%
Demanda de agua, máx., % del control	115.00	105.00	105.00	119.83

Fuente: Informe de ensayos químicos del Departamento de Química UMSS

Así mismo se puede identificar que para lograr una alta propiedad puzolánica de este material como ser la CCA, es necesario incrementar la cantidad de agua requerida para el preparado de la mezcla.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGREGADOS

De acuerdo al análisis realizado a los diferentes agregados grueso y finos empleados en el presente estudio se puede identificar que para dar cumplimiento a los límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C-136 es necesario realizar la combinación de agregados para tener agregados con una adecuada gradación.

Para la identificación de las propiedades físicas necesarias para un diseño de mezclas mediante el método ACI 211 se realizaron ensayos a los agregados gruesos y finos.

4.2.1. AGREGADOS FINOS

En el presente estudio se empleó dos tipos de agregados finos una de origen natural con cantera en el Rio Acre y otra de origen artificial que viene como resultado de la trituración de roca.

- Arena del Rio Acre siendo este un agregado de origen natural y que de acuerdo a su análisis granulométrico (ver anexo B) tiene un módulo de finura de 1.03 indica ser un agregado muy fino para ser considerado por si sola como agregado fino para la producción de hormigón, además de no cumplir con los límites granulométricos que establece la norma ASTM C-136.
- Polvo de Brita, que viene como resultado de la trituración de rocas, en su análisis granulométrico (ver anexo B) muestra un módulo de finura de 3.04 que si bien cumple con los límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C-136 esta muestra cierto grado de acercamiento al límite superior (grosor) en la curva granulométrica.

4.2.2. AGREGADOS GRUESOS

El agregado grueso empleado en el presente estudio tiene como origen la piedra triturada de origen brasilera llamada también Brita, a la cual se le realizó el análisis granulométrico (ver anexo B) de tres tipos de agregados grueso con diferente tamaño nominal para su estudio y empleo como agregado grueso en el diseño de mezcla de hormigón

Los resultados obtenidos mediante el análisis granulométrico podemos identificar que:

- Brita 1, no cumple los límites granulométricos mostrando una discontinuidad en su gradación y que se la puede considerar como un agregado con alto contenido de partículas gruesas con tamaño nominal de 19 mm.
- Brita 5/8, en su mayor parte cumple con los límites granulométricos, pero muestra cierto contenido de partículas finas la cual hace que no se le puede considerar un agregado con una adecuada gradación.
- Brita 0, este agregado muestra cierta inclinación hacia los agregados finos por su alto contenido de las mismas, pero no lo suficiente como para ser considerado como parte de ellas.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE HORMIGÓN

4.3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN

Para la presente investigación se realizó el diseño de mezcla de hormigón mediante el método americano ACI 211, entre los resultados obtenidos se tiene lo siguiente:

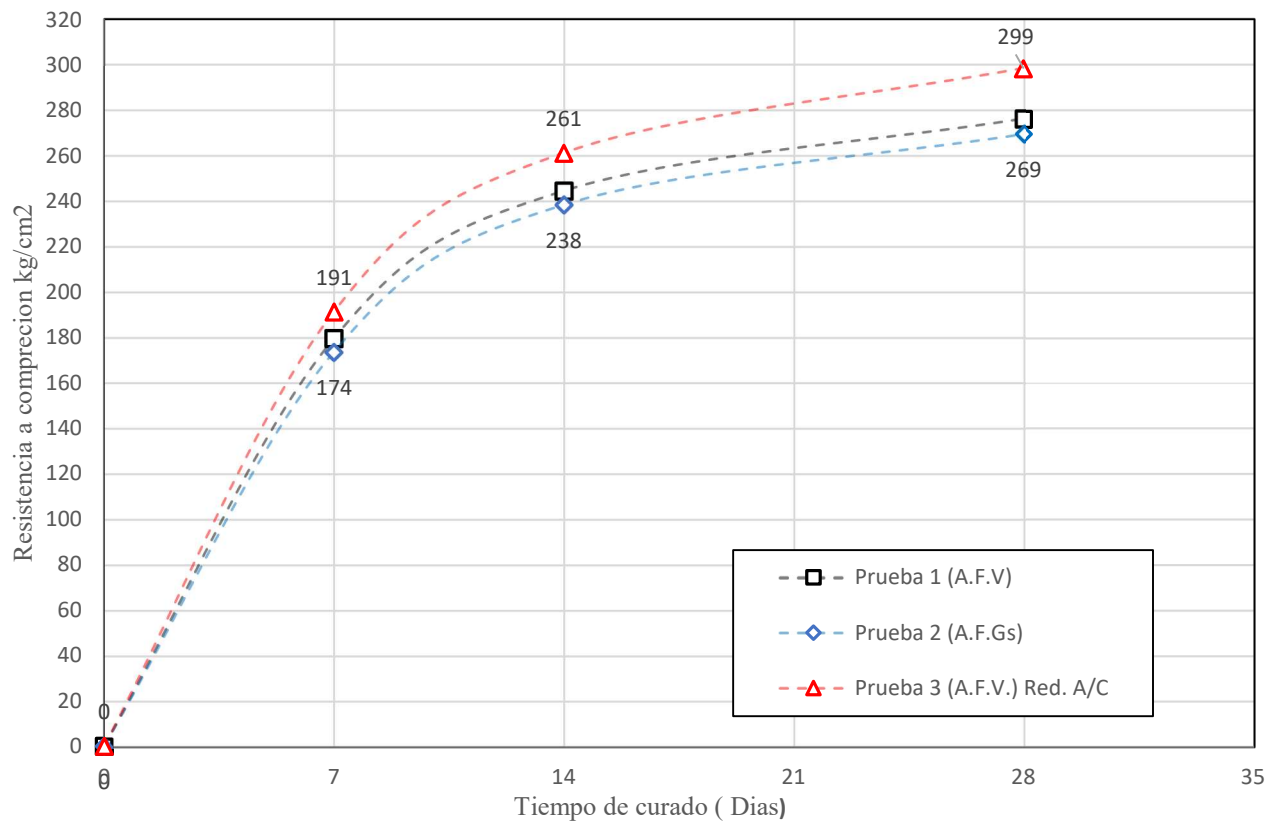
- En el proceso de estimación del contenido de agregado fino para el diseño de mezcla, se plantean dos métodos la cuales son el método por peso y método por volumen absoluto,

se pudo llegar a identificar que la selección de uno u otro método tiene incidencia en algunas propiedades del hormigón tales como el revenimiento y la resistencia a compresión.

- Una vez identificada las cantidades del diseño de mezcla de hormigón, se procedió a realizar los ensayos de prueba, identificando de esta manera que para obtener el resultado esperado se tiene que ajustar algunos pasos en el procedimiento del método de diseño de mezcla ACI 211 como ser la reducción de la relación agua/cemento.

Figura 37

Resultados de diseño de mezcla dosificaciones de prueba.



A.F.V.: Agregado fino calculado por volumen.

A.F.Gs.: Agregado fino calculado por gravedad específica.

A.F.V. Red. A/C: Agregado fino calculado por volumen y reducción de la relación agua/cemento.

Fuente: Elaboración propia

Se pudo identificar que esta influencia en la resistencia a compresión se da por la siguiente causa;

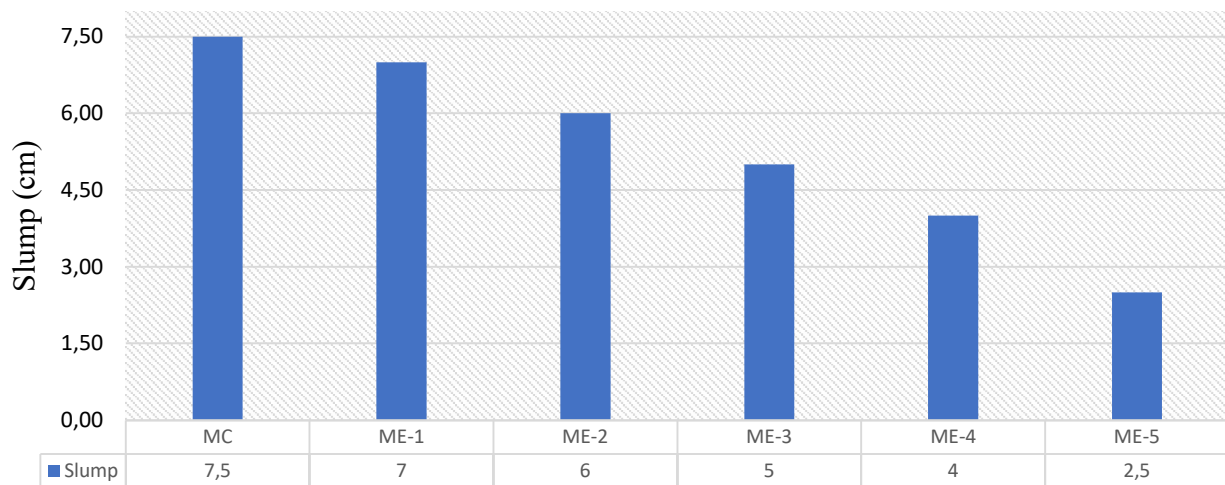
- La selección de la cantidad de agregado fino por peso y la selección de la relación agua/cemento, se dan por estimación de tabla de valores, valores que no consideran las características propias de los materiales del lugar, además de las características medioambientales de la región.

4.3.2. ANÁLISIS RESULTADOS EN EL HORMIGÓN FRESCO

En la aplicación de la sustitución del cemento por ceniza de cáscara de arroz, de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados, se pudo observar que el revenimiento del hormigón fresco es afectado y estos a su vez van variando conforme al porcentaje de sustitución como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 63

Revenimiento con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por CCA



MC: Muestra de control con 100% cemento + 0% ceniza
 ME-1: Muestra experimental 1 con 98% cemento + 2% ceniza
 ME-2: Muestra experimental 2 con 96% cemento + 4% ceniza
 ME-3: Muestra experimental 3 con 94% cemento + 6% ceniza
 ME-4: Muestra experimental 4 con 92% cemento + 8% ceniza
 ME-5: Muestra experimental 5 con 90% cemento + 10% ceniza

Fuente: Elaboración propia

Otro de los efectos en cuenta con respecto a la variación del revenimiento de hormigones con sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz, es la pérdida de trabajabilidad que se presenta conforme se va incrementando el porcentaje de sustitución.

Estos resultados se ven a causa de que la ceniza de cáscara de arroz tiene una alta demanda de requerimiento de agua en un 119.83% con respecto al requerimiento de agua del cemento.

4.3.3. ANÁLISIS RESULTADOS EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO

De acuerdo a los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizada a las diferentes muestras de hormigón (Ver anexo D) se presenta los resultados de la resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días, con la cual se puede identificar la variación que resulta de la sustitución de cemento por CCA.

Tabla 64

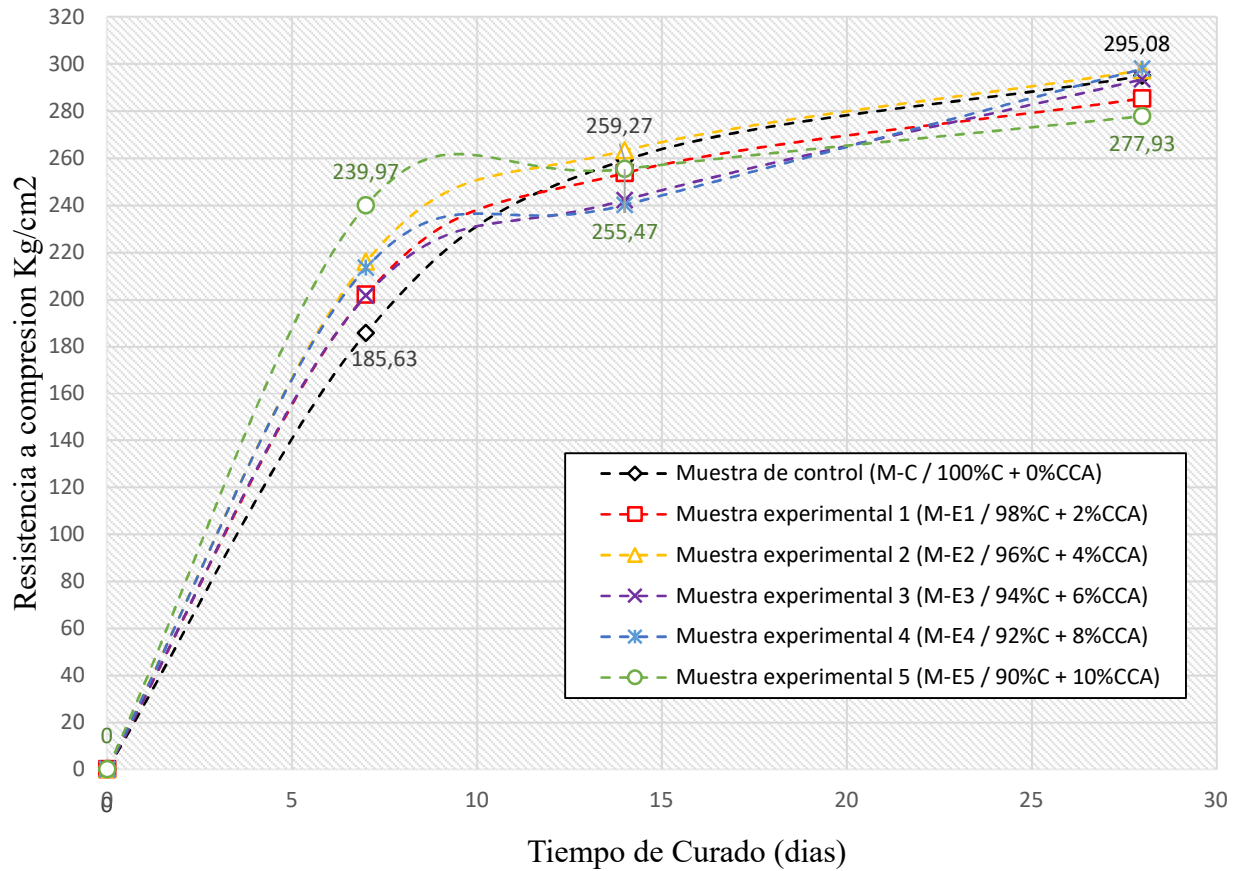
Variación de f'_{cr} entre la muestra de control y las muestras experimentales

N°	Descripción	Edad	Resistencia prom. de rotura (kg/cm ²)	% Resistencia	Variación (+ incremento/-reducción)
1	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	295,08	100,00%	0,00%
2	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	285,5	96,75%	-3,25%
3	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	297,42	100,79%	0,79%
4	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	293,58	99,49%	-0,51%
5	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	298,09	101,02%	1,02%
6	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	277,93	94,19%	-5,81%

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Curva de madurez de la resistencia a compresión del hormigón



Fuente: Elaboración propia

- La resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 días se ve afectado por la sustitución de cemento por CCA; estas muestras dan un incremento considerable conforme se incrementa el porcentaje de sustitución.
- La resistencia a compresión del hormigón a la edad de 28 días se ve afectado por la sustitución de cemento por CCA estas muestran una relativa reducción conforme se incrementa el porcentaje de sustitución.

- A nivel general se puede identificar que con la sustitución de cemento por CCA se puede obtener un hormigón con características de alta resistencia inicial a los 7 días y una reducción en la resistencia final a los 28 días.

4.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El análisis estadístico realizado a los resultados de la resistencia a compresión de las distintas muestras tanto la muestra de control como las experimentales se presentan en el Anexo E donde se siguieron todos los pasos que establece la guía ACI 214, para tal efecto se consideraron parámetros tales como la desviación estándar y el coeficiente de variación dentro de la tanda para poder realizar el control de calidad y de esa forma tener la certeza y confiabilidad de resultados obtenidos mediante los ensayos, así también poder identificar la resistencia característica de las diferentes muestras.

Tabla 65
Resultados del análisis estadístico de resistencia característica

Análisis estadístico	Muestras de hormigón					
	MC	ME-1	ME-2	ME-3	ME-4	ME-5
Criterios de Aceptación						
El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f_c	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Ningún ensayo individual puede estar $f_c - 3,5$ Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Desviación estándar (Mpa)	0,68	0,98	1,06	1,32	1,34	1,98
De acuerdo al valor de las desviaciones estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente
Coeficiente de variación dentro de la tanda	2,16%	3,50%	3,46%	4,97%	4,51%	5,75%
De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:	muy buena	buena	buena	regular	regular	mala
Resistencia promedio requerida	295,08	285,5	297,42	293,58	298,09	277,93

Resistencia característica al 99 % de confiabilidad (kg/cm ²)	273,5	254,45	264	249	255,5	215
---	-------	--------	-----	-----	-------	-----

MC: Muestra de control con 100% cemento + 0% ceniza
ME-1: Muestra experimental 1 con 98% cemento + 2% ceniza
ME-2: Muestra experimental 2 con 96% cemento + 4% ceniza
ME-3: Muestra experimental 3 con 94% cemento + 6% ceniza
ME-4: Muestra experimental 4 con 92% cemento + 8% ceniza
ME-5: Muestra experimental 5 con 90% cemento + 10% ceniza
Fuente: Elaboración propia

Entre lo más relevante en cuanto al análisis de resultados en el control estadístico de la confiabilidad de resultados y la identificación de una resistencia característica de las diferentes muestras se puede identificar que:

- Conforme se va incrementando la cantidad de CCA en sustitución de cemento Portland, la dispersión de resultados de los ensayos va incrementando por lo cual tiene una mayor desviación estándar, pero la calificación al proceso de la operación de resultados en laboratorio sigue considerándose como excelente.
- La diferencia del coeficiente de variación dentro de la tanda entre muestras es muy significativa, ya que va incrementando conforme se va incrementando el porcentaje de sustitución de cemento por CCA, demostrando así que este incremento en la sustitución ocasiona cambios en la calidad de la toma de muestras.
- Con respecto a la resistencia característica si bien va reduciendo conforme se va sustituyendo cemento por CCA se sigue manteniendo dentro de lo requerido es decir que aun cumple con la resistencia característica requerida

4.3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS COSTO DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN DE CONTROL Y EXPERIMENTALES

Analizando los datos obtenidos del costo económico para la producción de hormigón de control y hormigón experimental, se puede identificar que la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz en 2%, 4%, 6%, 8% y 10% tienen un incremento en el costo del 10%, 21%, 31%, 42% y 52% respectivamente con respecto al precio del hormigón de control.

Tabla 66

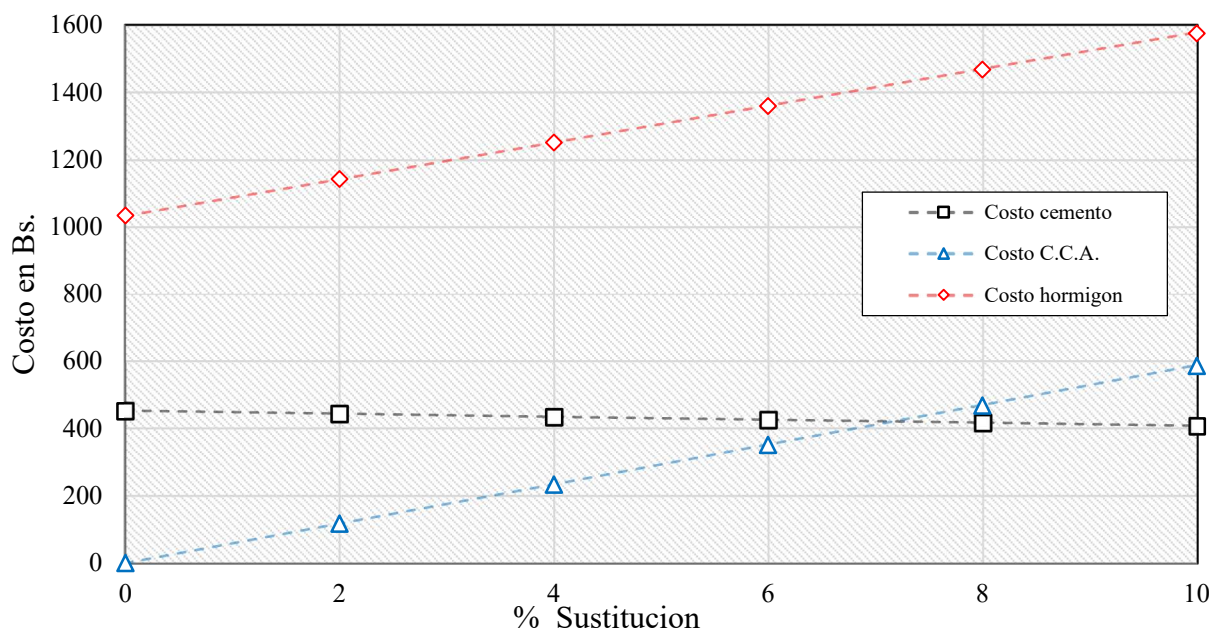
Resumen costo unitario de materiales para producción de hormigón de control y experimentales

Descripción de mezcla	Precio (bs)	% Costo	% Variación + incremento/-reducción
Control (100% cemento + 0% CCA)	1035.40	100	0
Experimental 1 (98% cemento + 2% CCA)	1143.82	110	+10
Experimental 2 (96% cemento + 4% CCA)	1252.24	121	+21
Experimental 3 (94% cemento + 6% CCA)	1360.66	131	+31
Experimental 4 (92% cemento + 8% CCA)	1469.08	142	+42
Experimental 5 (90% cemento + 10% CCA)	1577.50	152	+52

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Evolución del costo unitario de materiales para producción de hormigón según porcentaje de sustitución



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIÓN GENERAL

5.1.1. RESPECTO A LA PUZOLANIDAD DE LA CENIZA

De acuerdo a lo planteado en el objetivo general de la presente investigación se pudo identificar que la ceniza de cáscara de arroz obtenida mediante la calcinación a temperatura controlada de 600 °C, tienen altas propiedades puzolánicas por su alto contenido de sílice que ocupa un 84.08% de sus componentes químicos, además de mostrar un índice de puzolanidad del 108.14 % con respecto a la muestra de control.

5.1.2. RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En cuanto a su desempeño como sustituto parcial del cemento en el diseño de mezclas, se determinó que existe un incremento en la resistencia inicial (rotura a los 7 días) en promedio de un 16 %; pero una disminución en la resistencia final (rotura a los 28 días) promedio de 1,55%.

Corroborando de esta manera las teorías bibliográficas, donde se indican que los cementos puzolánicos dan hormigones con alta resistencia inicial e igual resistencia final a largo plazo (en condición de curado prolongado), que los hormigones preparados con cemento Portland tipo I.

5.1.3. RESPECTO A LA DURABILIDAD

Al aportar las cenizas de cáscara de arroz, con sílices en un 84,79%, los mismos reaccionan con los hidróxidos de calcio (los mismos que no aportan significativamente en la resistencia, ocupando espacio físico o porosidades, a la espera de reaccionar con ácidos de la atmósfera para

formar sustancias nocivas para el concreto y para la enferradura), formando silicatos si las condiciones de curado son prolongados, lo que densificaría la masa del concreto, reduciendo el volumen de poros, por lo tanto dando mayor impermeabilidad al concreto.

En la tabla 67 se muestra un cuadro comparativo de relación de pesos entre el hormigón de muestra y los adicionados con CCA.

Tabla 67

Variación del peso de hormigón experimental

Descripción de mezcla	Nº de probetas	Edad (días)	Peso prom. (kg)	% Variación + incremento/- reducción
Control (100% cemento + 0% CCA)	45	28	12,39	0,00%
Experimental 1 (98% cemento + 2% CCA)	45	28	12,26	-1,02%
Experimental 2 (96% cemento + 4% CCA)	45	28	12,54	1,24%
Experimental 3 (94% cemento + 6% CCA)	45	28	12,48	0,75%
Experimental 4 (92% cemento + 8% CCA)	45	28	12,72	2,69%
Experimental 5 (90% cemento + 10% CCA)	45	28	12,50	0,91%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, reflejan la gran utilidad de hormigones preparados con puzolanas, es decir que son aconsejables para hormigones que estén expuestos a ambientes agresivos (ácidos o levemente ácidos) como ser fundaciones con niveles freáticos altos (aguas duras y/o levemente ácidas) y para conducción de agua servidas y pluviales, es decir situaciones agresivas y de presencia de agua, lo que beneficiaría a una continua formación de silicatos con un curado prolongado.

5.1.4. RESPECTO AL COSTO ECONÓMICO

El costo económico de producción de los hormigones experimentales sufre incrementos, si la obtención de ceniza de cáscara de arroz se lo hace en forma artesanal. Pero si dicha obtención se

lo hace industrialmente su costo de producción baja considerablemente, por lo que conviene el uso de CCA como sustituto parcial y acotado hasta un 10% respecto al peso del cemento Portland normal, abaratando así el precio del hormigón.

5.1.5. RESPUESTA A PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La ceniza de cáscara de arroz obtenida mediante la calcinación a temperatura controlada, es factible, ya que se estaría cumpliendo con los requisitos establecidos en norma para ser considerado un material puzolánico. Así mismo es económicamente viable siempre y cuando la obtención de la CCA sea de forma industrial y no artesanal,

5.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Del análisis y observación de los resultados obtenidos mediante diferentes ensayos realizados para la presente investigación, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Las pruebas físicas y análisis de componentes químicos que se realizaron a la ceniza de cáscara de arroz, indican que, cumplen los requisitos establecidos según la norma ASTM C 618 para ser considerado un material con propiedades puzolánicas además que se clasifican como un material puzolánico tipo F.
- Del análisis granulométrico individual que se realizó a los agregados gruesos y finos, se puede concluir que, para dar cumplimiento a los límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C-136 es necesario realizar la combinación de agregados para tener agregados con una adecuada gradación.
- Del procedimiento de diseño de mezcla ACI 211 para la identificación de cantidades de materiales que componen una mezcla de hormigón, mediante los ensayos de prueba se

puede identificar que, la selección de la cantidad de agregado fino calculado por volumen tiene mejores resultados en la resistencia mecánica de la mezcla diseñada, así también se pudo identificar que existe la necesidad de modificar la relación agua/cemento que indica el procedimiento ACI 211 reduciéndolo en un 5% a la cantidad calculada por este método y de esa forma poder obtener la resistencia a compresión requerida.

- Se determina que la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz tiene incidencia en la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, siendo que las sustituciones en los porcentajes de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% tienen una disminución del 7%, 20%, 33%, 47% y 67% respectivamente en comparación con la muestra de control, además de identificar que a partir de la sustitución del 10% del cemento por ceniza de cáscara de arroz el hormigón pasa a estar en un estado no plástico.
- Se determina que la resistencia a compresión de las muestras experimentales con sustituciones del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% a los 7 días de curado tienen un incremento del 9%, 16%, 9%, 15% y 29% respectivamente, pero a los 28 días de curado presenta un resultado variable del -3%, 0.7% -0.6%, 1% y -6% respectivamente.
- Mediante el análisis estadístico se determina que, la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz presentan mayor dispersión de resultados, la desviación estándar y el coeficiente de variación obtenido de la muestra de control son de 0.68 MPa y 2.16% respectivamente y de la muestra experimental con el mayor porcentaje de sustitución (10%) es del 1.98 MPa y 5.75% respectivamente, identificando de esta manera que a mayor cantidad de sustitución mayor la reducción de la resistencia característica del hormigón.

- Con el análisis del costo de los materiales para la producción de hormigón experimental se concluye que estos costos aumentan conforme se va incrementando la cantidad de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz, el precio de la CCA con respecto al precio del cemento es de 12.98 veces más caro.

5.3. RECOMENDACIONES

Se recomienda como futura investigación el estudio de la temperatura y tiempo adecuado de calcinación de la cáscara de arroz para la obtención de puzolana en su estado amorfo y no cristalino.

Se recomienda como futura investigación la utilización de un aditivo fluidificante o retardante de fraguado, para poder cubrir el incremento de agua requerida que genera la incorporación de puzolana en mezclas de hormigón, lo cual permitirá mantener el revenimiento y trabajabilidad de las mezclas, además de identificar la variación de resultados de la resistencia a compresión utilizando la combinación de estos dos aditivos.

Se recomienda una sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz como máximo hasta un 10% con respecto al peso del cemento, ya que, por su elevado coeficiente de variación dentro de una tanda, presenta una disminución considerable de la resistencia a compresión característica del hormigón mientras mayor sea el porcentaje de sustitución.

Se recomienda como futura investigación el estudio del comportamiento de la sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz en mezclas de mortero.

6. BIBLIOGRAFÍA


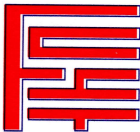
- ACI 211.1 - 91. (s.f.). Practica estándar para la selección del proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo. ACI 211.1 - 91. American concrete institute, EEUU.
- ACI 214R-11. (s.f.). Guía para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del hormigón. ACI 214R-11. American concrete institute, EE.UU.
- ACI 301 S-16. (s.f.). Especificaciones para concreto estructural. American Concrete Institute, EEUU.
- Aliaga, M. J., & Badajos, Q. D. (2018). Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210kg/cm², Atalaya, Ucayali – 2018. Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210kg/cm², Atalaya, Ucayali – 2018. Universidad cesar Vallejo, Lima, Peru.
- Álvaro Valdez. (2015). Una vista del yacimiento en la comunidad de La Calera, donde la empresa minera Sermisud explota puzolana. Periodico Correo del sur.
- ASTM C 117 – 03. (s.f.). Método de prueba estándar para materiales más finos que 75 µm (n.º 200) agregados tamizados por lavado. ASTM C 117 – 03. ASTM, EEUU.
- ASTM C 127 - 01. (s.f.). Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso. ASTM C 127 - 01. ASTM, EEUU.
- ASTM C 128 - 01. (s.f.). ASTM. ASTM C 128-01. Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino, EEUU.
- ASTM C 136 - 01. (s.f.). Método de prueba estándar para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos. ASTM C 136 - 01. ASTM, EEUU.
- ASTM C 143/C 143M – 03. (s.f.). Método de prueba estándar para el asentamiento de concreto de cemento hidráulico. ASTM C 143/C 143M – 03. ASTM, EEUU.
- ASTM C 29/C 29M – 97. (s.f.). Método de prueba estándar para densidad aparente ("Peso unitario") y vacíos en agregados. ASTM C 29/C 29M – 97. ASTM, EEUU.
- ASTM C 31/C 31M - 03. (s.f.). Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en el campo. ASTM C 31/C 31M - 03. ASTM, EEUU.
- ASTM C 311-02. (s.f.). prueba estándar para muestreo y prueba de cenizas volantes o puzolanas naturales para su uso en el hormigón de Cemento Portland. ASTM C 311-02. ASTM, EEUU.
- ASTM C 33 - 03. (s.f.). Especificación estándar para agregados de concreto. ASTM C 33 - 03. ASTM, EEUU.

- ASTM C 39/C 39M - 03. (s.f.). Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón. ASTM C 39/C 39M - 03. ASTM, EEUU.
- ASTM C 566 - 04. (s.f.). Método de prueba estándar para el contenido total de humedad evaporable del agregado por secado. ASTM C 566 - 04. ASTM, EEUU.
- ASTM C 618-03, V. (2014). Especificaciones estandar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en hormigón. ASTM INTERNATIONAL, 1-3.
- ASTM C-702. (s.f.). Práctica estándar para reducción de las muestras de agregados . ASTM C-702. ASTM, EEUU.
- ASTM D-75. (s.f.). Práctica estándar para muestreo de agregados. ASTM D-75. ASTM, EEUU.
- BBC News. (18 de Diciembre de 2018). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías.
- Beltrán Taipe, K. J., & Cama Mendoza, F. M. (2017). Analisis comparativo de concretos adicionados con puzolana. Tesis de grado. Univercidad Nacional De San Agustin De Arequipa, Arequipa.
- Do Santos, C. C., & Lopes, D. C. (2018). Estudo da resistência de concretos com areia de fundição e cinza de casca de arroz. Revista Electronica De Ingenieria Civil, 1-9.
- Fapohunda, C., Bolatito, A., & Ahmed, M. (2017). Estructura y propiedades de morteros y hormigones con ceniza de cascarilla de arroz. Revista internacional de entorno construido sostenible, 676-689.
- Ficha tecnica Cemento Yura, Y. S. (2017). Cemento Portlad Puzolanico IP. Ficha tecnica , 1-4.
- Gomero Cervantes , B. W. (2006). Aditivos y adiciones minerales para el concreto. tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Huaroc Palacios, A. H. (2017). Influencia del porcentaje de micro sílice a partir de la ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y peso unitario de un concreto mejorado. tesis de grado. Universidad Privada Del Norte, Trujillo, Peru.
- Loayza Goicochea, P. (2014). Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión del concreto normal. tesis de grado para obtar el titulo de ingeniero civil. Universidad Nacional de Cajamarca, peru.


- Marcos. (16 de mayo de 2013). Historia del Hormigón. Obtenido de Arquitectura, construcciones, ingeniería, prefabricados, teide: <http://www.prefabricadosteide.com/historia-del-hormigon/>
- Metha, P. K. (1994). Ceniza de cascara de arroz un material de cementacion suplementario. *Advances in Concrete Technology* (2.^a edición),, 419-444.
- P.A.C. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. *Boletín de Ingeniería*. Portland Cement Association, Illinois, E.E.U.U.
- Periodico El Potosi. (2017). Comunarios denuncian que una empresa quiere llevarse puzolana. Potosi.
- Quiroz, C. M., & Salamanca, O. L. (2006). Apoyo didactico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología Del Hormigón”. (Trabajo Dirigido de Licenciatura). Universidad Mayor de San Simon, Cochabamba.
- Quispe Villca, Y. W. (2018). “Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por ceniza de cascara de arroz en la zona altiplánica”. Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.
- Rivva López, E. (2010). *Diseño de Mezclas* (Segunda Edición ed., Vol. Segunda. Lima.
- Sika Bolivia, S. (2019). Ficha Tecnica Sika®Fume. Santa Cruz: Sika Bolivia S. A. Obtenido de <https://bol.sika.com/es/construccion-sika/concreto/esenciales-para-concreto/sikafume.html>
- Trujillo Montero, D. A. (2017). Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador. Proyecto de Investigación. Universidad San Fransisco De Quito, Quito, Ecuador.
- Wilbert, D. G., De Souza, K. C., & Piva, K. M. (2017). Análisis de interfaces de áridos de hormigón reciclado y morteros de hormigón con ceniza de cascarilla de arroz y filler basáltico por nanoindentación. *Ambiente Construido, Porto Alegre*, v. 17., 253-268.


7. ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ

	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN	
	FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA	
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA LABORATORIO DE SERVICIOS		
INFORME DE ENSAYOS QUÍMICOS		
<u>INTERESADO:</u> Sr. Jesus Duran Choque		<u>Certif. No.:</u> 73/22
<u>ANÁLISIS DE:</u> MUESTRA DE CENIZAS entregada en el Laboratorio del Departamento de Química por el interesado.		
<u>RESULTADOS</u>		
PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO
Silice (SiO ₂)	Gravimétrico	84,08 %
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Volumétrico	3,03 %
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Absorción atómica	9,41 %
Trióxido de azufre (SO ₃)	Espectrofotométrico	1,17 %
Retenidos en malla de 45 micras	Gravimétrico	81,88 %

Cochabamba, 8 de junio de 2022.


Lic. Rosse Mary Terán P.
JEFA LABORATORIO DE SERVICIOS



Ciencia y Conocimiento
DESDE 1832

Dirección: Calle Sucre frente al Parque la Torre • Telf.: 4543232 - 4232548 - 4231765 • Telf./Fax: 4541781
Web: <http://www.fcyt.umss.edu.bo> - Cochabamba - Bolivia

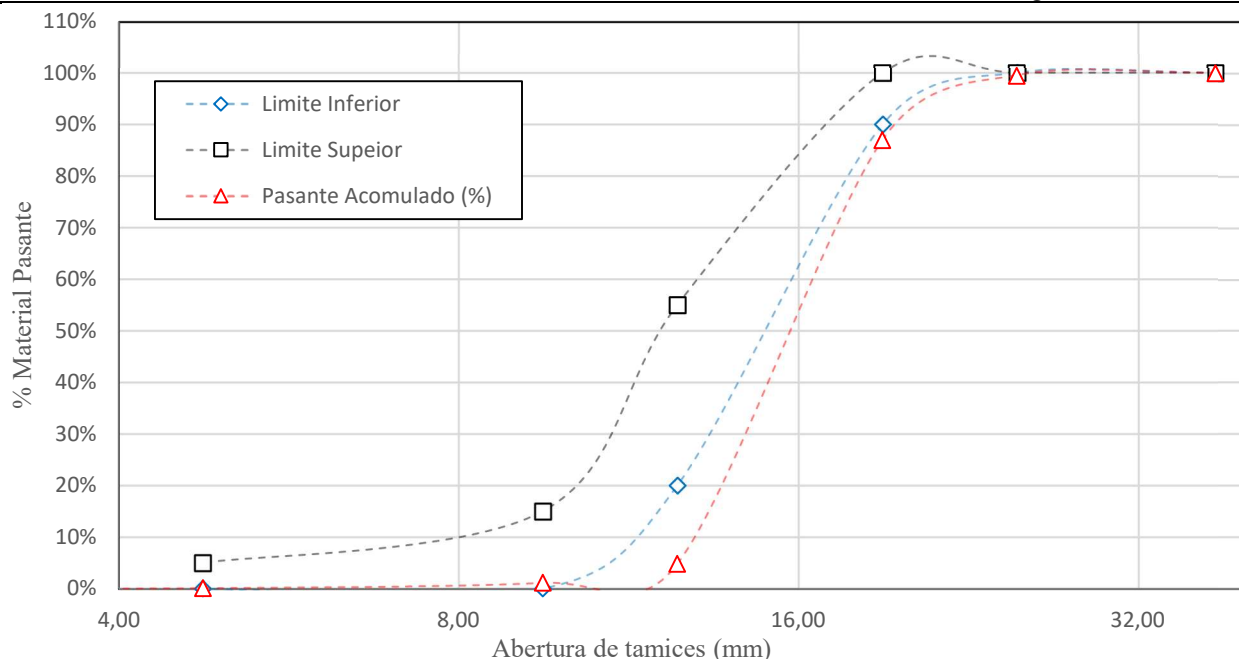
ANEXO B: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES DE AGREGADO GRUESO Y FINO ASTM C-136.

ANEXO B-1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO BRITA 1 (25 MM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA BRITA 1 (25 MM) METODO: ASTM C-136

REALIZADO POR : JESÚS DURAN CHOQUE
 TESIS : "USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA"
 LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

N° de Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Límites ASTM C 33		Descripciones del Agregado
						Inf.	Sup.	
3"	75.00							Peso de la Muestra: 10839.50 gr Tamaño Max.: 25 mm Tamaño nominal: 19 mm Módulo de Finura: 3.12 % de Perdida: 0.005 Observaciones: No cumple con los límites granulométricos de ASTM C 33 Tamizar Por tamiz N° 4 para separar el agregado fino del grueso
2 1/2"	63.00							
2"	50.00							
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00			
1"	25.00	45.40	0.46	0.46	99.54	100%	100%	
3/4"	19.00	1244.80	12.48	12.93	87.07	90%	100%	
1/2"	12.50	8206.40	82.27	95.20	4.80	20%	55%	
3/8"	9.50	367.20	3.68	98.88	1.12	0%	15%	
N° 4	4.75	103.80	1.04	99.92	0.08	0%	5%	
N° 8	2.36	6.50	0.07	99.99	0.01			
N° 16	1.18							
N° 30	0.60							
N° 50	0.30							
N° 100	0.15							
Fondo		1.00	0.01	100.00	0.00			
Total		9975.10	100.00					

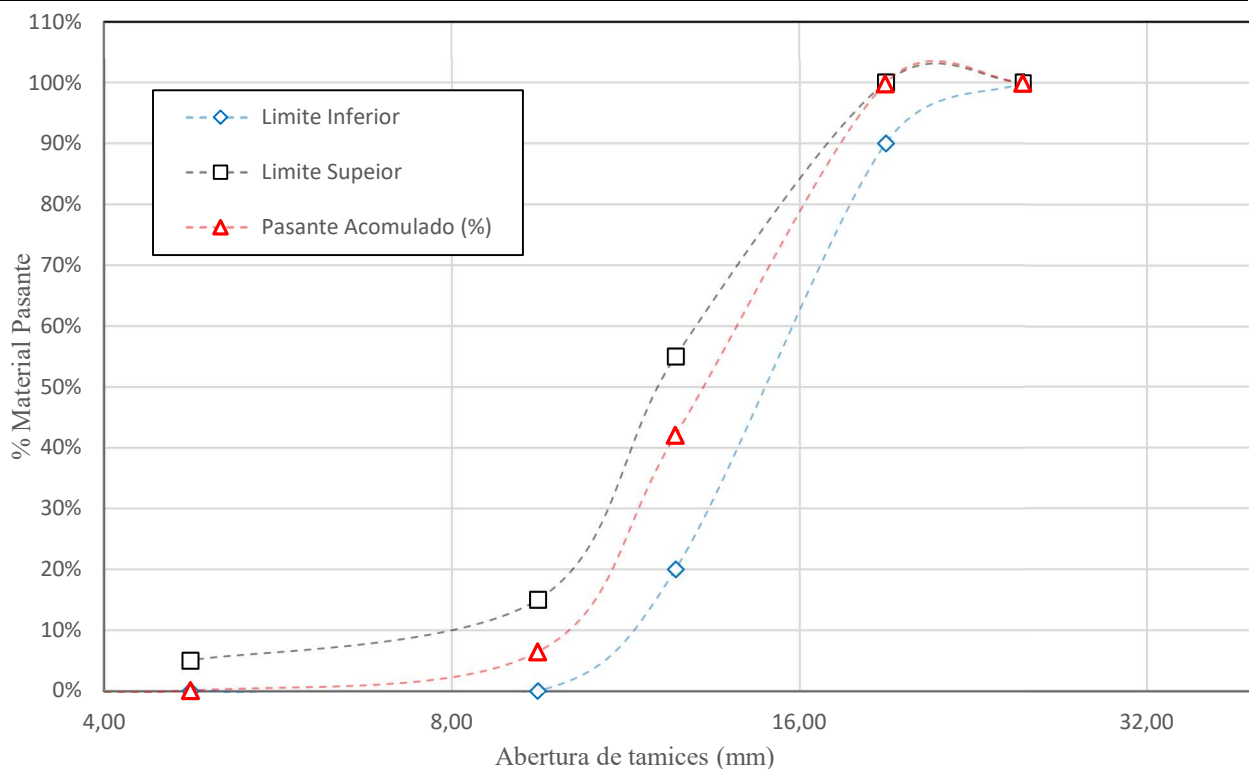


ANEXO B-2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO BRITA 5/8 (19 MM).

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA BRITA 5/8 (19 MM)
METODO: ASTM C-136**

REALIZADO POR : JESÚS DURAN CHOQUE
 TESIS : "USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA"
 LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

N° de Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Límites ASTM C 33		Descripciones del Agregado
						Inf.	Sup.	
3"	75.00							Peso de la Muestra: 10107.90 gr Tamaño Max.: 19 mm Tamaño nominal: 12.5 mm Módulo de Finura: 2.94 % de Perdida: 0.01
2 1/2"	63.00							
2"	50.00							
1 1/2"	37.50	0,00	0,00	0,00	100,00			
1"	25.00	0,00	0,00	0,00	100,00	100%	100%	
3/4"	19.00	8,92	0,10	0,10	99,90	90%	100%	
1/2"	12.50	5298,00	57,84	57,93	42,07	20%	42%	
3/8"	9.50	3265,50	35,65	93,58	6,42	0%	6%	
N° 4	4.75	583,70	6,37	99,96	0,04	0%	0%	
N° 8	2.36	1,38	0,02	99,97	0,03			
N° 16	1.18							
N° 30	0.60							
N° 50	0.30							
N° 100	0.15							
Fondo		2.74	0.03	100.00	0.00			Observaciones: Tamizar Por tamiz N° 4 para separar el agregado fino del grueso
Total		9160.24	100.00					

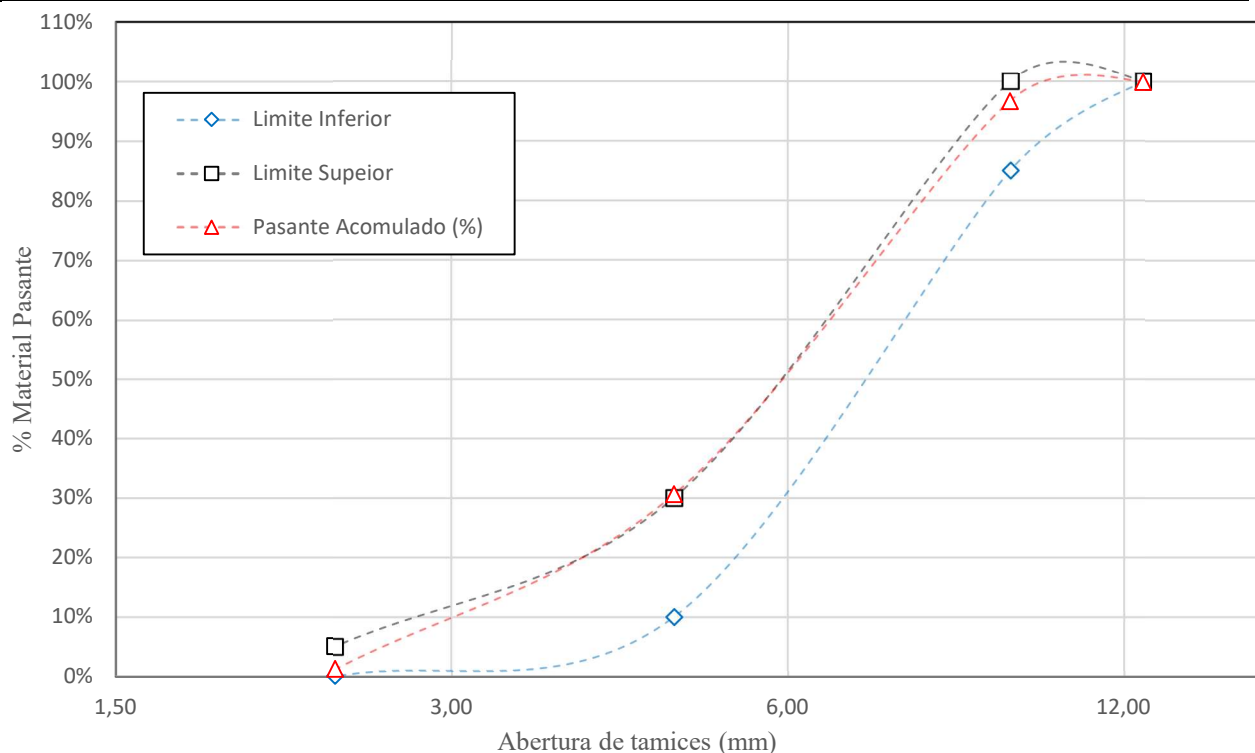


ANEXO B-3: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO BRITA 3/8 (12 MM).

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA BRITA 3/8 (12 MM)
MÉTODO: ASTM C-136**

REALIZADO POR : JESÚS DURAN CHOQUE
 TESIS : "USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA"
 LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

N° de Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Límites ASTM C 33		Descripciones del Agregado
						Inf.	Sup.	
3"	75.00							Peso de la Muestra: 6007.00 gr
2 1/2"	63.00							Tamaño Max.: 12.5 mm
2"	50.00							Tamaño nominal: 9.5 mm
1 1/2"	37.50							
1"	25.00							
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00			
1/2"	12.50	2.40	0.04	0.04	99.96	100%	100%	Módulo de Finura: 1.72
3/8"	9.50	172.70	3.22	3.26	96.74	85%	100%	% de Perdida: 0.02
N° 4	4.75	3551.00	66.16	69.42	30.58	10%	30%	
N° 8	2.36	1579.80	29.43	98.85	1.15	0%	5%	
N° 16	1.18							Observaciones: No cumple con los límites granulométricos de ASTM C 33
N° 30	0.60							
N° 50	0.30							
N° 100	0.15							
Fondo		61.65	1.15	100.00	0.00			Tamizar Por tamiz N° 4 para separar el agregado fino del grueso
Total		5367.55	100.00					

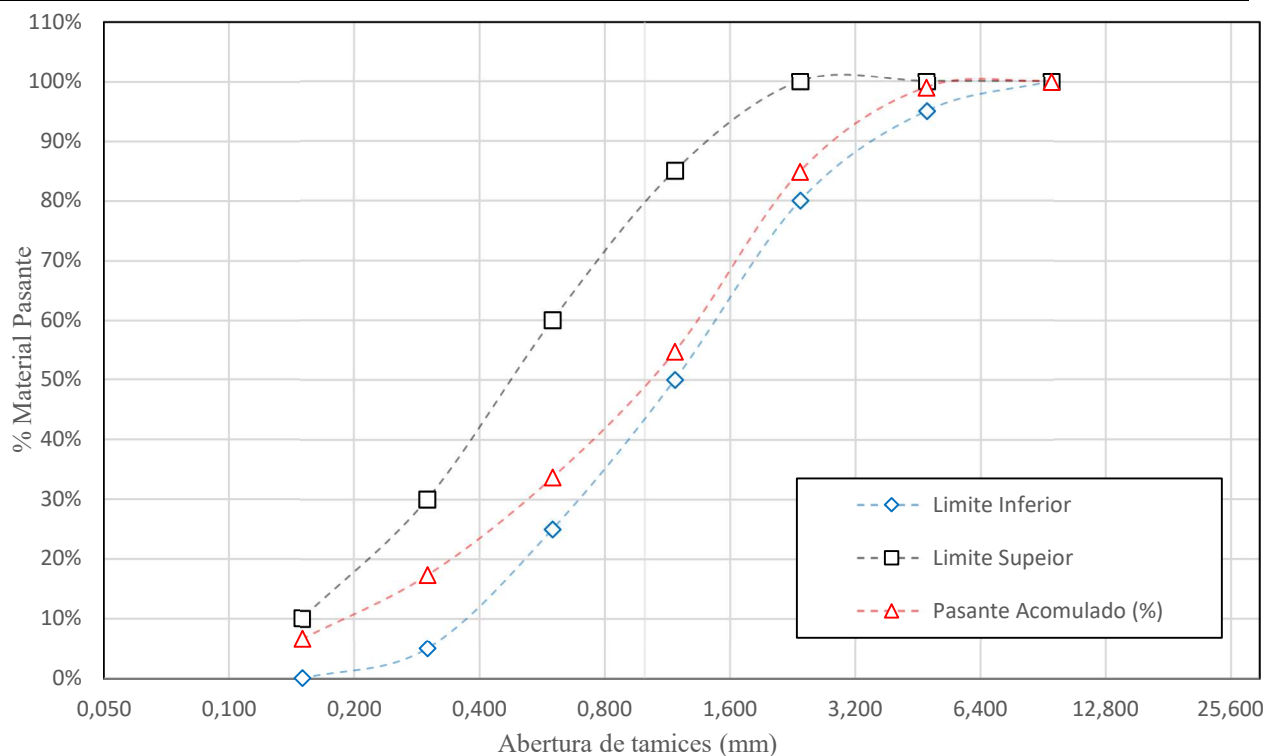


ANEXO B-4: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POLVO DE BRITA (4.75 MM)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO PIEDRA TRITURADA
POLVO DE BRITA (4.75 MM) METODO: ASTM C-136**

REALIZADO POR : JESÚS DURAN CHOQUE
 TESIS : "USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA"
 LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

N° de Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Límites ASTM C 33		Descripciones del Agregado
						Inf.	Sup.	
3"	75.00							Peso de la Muestra: 500.00 gr Tamaño Max.: 4.75 mm Tamaño nominal: 4.75 mm Módulo de Finura: 3.04 % de Perdida: 0.10 Observaciones: El módulo de finura debe estar entre 2.35-3.15 con una máxima variación del 0.2
2 1/2"	63.00							
2"	50.00							
1 1/2"	37.50							
1"	25.00							
3/4"	19.00							
1/2"	12.50							
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	100%	
N° 4	4.75	4.47	1.01	1.01	98.99	95%	100%	
N° 8	2.36	62.33	14.08	15.09	84.91	80%	100%	
N° 16	1.18	133.67	30.20	45.29	54.71	50%	85%	
N° 30	0.60	93.29	21.08	66.37	33.63	25%	60%	
N° 50	0.30	72.47	16.37	82.74	17.26	5%	30%	
N° 100	0.15	47.28	10.68	93.42	6.58	0%	10%	
Fondo		29.13	6.58	100.00	0.00			
Total		442.64	100.00					

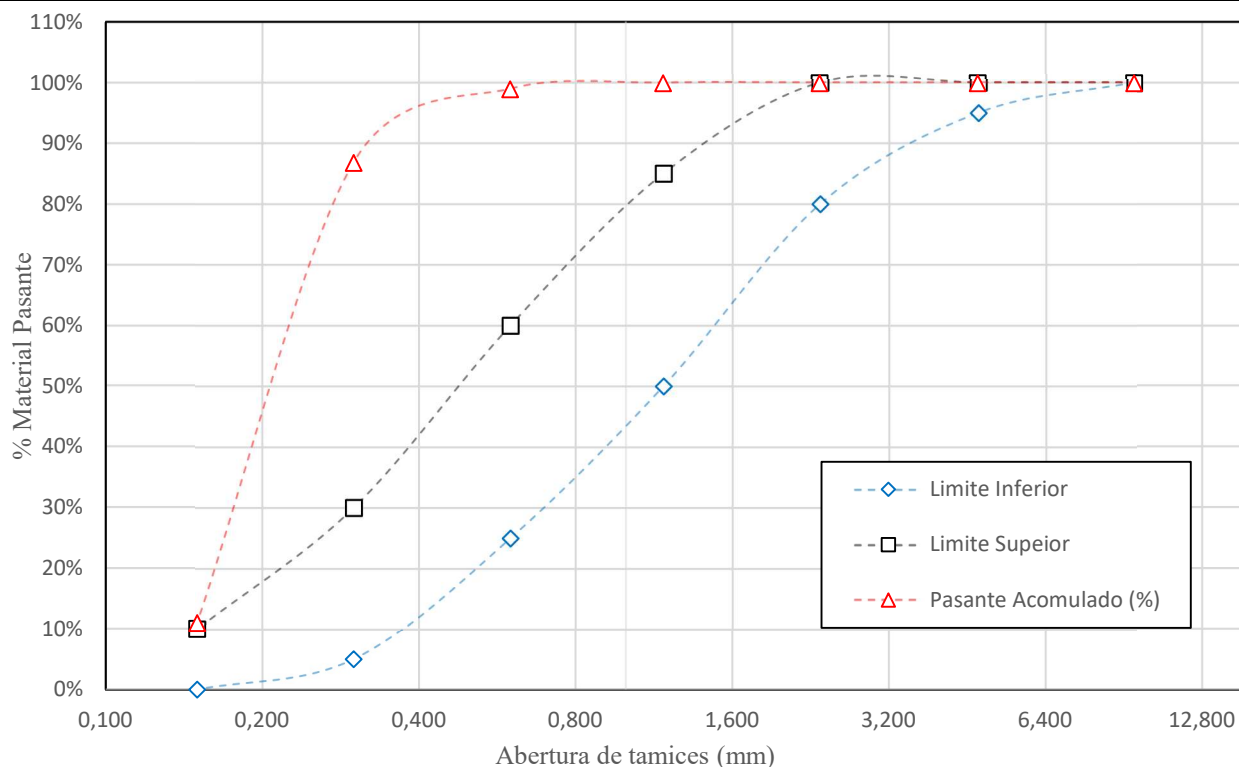


ANEXO B-5: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENA DEL RIO ACRE (1.18 MM)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO
ARENA DEL RIO ACRE (1.18 MM) METODO: ASTM C-136**

REALIZADO POR : JESÚS DURAN CHOQUE
 TESIS : "USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA"
 LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

N° de Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Límites ASTM C 33		Descripciones del Agregado
						Inf.	Sup.	
3"	75.00							Peso de la Muestra: 100.00 gr
2 1/2"	63.00							Tamaño Max.: 1.18 mm
2"	50.00							Tamaño nominal: 0.60 mm
1 1/2"	37.50							Módulo de Finura: 1.03
1"	25.00							% de Perdida: 0.10
3/4"	19.00							Observaciones: Agregado muy fino El módulo de finura debe estar entre 2.35-3.15 con una máxima variación del 0.2
1/2"	12.50							
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	100%	
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	95%	100%	
N° 8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00	80%	100%	
N° 16	1.18	0.02	0.02	0.02	99.98	50%	85%	
N° 30	0.60	0.01	0.01	0.03	99.97	25%	60%	
N° 50	0.30	12.12	12.40	12.43	87.57	5%	30%	
N° 100	0.15	75.96	77.70	90.13	9.87	0%	10%	
Fondo		9.65	9.87	100.00	0.00			
Total		97.76	100.00					



ANEXO C: DISEÑO MEZCLAS DE PRUEBA ACI 211.1

ANEXO C-1: DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN PROCEDIMIENTO ACI 211.1 (CANTIDAD DE AGREGADO FINO CALCULADO POR VOLUMEN ABSOLUTO)

DISEÑO DE MEZCLAS	
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²	
HORMIGÓN DE PRUEBA 1	
CANTIDAD DE AGREGADO FINO CALCULADO POR VOLUMEN ABSOLUTO	
REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	100 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	0 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. Cem.	% Aire	Factor vol.
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	incluido	A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,551	372	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	372	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,131	372			372	372 kg
Agregado Fino	0,278	624	-1,42%	-8,88	625	0,40 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/C Efectiva	0.581
-----------------------	-------

ANEXO C-2: DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN PROCEDIMIENTO ACI 211.1 (CANTIDAD DE AGREGADO FINO CALCULADO POR PESO)

**DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN DE PRUEBA 2**

CANTIDAD DE AGREGADO FINO CALCULADO POR PESO

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8”	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	100 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	0 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr. Kg/cm ²	TMN (mm)	Slump (mm)	Agua (lit/m ³)	Aire (%)	Agua/Cem. A/C	Cant. Cem. (Kg/m ³)	% Aire incluido	Factor vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,551	372	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	372	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	372			372	372 kg
Agregado Fino	798	-1,42%	-11.36	800	0,51 m ³
Agregado Grueso	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	205			219	218 litros
Aire					

Relación A/C Efectiva	0.588
-----------------------	-------

ANEXO C-3: DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN PROCEDIMIENTO ACI 211.1 (CANTIDAD DE AGREGADO FINO CALCULADO POR VOLUMEN ABSOLUTO Y REDUCCION DE A/C AL 95%)

**DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN DE PRUEBA 3**

CANTIDAD DE AGREGADO FINO POR VOLUMEN ABSOLUTO Y REDUCCION DE A/C AL 95 %

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8”	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	100 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	0 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr. Kg/cm ²	TMN (mm)	Slump (mm)	Agua (lit/m ³)	Aire (%)	Agua/Cem. A/C	Cant. Cem. (Kg/m ³)	% Aire incluido	Factor vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	390	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,137	390			390	390 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	216			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/C Efectiva	0.555
-----------------------	-------

ANEXO C-4: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN DE CONTROL 100% CEMENTO + 0% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
100 % CEMENTO + 0 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	100 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	0 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	0%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	0,00	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	390	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,137	390			390	390 kg
Ceniza	0,000	0			0	0 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO C-5: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN EXPERIMENTAL 98% CEMENTO + 2% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
98 % CEMENTO + 2 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	98 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	2 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	2%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	8	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	382	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,134	382			382	382 kg
Ceniza	0,003	8			8	8 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO C-6: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN EXPERIMENTAL 96% CEMENTO + 4% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
96 % CEMENTO + 4 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	96 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	4 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	4%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	16	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	374	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,131	374			374	374 kg
Ceniza	0,005	16			16	16 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO C-7: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN EXPERIMENTAL 94% CEMENTO + 6% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
94 % CEMENTO + 6 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	94 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	6 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	6%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	23	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	366	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,128	366			366	366 kg
Ceniza	0,008	23			23	23 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO C-8: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN EXPERIMENTAL 92% CEMENTO + 8% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
98 % CEMENTO + 8 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8”	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	92 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	8 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	8%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	31	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	358	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,126	358			358	358 kg
Ceniza	0,011	31			31	31 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO C-9: DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN EXPERIMENTAL 90% CEMENTO + 10% CCA.

DISEÑO DE MEZCLAS
METODO: ACI 211.1 – f'c = 210 kg/cm²
HORMIGÓN CON ADICION DE CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ
90 % CEMENTO + 10 % CCA

REALIZADO POR	: JESÚS DURAN CHOQUE
TESIS	: “USO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) EN EL HORMIGÓN COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN EL MUNICIPIO DE COBIJA”
LUGAR	: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	Brita 1	Brita 5/8"	Brita 0	P. Brita	Arena	P. E.	Contenido
Mezcla agregado grueso	15 %	60 %	25 %				
Mezcla agregado fino				85 %	15 %		
Cemento Portland tipo IP 30 YURA						2.85	90 %
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)						2.74	10 %

DESCRIPCIÓN	Unidad	Grueso	Fino
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	mm	19,00	2,73
Peso Específico (P.E.)	g/cm ³	2,67	2,24
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1561,84	1736,32
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1397,73	1565,61
Contenido de Humedad	%	0,07	0,15
Absorción	%	0,32	1,57
Módulo de Finura		2,66	2,73

VALORES DE DISEÑO

F'cr.	TMN	Slump	Agua	Aire	Agua/Cem.	Cant. C+P	Contenido	% Aire	Factor
Kg/cm ²	(mm)	(mm)	(lit/m ³)	(%)	A/C	(Kg/m ³)	ceniza (%)	incluido	vol. A.G.
295	19	7,5	205	2 %	0,526	390	10%	No	0,627

CALCULO CANTIDAD DE CEMENTO Y CENIZA

DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad
Contenido de ceniza (CCA)	39	kg/m ³
Contenido de cemento (IP 30 YURA)	351	kg/m ³

DOSIFICACIÓN

DESCRIPCIÓN	Vol. Absoluto	Peso seco (Kg/m ³)	Dif. %h-%Abs.	(+/-) Agua (Kg)	Peso Corr. (Kg/m ³)	Dosificación (m ³)
Cemento	0,123	351			351	351 kg
Ceniza	0,014	39			39	39 kg
Agregado Fino	0,272	610	-1,42%	-8,68	611	0,39 m ³
Agregado Grueso	0,366	979	-0,25%	-2,45	980	0,70 m ³
Agua	0,205	205			216	216 litros
Aire	0,020					

Relación A/(C + CCA) Efectiva	0.555
-------------------------------	-------

ANEXO D: RESULTADOS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DETERMINADO MEDIANTE PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR ASTM C-39.

ANEXO D-1: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA DE CONTROL (M-C) (100%C + 0%CCA)

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,00	176,71	30,00	12,20	328,75	33511,85	189,64	18,60	64,27%
2	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,00	176,71	29,95	12,20	300,64	30645,98	173,43	17,01	58,77%
3	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,90	174,37	30,00	12,20	294,40	30009,72	172,10	16,88	58,32%
4	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,95	175,54	30,00	13,00	317,83	32399,06	184,57	18,10	62,55%
5	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,00	176,71	30,00	12,20	348,50	35525,38	201,04	19,72	68,13%
6	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,15	180,27	30,00	12,40	305,13	31103,68	172,54	16,92	58,47%
7	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,00	176,71	30,00	12,20	328,01	33436,78	189,22	18,56	64,13%
8	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,00	176,71	30,00	12,20	309,47	31546,72	178,52	17,51	60,50%
9	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,05	177,89	29,95	12,80	342,84	34948,03	196,46	19,27	66,58%
10	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,95	175,54	30,00	12,40	317,58	32373,08	184,42	18,09	62,50%
11	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,95	175,54	30,00	12,40	330,81	33721,82	192,10	18,84	65,10%
12	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,05	177,89	30,00	13,00	346,30	35300,75	198,44	19,46	67,25%
13	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,95	175,54	30,00	12,20	305,21	31112,00	177,24	17,38	60,07%
14	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	14,95	175,54	30,00	12,20	317,63	32378,16	184,45	18,09	62,51%
15	(M-C / 100%C + 0%CCA)	7	7,50	15,05	177,89	29,95	12,20	332,05	33847,83	190,27	18,66	64,48%
Promedios \bar{X} =										185,63	18,20	62,91%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,05	177,89	30,00	12,60	442,39	45095,48	253,50	24,86	85,91%
2	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,00	176,71	29,95	12,40	421,71	42987,48	243,27	23,86	82,44%
3	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,25	182,65	30,25	13,20	454,73	46353,44	253,78	24,89	86,00%
4	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	14,90	174,37	30,00	12,40	444,47	45307,53	259,84	25,48	88,06%

5	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,05	177,89	30,00	13,20	462,19	47114,55	264,85	25,97	89,76%
6	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,40	186,27	30,00	12,40	478,45	48771,20	261,83	25,68	88,73%
7	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,20	181,46	30,15	13,20	467,34	47639,01	262,53	25,75	88,97%
8	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,10	179,08	30,15	12,80	458,76	46764,83	261,14	25,61	88,50%
9	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,10	179,08	29,90	13,00	486,77	49619,74	277,08	27,17	93,90%
10	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,00	176,71	30,00	13,00	463,51	47248,87	267,38	26,22	90,61%
11	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,00	176,71	30,30	12,40	469,85	47894,83	271,04	26,58	91,85%
12	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,10	179,08	30,30	12,80	440,18	44870,84	250,56	24,57	84,91%
13	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	14,95	175,54	29,95	12,40	451,39	46012,97	262,12	25,71	88,83%
14	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,05	177,89	29,85	12,40	425,54	43377,96	243,85	23,91	82,64%
15	(M-C / 100%C + 0%CCA)	14	7,50	15,05	177,89	30,00	12,40	447,19	45584,71	256,25	25,13	86,84%
Promedios \bar{X} =										259,268	25,426	87,86%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,00	176,71	30,00	12,60	515,88	52587,60	297,59	29,18	100,85%
2	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,95	175,54	30,00	12,40	505,33	51511,89	293,45	28,78	99,45%
3	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,95	175,54	30,00	12,40	497,42	50704,93	288,85	28,33	97,89%
4	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,95	175,54	30,05	12,40	511,18	52107,84	296,84	29,11	100,60%
5	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,05	177,89	30,00	12,80	523,62	53376,43	300,05	29,42	101,69%
6	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,20	181,46	30,40	12,80	510,57	52046,05	286,82	28,13	97,20%
7	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,95	175,54	30,00	12,40	511,74	52165,47	297,17	29,14	100,71%
8	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,90	174,37	30,00	12,40	501,39	51110,08	293,11	28,74	99,33%
9	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,15	180,27	29,35	12,80	525,15	53532,11	296,96	29,12	100,64%
10	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,90	174,37	30,00	12,60	516,30	52630,22	301,83	29,60	102,29%
11	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,30	183,85	30,00	13,00	523,83	53397,79	290,44	28,48	98,43%
12	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,20	181,46	30,05	13,20	512,73	52265,60	288,03	28,25	97,61%
13	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,90	174,37	29,95	12,40	496,68	50630,32	290,36	28,47	98,40%
14	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	14,85	173,20	29,35	12,60	525,67	53585,36	309,38	30,34	104,85%
15	(M-C / 100%C + 0%CCA)	28	7,50	15,20	181,46	30,00	12,80	525,62	53580,16	295,27	28,96	100,07%
Promedios \bar{X} =										295,08	28,94	100,00%

ANEXO D-2: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA EXPERIMENTAL 1 (M-E1) (98%C + 2%CCA)

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,05	177,89	30,40	12,80	368,96	37610,29	211,42	20,73	74,05%
2	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,15	180,27	30,00	12,00	341,75	34836,80	193,25	18,95	67,69%
3	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,15	180,27	30,40	12,60	350,00	35677,37	197,91	19,41	69,32%
4	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,00	176,71	29,95	12,20	370,65	37782,49	213,81	20,97	74,89%
5	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,00	176,71	30,00	12,20	347,76	35449,85	200,61	19,67	70,27%
6	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,10	179,08	30,00	12,00	343,48	35013,16	195,52	19,17	68,48%
7	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,05	177,89	30,00	12,00	346,07	35277,65	198,31	19,45	69,46%
8	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,05	177,89	29,95	12,20	354,45	36131,27	203,11	19,92	71,14%
9	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	14,95	175,54	29,95	12,40	347,23	35395,22	201,64	19,77	70,63%
10	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,10	179,08	30,00	12,20	363,89	37093,80	207,14	20,31	72,55%
11	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,05	177,89	30,00	12,00	332,87	33931,49	190,74	18,71	66,81%
12	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,00	176,71	30,30	12,50	341,02	34762,66	196,72	19,29	68,90%
13	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,10	179,08	30,40	12,70	365,18	37225,68	207,87	20,39	72,81%
14	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,05	177,89	30,00	12,00	361,50	36849,92	207,15	20,31	72,56%
15	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	7	7,00	15,15	180,27	29,95	12,20	360,50	36748,62	203,85	19,99	71,40%
Promedios \bar{X} =										201,94	19,80	70,73%

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,15	180,27	30,40	13,00	392,74	40034,98	222,08	21,78	77,79%
2	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,00	12,20	438,37	44686,13	252,88	24,80	88,57%
3	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,00	13,00	445,70	45433,61	257,11	25,21	90,05%
4	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,00	12,20	400,13	40788,00	230,82	22,64	80,85%
5	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	14,85	173,20	30,00	13,00	456,52	46536,39	268,69	26,35	94,11%
6	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,20	12,60	455,46	46428,13	262,74	25,77	92,03%
7	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,30	183,85	30,00	13,00	471,90	48103,87	261,65	25,66	91,64%

8	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,25	182,65	30,45	13,20	470,64	47975,92	262,67	25,76	92,00%
9	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,20	181,46	30,00	12,40	440,32	44885,05	247,36	24,26	86,64%
10	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,40	186,27	30,25	13,00	483,95	49331,84	264,84	25,97	92,76%
11	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,00	13,00	461,97	47091,36	266,49	26,13	93,34%
12	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,00	176,71	30,00	13,00	446,37	45501,67	257,49	25,25	90,19%
13	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,20	181,46	30,20	13,10	438,73	44722,37	246,46	24,17	86,32%
14	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,05	177,89	30,00	13,00	420,58	42872,09	241,00	23,63	84,41%
15	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	14	7,00	15,20	181,46	30,40	13,20	468,25	47732,27	263,05	25,80	92,14%
Promedios \bar{X} =										253,69	24,878	88,86%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura	% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,30	183,85	30,40	13,20	534,21	54455,26	296,19	29,05	103,74%
2	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,30	183,85	30,20	13,00	493,51	50307,29	273,63	26,83	95,84%
3	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,15	180,27	30,25	12,80	515,24	52521,54	291,35	28,57	102,05%
4	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	14,90	174,37	30,00	12,40	500,41	51009,83	292,54	28,69	102,46%
5	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	14,90	174,37	29,80	12,20	458,47	46734,93	268,02	26,28	93,88%
6	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,20	181,46	29,90	12,60	506,59	51639,85	284,58	27,91	99,68%
7	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,00	176,71	29,35	12,40	505,23	51501,57	291,45	28,58	102,08%
8	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,15	180,27	29,90	12,80	488,59	49805,19	276,28	27,09	96,77%
9	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,00	176,71	30,00	12,60	501,08	51078,17	289,05	28,35	101,24%
10	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	14,95	175,54	30,05	12,40	498,04	50768,91	289,22	28,36	101,30%
11	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,00	176,71	30,00	12,50	487,33	49676,45	281,12	27,57	98,46%
12	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,00	176,71	30,10	12,40	506,68	51649,09	292,28	28,66	102,37%
13	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,10	179,08	29,95	12,60	489,09	49855,87	278,40	27,30	97,51%
14	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,20	181,46	30,00	12,80	502,07	51179,03	282,04	27,66	98,79%
15	(M-E1 / 98%C + 2%CCA)	28	7,00	15,00	176,71	30,20	12,50	513,85	52380,62	296,42	29,07	103,82%
Promedios \bar{X} =										285,50	28,00	100,00%

ANEXO D-3: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA EXPERIMENTAL 2 (M-E2) (96%C + 4%CCA)

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,25	182,65	30,45	13,20	425,36	43359,60	237,39	23,28	79,82%
2	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	14,95	175,54	30,00	12,40	370,32	37749,34	215,05	21,09	72,31%
3	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,00	176,71	30,00	12,40	374,21	38145,80	215,87	21,17	72,58%
4	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,00	176,71	30,00	12,40	393,18	40079,79	226,81	22,24	76,26%
5	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,10	179,08	30,35	12,20	349,72	35649,31	199,07	19,52	66,93%
6	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,25	182,65	30,00	13,20	415,73	42378,59	232,02	22,75	78,01%
7	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	14,90	174,37	30,00	12,40	356,41	36331,65	208,36	20,43	70,06%
8	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	14,95	175,54	29,95	12,60	371,84	37904,34	215,93	21,18	72,60%
9	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	14,80	172,03	29,00	12,40	386,05	39353,11	228,76	22,43	76,92%
10	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,05	177,89	30,00	12,20	355,71	36260,04	203,83	19,99	68,53%
11	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,00	176,71	30,00	12,40	383,53	39095,80	221,24	21,70	74,39%
12	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,10	179,08	30,10	12,10	365,29	37236,30	207,93	20,39	69,91%
13	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,00	176,71	30,00	12,80	350,61	35740,24	202,25	19,83	68,00%
14	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	14,90	174,37	29,00	12,40	363,86	37090,88	212,71	20,86	71,52%
15	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	7	6,00	15,00	176,71	30,00	12,60	376,99	38429,09	217,47	21,33	73,12%
Promedios \bar{X} =										216,31	21,21	72,73%

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,05	177,89	29,95	12,60	460,42	46933,34	263,83	25,87	88,71%
2	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	14,90	174,37	29,95	12,40	467,07	47612,11	273,05	26,78	91,81%
3	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	14,90	174,37	30,00	12,40	458,51	46739,31	268,05	26,29	90,13%
4	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,05	177,89	30,40	13,00	458,33	46720,50	262,64	25,76	88,31%
5	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,15	180,27	30,30	13,20	442,98	45156,31	250,49	24,56	84,22%
6	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,10	179,08	30,30	12,80	444,18	45278,08	252,84	24,80	85,01%
7	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	14,90	174,37	30,00	12,40	468,72	47780,17	274,02	26,87	92,13%

8	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,40	186,27	30,00	13,20	443,48	45206,82	242,70	23,80	81,60%
9	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	14,95	175,54	29,95	12,20	482,74	49208,70	280,33	27,49	94,25%
10	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,05	177,89	29,95	12,60	468,95	47803,24	268,72	26,35	90,35%
11	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,00	176,71	30,00	13,00	460,79	46971,57	265,81	26,07	89,37%
12	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,10	179,08	30,20	13,10	457,17	46602,09	260,23	25,52	87,50%
13	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,05	177,89	30,30	13,20	474,78	48397,82	272,07	26,68	91,48%
14	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	15,00	176,71	29,95	12,90	431,59	43995,20	248,97	24,42	83,71%
15	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	14	6,00	14,95	175,54	30,30	13,00	458,77	46765,06	266,41	26,13	89,57%
Promedios \bar{X} =										263,34	25,825	88,54%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura	% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,30	183,85	30,25	13,20	539,33	54977,64	299,04	29,33	100,55%
2	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,40	186,27	30,20	13,20	548,18	55879,45	299,99	29,42	100,87%
3	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,05	177,89	30,00	12,60	528,22	53844,94	302,69	29,68	101,77%
4	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	14,95	175,54	30,00	12,40	509,65	51951,69	295,95	29,02	99,51%
5	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,25	182,65	30,15	13,40	532,66	54297,62	297,28	29,15	99,95%
6	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,35	185,06	30,40	13,20	523,33	53346,63	288,27	28,27	96,92%
7	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,20	181,46	30,15	13,20	522,01	53212,31	293,25	28,76	98,60%
8	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	14,95	175,54	29,90	12,40	508,27	51811,39	295,15	28,94	99,24%
9	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	14,85	173,20	30,00	12,40	540,10	55056,52	317,88	31,17	106,88%
10	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,05	177,89	29,95	12,40	493,19	50274,43	282,62	27,72	95,02%
11	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,10	179,08	30,00	13,10	529,76	54001,64	301,55	29,57	101,39%
12	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,20	181,46	30,10	13,30	520,20	53027,29	292,23	28,66	98,26%
13	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,00	176,71	29,95	12,80	517,47	52749,07	298,51	29,27	100,37%
14	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,30	183,85	30,20	13,10	513,56	52351,13	284,75	27,92	95,74%
15	(M-E2 / 96%C + 4%CCA)	28	6,00	15,10	179,08	30,00	12,80	548,29	55890,62	312,10	30,61	104,94%
Promedios \bar{X} =										297,42	29,17	100,00%

ANEXO D-4: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA EXPERIMENTAL 3 (M-E3) (94%C + 6%CCA)

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,15	180,27	30,30	12,80	376,85	38414,44	213,09	20,90	72,58%
2	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	11,80	345,19	35187,52	199,13	19,53	67,83%
3	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	316,80	32294,08	182,75	17,92	62,25%
4	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	344,43	35109,79	198,69	19,48	67,68%
5	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	14,85	173,20	30,00	12,20	350,67	35746,67	206,39	20,24	70,30%
6	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	360,27	36724,33	207,82	20,38	70,79%
7	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,30	183,85	30,30	13,20	390,93	39850,64	216,76	21,26	73,83%
8	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,25	182,65	30,00	12,40	352,29	35911,13	196,61	19,28	66,97%
9	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,20	181,46	30,30	12,80	322,47	32871,55	181,15	17,76	61,70%
10	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,40	186,27	30,30	13,00	383,03	39044,41	209,61	20,56	71,40%
11	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	346,71	35342,38	200,00	19,61	68,12%
12	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,10	179,08	30,00	12,40	337,01	34353,34	191,83	18,81	65,34%
13	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,30	183,85	30,00	12,60	379,40	38674,45	210,36	20,63	71,65%
14	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,10	12,40	359,77	36673,79	207,54	20,35	70,69%
15	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	7	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	350,05	35682,74	201,93	19,80	68,78%
Promedios \bar{X} =										201,58	19,77	68,66%

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	14,95	175,54	29,95	12,20	415,45	42349,14	241,25	23,66	82,17%
2	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	14,90	174,37	29,95	12,20	387,95	39546,44	226,80	22,24	77,25%
3	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,15	180,27	29,90	12,60	447,35	45601,42	252,96	24,81	86,16%
4	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,30	183,85	30,00	13,00	446,65	45530,08	247,65	24,29	84,35%
5	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,15	180,27	29,90	12,20	445,23	45385,10	251,76	24,69	85,75%
6	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,35	185,06	30,30	13,20	462,01	47095,38	254,49	24,96	86,68%
7	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,25	182,65	30,00	12,80	437,42	44589,51	244,13	23,94	83,16%

8	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,35	185,06	30,10	13,00	457,63	46649,80	252,08	24,72	85,86%
9	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,00	176,71	30,00	12,40	409,53	41745,78	236,24	23,17	80,47%
10	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	14,85	173,20	30,00	12,40	389,37	39691,38	229,17	22,47	78,06%
11	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,00	176,71	30,00	13,00	435,47	44390,37	251,20	24,63	85,56%
12	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,10	179,08	30,00	13,00	421,28	42943,83	239,80	23,52	81,68%
13	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,20	181,46	29,90	12,60	400,30	40805,70	224,87	22,05	76,60%
14	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,00	176,71	30,10	13,00	404,28	41210,99	233,21	22,87	79,44%
15	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	14	5,00	15,20	181,46	29,95	12,60	440,62	44915,53	247,52	24,27	84,31%
Promedios \bar{X} =										242,21	23,753	82,50%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura	% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,25	182,65	30,00	13,00	530,30	54056,58	295,96	29,02	100,81%
2	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	475,19	48439,50	274,12	26,88	93,37%
3	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,15	180,27	30,25	12,80	506,45	51625,96	286,38	28,08	97,55%
4	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,30	183,85	30,00	13,20	559,35	57018,08	310,13	30,41	105,64%
5	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	14,95	175,54	30,00	12,40	510,63	52052,40	296,53	29,08	101,00%
6	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,40	186,27	30,10	13,20	536,63	54702,57	293,67	28,80	100,03%
7	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	14,95	175,54	30,00	12,20	487,08	49651,73	282,85	27,74	96,34%
8	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	30,00	12,40	546,99	55757,92	315,53	30,94	107,48%
9	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	29,90	12,40	485,22	49462,05	279,91	27,45	95,34%
10	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	30,00	12,40	526,27	53646,76	303,59	29,77	103,41%
11	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,10	179,08	30,00	12,60	514,35	52431,38	292,78	28,71	99,73%
12	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	30,00	12,40	502,08	51180,14	289,63	28,40	98,65%
13	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	14,90	174,37	30,10	12,10	514,94	52491,05	301,03	29,52	102,54%
14	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,00	176,71	30,00	12,20	486,99	49642,51	280,93	27,55	95,69%
15	(M-E3 / 94%C + 6%CCA)	28	5,00	15,10	179,08	30,10	12,60	528,26	53849,63	300,70	29,49	102,42%
Promedios \bar{X} =										293,58	28,79	100,00%

ANEXO D-5: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA EXPERIMENTAL 4 (M-E4) (92%C + 8%CCA)

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,00	176,71	30,00	12,40	334,38	34085,24	192,89	18,92	64,71%
2	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,00	176,71	30,00	12,80	352,19	35901,39	203,17	19,92	68,16%
3	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,35	185,06	30,30	13,00	345,04	35172,66	190,06	18,64	63,76%
4	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,30	183,85	30,15	12,60	368,36	37549,42	204,24	20,03	68,52%
5	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,10	179,08	28,85	12,20	374,93	38219,17	213,42	20,93	71,59%
6	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	14,85	173,20	30,00	13,20	377,03	38433,42	221,90	21,76	74,44%
7	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,25	182,65	30,40	13,20	415,32	42336,55	231,79	22,73	77,76%
8	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,20	181,46	30,40	12,40	390,48	39804,45	219,36	21,51	73,59%
9	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,10	179,08	30,00	12,40	393,03	40063,85	223,72	21,94	75,05%
10	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,30	183,85	30,00	13,00	424,51	43272,98	235,37	23,08	78,96%
11	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,00	176,71	30,00	13,10	373,60	38083,47	215,51	21,13	72,30%
12	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,10	179,08	30,10	13,20	365,91	37299,67	208,28	20,43	69,87%
13	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,00	176,71	30,00	13,00	386,07	39354,82	222,71	21,84	74,71%
14	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,20	181,46	30,20	13,00	386,85	39434,53	217,32	21,31	72,90%
15	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	7	4,00	15,20	181,46	30,00	12,90	358,17	36510,98	201,21	19,73	67,50%
Promedios \bar{X} =										213,40	20,93	71,59%

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,00	176,71	30,00	12,40	423,97	43218,35	244,57	23,98	82,04%
2	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,05	177,89	29,90	12,40	415,94	42399,67	238,35	23,37	79,96%
3	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,15	180,27	30,20	12,60	406,79	41467,34	230,03	22,56	77,17%
4	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	14,90	174,37	29,90	12,20	366,98	37408,75	214,54	21,04	71,97%
5	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	14,90	174,37	30,00	12,20	462,92	47188,70	270,62	26,54	90,78%
6	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	14,95	175,54	29,95	12,20	385,24	39270,26	223,71	21,94	75,05%
7	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,35	185,06	29,90	13,00	477,29	48653,86	262,91	25,78	88,20%

8	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	14,95	175,54	30,00	12,20	402,06	40984,46	233,48	22,90	78,32%
9	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,30	183,85	30,25	12,80	426,26	43451,99	236,34	23,18	79,28%
10	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,20	181,46	30,00	12,60	430,68	43902,24	241,94	23,73	81,16%
11	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,00	176,71	30,10	12,60	384,31	39175,46	221,69	21,74	74,37%
12	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	14,90	174,37	29,90	12,20	417,52	42560,99	244,08	23,94	81,88%
13	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,10	179,08	30,00	12,60	415,28	42332,00	236,39	23,18	79,30%
14	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,20	181,46	30,20	12,80	458,80	46768,23	257,73	25,27	86,46%
15	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	14	4,00	15,00	176,71	29,95	12,10	426,42	43468,01	245,99	24,12	82,52%
Promedios \bar{X} =										240,16	23,551	80,56%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura	% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,40	186,27	30,00	13,20	568,72	57973,14	311,23	30,52	104,41%
2	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,05	177,89	30,00	12,60	511,20	52110,03	292,93	28,73	98,27%
3	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	14,95	175,54	29,90	12,40	535,02	54538,42	310,69	30,47	104,23%
4	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,00	12,60	506,89	51670,81	292,40	28,67	98,09%
5	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,40	13,00	529,94	54020,50	305,70	29,98	102,55%
6	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,10	179,08	30,40	12,80	494,28	50385,12	281,36	27,59	94,39%
7	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	29,95	12,20	486,27	49569,04	280,51	27,51	94,10%
8	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,00	12,40	502,27	51199,32	289,74	28,41	97,20%
9	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,10	179,08	30,00	12,40	566,06	57702,38	322,22	31,60	108,09%
10	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,00	12,40	510,81	52070,65	294,67	28,90	98,85%
11	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	29,90	12,20	531,94	54224,43	306,86	30,09	102,94%
12	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,00	12,60	500,32	51001,01	288,61	28,30	96,82%
13	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,20	181,46	30,00	12,80	530,90	54117,81	298,24	29,25	100,05%
14	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,10	13,00	506,11	51591,64	291,96	28,63	97,94%
15	(M-E4 / 92%C + 8%CCA)	28	4,00	15,00	176,71	30,00	12,70	527,50	53771,95	304,29	29,84	102,08%
Promedios \bar{X} =										298,09	29,23	100,00%

ANEXO D-6: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN MUESTRA EXPERIMENTAL 5 (M-E5) (90%C + 10%CCA)

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,90	174,37	29,95	12,20	362,68	36969,99	212,02	20,79	76,29%
2	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,35	185,06	30,20	13,00	476,04	48526,01	262,22	25,71	94,35%
3	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,90	174,37	30,00	12,20	439,36	44786,76	256,85	25,19	92,41%
4	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,00	176,71	30,00	12,60	434,51	44292,10	250,65	24,58	90,18%
5	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,90	174,37	30,00	12,20	415,69	42374,21	243,01	23,83	87,44%
6	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,05	177,89	30,10	13,00	431,14	43949,14	247,06	24,23	88,89%
7	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,25	182,65	30,10	13,00	415,37	42341,40	231,82	22,73	83,41%
8	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,00	176,71	29,95	12,40	444,67	45328,55	256,51	25,16	92,29%
9	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,90	174,37	30,00	12,20	396,31	40398,45	231,68	22,72	83,36%
10	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,95	175,54	30,00	12,20	362,49	36950,84	210,50	20,64	75,74%
11	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,00	176,71	30,00	12,60	421,32	42948,50	243,05	23,84	87,45%
12	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,10	179,08	30,10	12,60	442,04	45060,47	251,62	24,68	90,53%
13	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	14,95	175,54	30,00	12,40	405,10	41294,52	235,24	23,07	84,64%
14	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,00	176,71	29,95	12,20	426,49	43475,06	246,02	24,13	88,52%
15	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	7	2,50	15,20	181,46	30,00	12,80	394,03	40166,43	221,35	21,71	79,64%
Promedios \bar{X} =										239,97	23,53	86,34%

Probeta	Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura		% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	29,95	12,40	454,83	46364,07	262,37	25,73	94,40%
2	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	30,00	12,40	399,59	40732,56	230,51	22,61	82,94%
3	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,20	181,46	30,40	12,80	463,14	47210,53	260,17	25,51	93,61%
4	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	30,00	12,40	456,90	46575,27	263,57	25,85	94,83%
5	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,05	177,89	29,90	12,40	389,80	39735,15	223,37	21,91	80,37%
6	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,10	179,08	30,05	13,00	482,75	49210,43	274,80	26,95	98,87%
7	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,15	180,27	29,90	12,60	448,32	45700,09	253,51	24,86	91,21%

8	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,15	180,27	30,00	12,60	486,46	49588,67	275,08	26,98	98,97%
9	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	30,00	12,40	416,25	42431,10	240,12	23,55	86,40%
10	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,30	183,85	30,40	13,20	465,41	47442,90	258,05	25,31	92,85%
11	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,40	186,27	30,20	13,00	488,76	49822,23	267,47	26,23	96,24%
12	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,20	181,46	30,00	12,80	475,12	48432,36	266,90	26,17	96,03%
13	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	30,10	12,40	427,53	43581,50	246,63	24,19	88,74%
14	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,10	179,08	30,20	13,00	478,09	48734,62	272,14	26,69	97,92%
15	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	14	2,50	15,00	176,71	30,00	12,40	411,55	41951,78	237,40	23,28	85,42%
Promedios \bar{X} =										255,47	25,053	91,92%

Probeta		Edad	Slump	Diámetro	Área	Altura	Peso	Carga de rotura		Resistencia rotura	% Resistencia	
Nº	Descripción	Días	Cm	Cm	Cm2	Cm	Kg	KN	Kg	Kg/cm2	MPa	%
1	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,35	185,06	30,00	13,20	544,94	55548,99	300,17	29,44	108,00%
2	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	14,95	175,54	30,00	12,40	515,32	52529,97	299,25	29,35	107,67%
3	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,00	176,71	30,00	12,20	454,66	46346,81	262,28	25,72	94,37%
4	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,30	183,85	30,40	13,00	548,24	55885,92	303,98	29,81	109,37%
5	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,10	179,08	29,95	12,80	517,00	52701,25	294,29	28,86	105,89%
6	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,15	180,27	29,90	12,40	466,54	47557,90	263,81	25,87	94,92%
7	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,00	176,71	30,00	12,20	452,20	46095,52	260,85	25,58	93,85%
8	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,10	179,08	30,00	12,60	463,37	47233,97	263,76	25,87	94,90%
9	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,05	177,89	30,40	12,60	454,73	46353,44	260,57	25,55	93,75%
10	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,00	176,71	30,00	12,20	471,63	48076,16	272,06	26,68	97,89%
11	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,00	176,71	30,00	12,20	505,31	51509,80	291,49	28,59	104,88%
12	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	14,95	175,54	30,00	12,40	508,29	51813,24	295,16	28,95	106,20%
13	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,10	179,08	30,00	12,80	468,67	47774,26	266,78	26,16	95,99%
14	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,05	177,89	30,20	12,50	486,06	49547,47	278,53	27,31	100,22%
15	(M-E5 / 90%C + 10%CCA)	28	2,50	15,00	176,71	30,00	12,20	443,76	45235,14	255,99	25,10	92,11%
Promedios \bar{X} =										277,93	27,26	100,00%

ANEXO E: EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN ACI 214RS-11.

ANEXO E-1: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA DE CONTROL (MC 100%C + 0%CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm2
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm2
	29.50	MPa

N° Ensayo		Resistencia Compresión			D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación	
		7 días	14 días	28 días			Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa
1	M-C	189,64	253,50	297,58	29,18	2,31		SI
2	M-C	173,42	243,26	293,45	28,78	4,13		SI
3	M-C	172,11	253,78	288,85	28,33	4,60	293,29	SI
4	M-C	184,57	259,84	296,85	29,11	8,00	293,05	SI
5	M-C	201,03	264,85	300,05	29,43	3,20	295,25	SI
6	M-C	172,54	261,84	286,82	28,13	13,23	294,57	SI
7	M-C	189,21	262,53	297,17	29,14	10,35	294,68	SI
8	M-C	178,52	261,14	293,12	28,75	4,05	292,37	SI
9	M-C	196,45	277,08	296,96	29,12	3,84	295,75	SI
10	M-C	184,42	267,37	301,84	29,60	4,88	297,31	SI
11	M-C	192,11	271,03	290,44	28,48	11,40	296,41	SI
12	M-C	198,44	250,57	288,03	28,25	2,41	293,44	SI
13	M-C	177,24	262,12	290,37	28,48	2,34	289,61	SI
14	M-C	184,45	243,84	309,39	30,34	19,02	295,93	SI
15	M-C	190,27	256,25	295,27	28,96	14,12	298,34	SI
\bar{X} =		185,63	259,27	295,08	28,94	7,19		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{\min}	286,82	Ancho intervalo de clase	C	4,62	S corregido Kg/cm2	S_{corr}	6,93
Resistencia máxima	X_{\max}	309,39	Promedio	\bar{X}	295,08	S corregido MPa	S_{corr}	0,68
Rango de datos	R_x	22,57	Desviación estándar	S	5,973	Coefficiente de variación	CV	2,35%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras

Desviación estándar	S	5,973	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida	0,68	
coeficiente de variación CV		2,35%					
1,- De acuerdo al valor de la desviaciones estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:						Excelente	
Promedio de rangos		7,19	Desviación estándar dentro del ensayo	S_1	6,38	Coefficiente de variación CV_1	2,16%
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:						Muy buena	

Cumplimiento de los requisitos de resistencia

El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%					
Resistencia promedio requerida	28,94	MPa	f'c que garantiza este diseño	26,82	MPa
	295,08	kg/cm2		273,5	kg/cm2
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09%		Resistencia promedio requería para el diseño de mezcla	21,91	Mpa
	< 0,1%			223,42	kg/cm2
Sobre diseño promedio del hormigón				7,94	Mpa
				80,94	kg/cm2

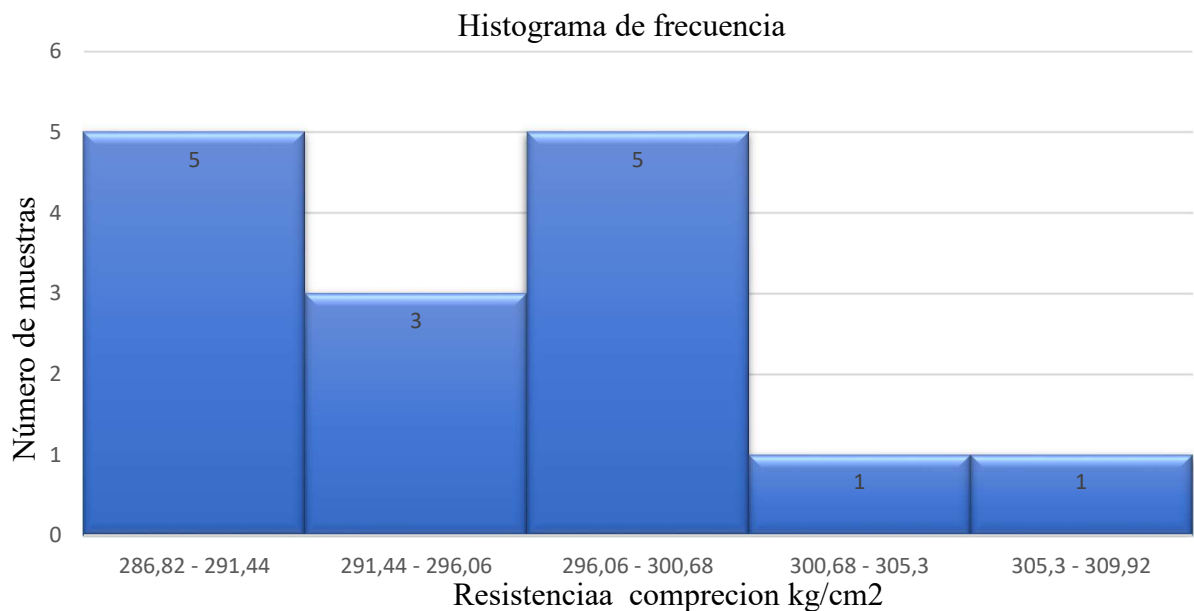
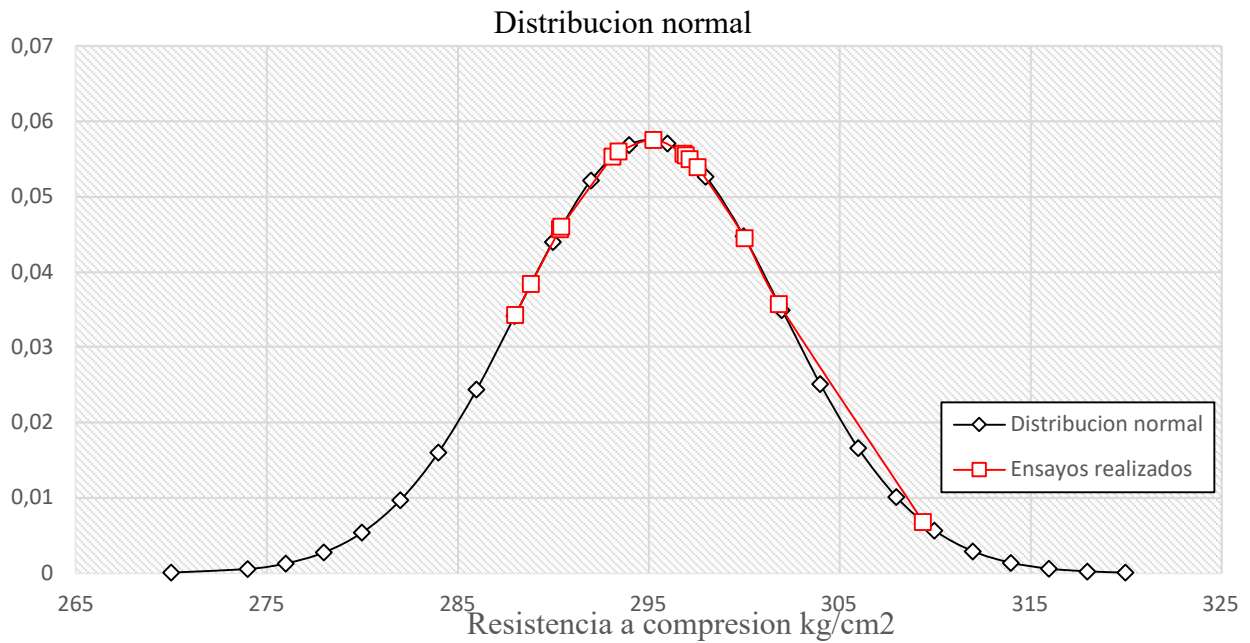
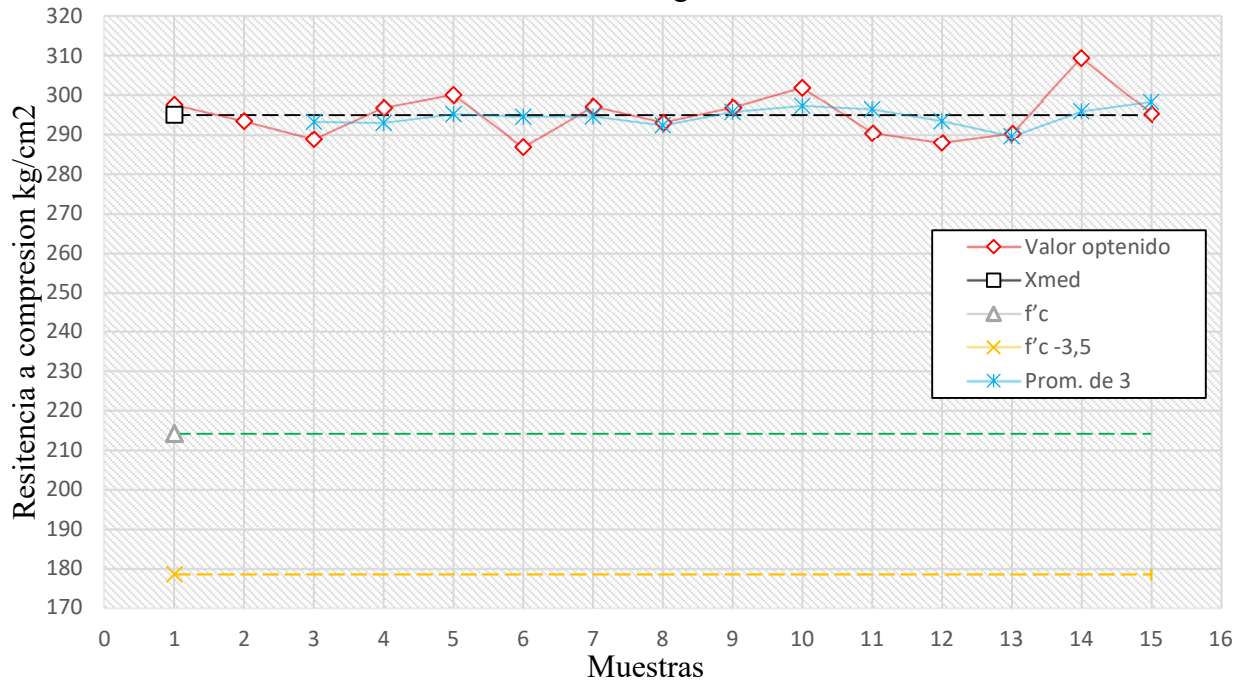
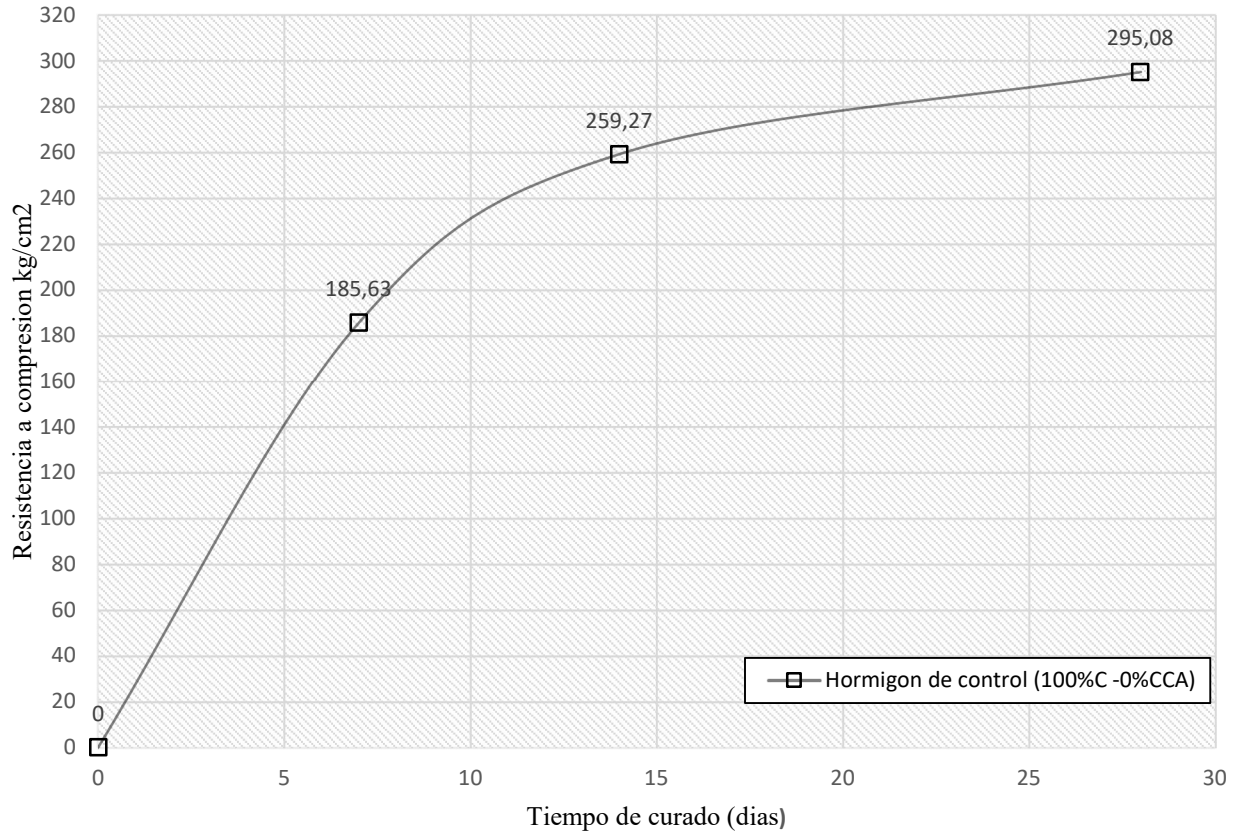


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón de control (100% C + 0% CCA)



ANEXO E-2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA EXPERIMENTAL 1 (M-E1) (98%C + 2%CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm2
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm2
	29.50	MPa

N° Ensayo	Resistencia Compresión				D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación	
	7 días	14 días	28 días				Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa
1	M-E1	211,42	222,08	296,19	29,05	0,23		SI
2	M-E1	193,25	252,88	273,63	26,83	22,56		SI
3	M-E1	197,91	257,11	291,35	28,57	17,72	287,06	SI
4	M-E1	213,81	230,82	292,54	28,69	1,19	285,84	SI
5	M-E1	200,61	268,69	268,02	26,28	24,52	283,97	SI
6	M-E1	195,52	262,74	284,58	27,91	16,56	281,71	SI
7	M-E1	198,31	261,65	291,45	28,58	6,87	281,35	SI
8	M-E1	203,11	262,67	276,28	27,09	15,17	284,10	SI
9	M-E1	201,64	247,36	289,05	28,35	12,77	285,59	SI
10	M-E1	207,14	264,84	289,22	28,36	0,17	284,85	SI
11	M-E1	190,74	266,49	281,12	27,57	8,10	286,46	SI
12	M-E1	196,72	257,49	292,28	28,66	11,16	287,54	SI
13	M-E1	207,87	246,46	278,40	27,30	13,88	283,93	SI
14	M-E1	207,15	241,00	282,04	27,66	3,64	284,24	SI
15	M-E1	203,85	263,05	296,42	29,07	14,38	285,62	SI
$\bar{X} =$		201,94	253,69	285,50	28,00	11,26		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{min}	268,02	Ancho intervalo de clase	C	5,82	S corregido Kg/cm2	S_{corr}	9,99
Resistencia máxima	X_{max}	296,42	Promedio	\bar{X}	285,50	S corregido MPa	S_{corr}	0,98
Rango de datos	R_x	28,40	Desviación estándar	S	8,615	Coefficiente de variación	CV	3,50%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras							
Desviación estándar	S	8.615	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida		0,98
coeficiente de variación CV		3.50%					
1,- De acuerdo al valor de la desviación estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:							Excelente
Promedio de rangos		11.26	Desviación estándar dentro del ensayo S_1	9.98	Coefficiente de variación CV_1		3.50%
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:							Buena

Cumplimiento de los requisitos de resistencia	
El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%					
Resistencia promedio requerida	28,00	MPa	f'c que garantiza este diseño	24,95	MPa
	285,50	kg/cm2		254,45	kg/cm2
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09%		Resistencia promedio requería para el diseño de mezcla	22,31	Mpa
	< 0,1%			227,53	kg/cm2
Sobre diseño promedio del hormigón				7,00	Mpa
				71,37	kg/cm2

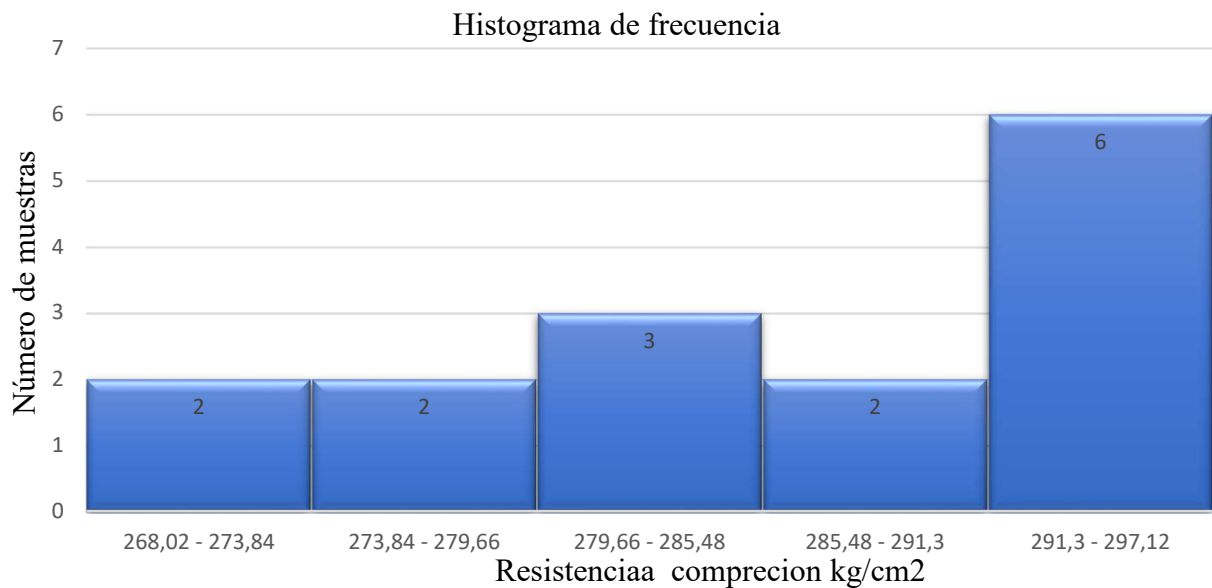
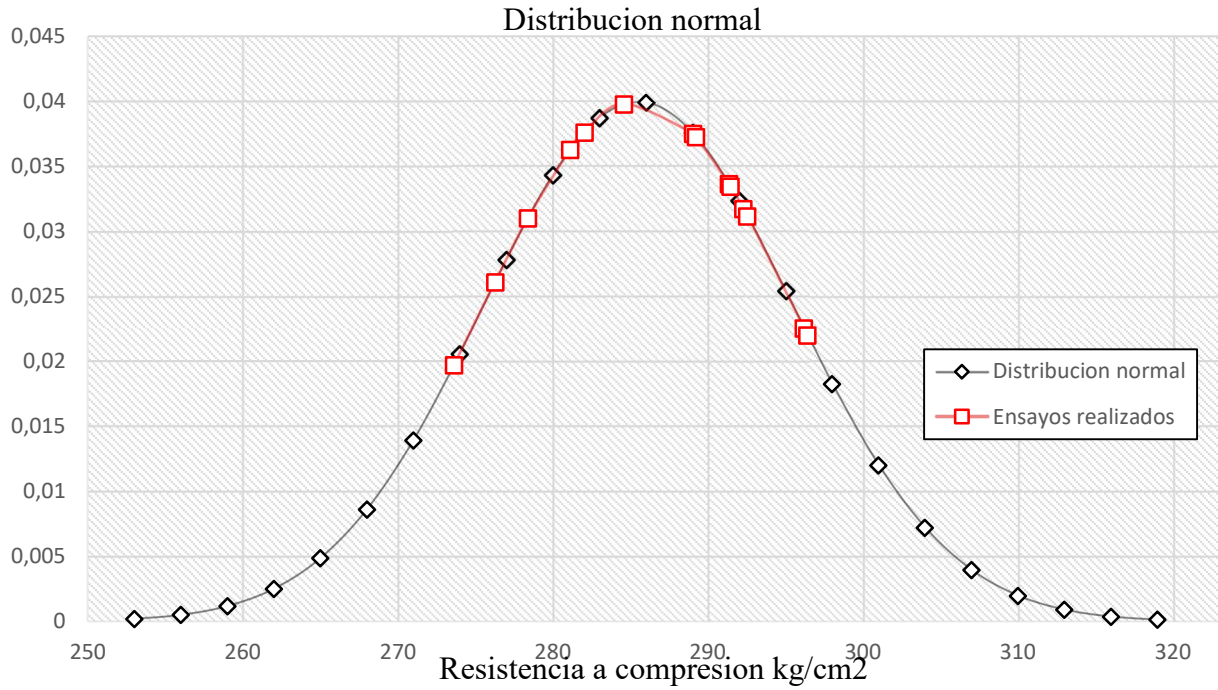
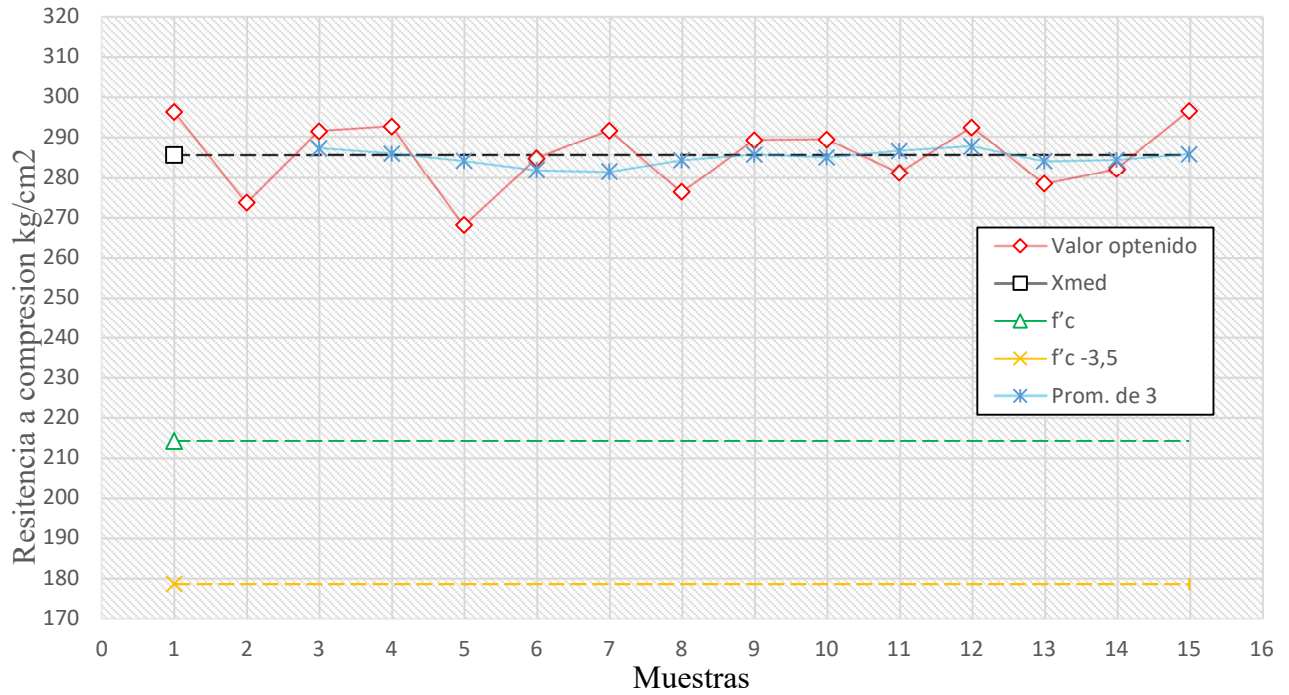
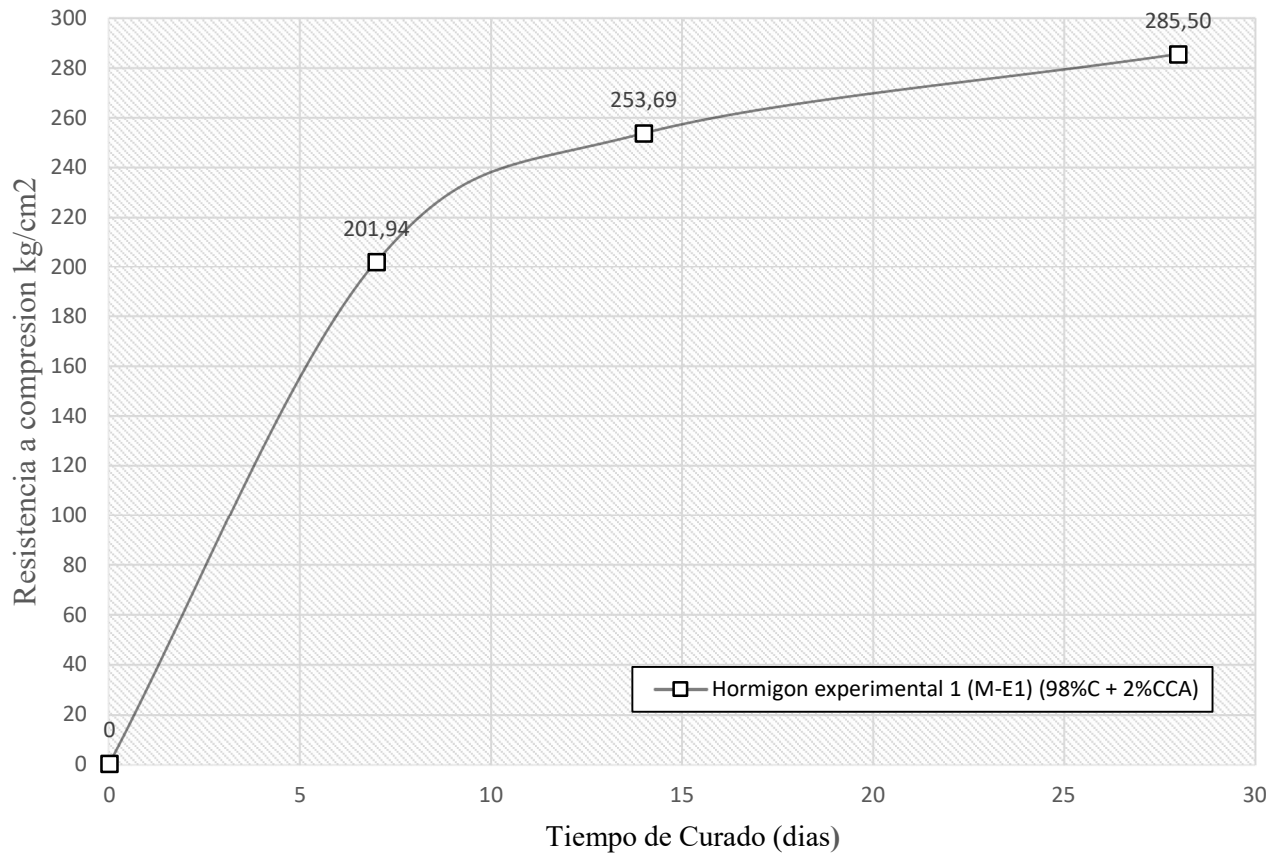


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón experimental 1 (M-E1) (98% C + 2% CCA)



ANEXO E-3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA EXPERIMENTAL 2 (M-E2) (96% C + 4% CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm ²
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm ²
	29.50	MPa

N° Ensayo	Resistencia Compresión				D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación	
	7 días	14 días	28 días				Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa
1	M-E2	237,39	263,83	299,04	29,33	13,06		SI
2	M-E2	215,05	273,05	299,99	29,42	0,95		SI
3	M-E2	215,87	268,05	302,69	29,68	2,70	300,57	SI
4	M-E2	226,81	262,64	295,95	29,02	6,74	299,54	SI
5	M-E2	199,07	250,49	297,28	29,15	1,33	298,64	SI
6	M-E2	232,02	252,84	288,27	28,27	9,01	293,83	SI
7	M-E2	208,36	274,02	293,25	28,76	4,98	292,93	SI
8	M-E2	215,93	242,70	295,15	28,94	1,90	292,22	SI
9	M-E2	228,76	280,33	317,88	31,17	22,73	302,09	SI
10	M-E2	203,83	268,72	282,62	27,72	35,26	298,55	SI
11	M-E2	221,24	265,81	301,55	29,57	18,93	300,68	SI
12	M-E2	207,93	260,23	292,23	28,66	9,32	292,13	SI
13	M-E2	202,25	272,07	298,51	29,27	6,28	297,43	SI
14	M-E2	212,71	248,97	284,75	27,92	13,76	291,83	SI
15	M-E2	217,47	266,41	312,10	30,61	27,35	298,45	SI
\bar{X} =		216,31	263,34	297,42	29,17	11,62		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{min}	282,62	Ancho intervalo de clase	C	7,22	S corregido Kg/cm ²	S_{corr}	10,76
Resistencia máxima	X_{max}	317,88	Promedio	\bar{X}	297,42	S corregido MPa	S_{corr}	1,06
Rango de datos	R_x	35,26	Desviación estándar	S	9,275	Coefficiente de variación	CV	3,62%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras							
Desviación estándar	S	9,275	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida	1,06	
coeficiente de variación CV		3.62%					
1,- De acuerdo al valor de la desviación estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:							Excelente
Promedio de rangos		11,62	Desviación estándar dentro del ensayo S_1	10,30	Coefficiente de variación CV_1	3.46%	
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:							Buena

Cumplimiento de los requisitos de resistencia	
El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%					
Resistencia promedio requerida	29,17	MPa	f'c que garantiza este diseño	25,89	MPa
	297,42	kg/cm2		264,00	kg/cm2
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09%		Resistencia promedio requería para el diseño de mezcla	22,41	Mpa
	< 0,1%			228,55	kg/cm2
Sobre diseño promedio del hormigón				8,17	Mpa
				83,28	kg/cm2

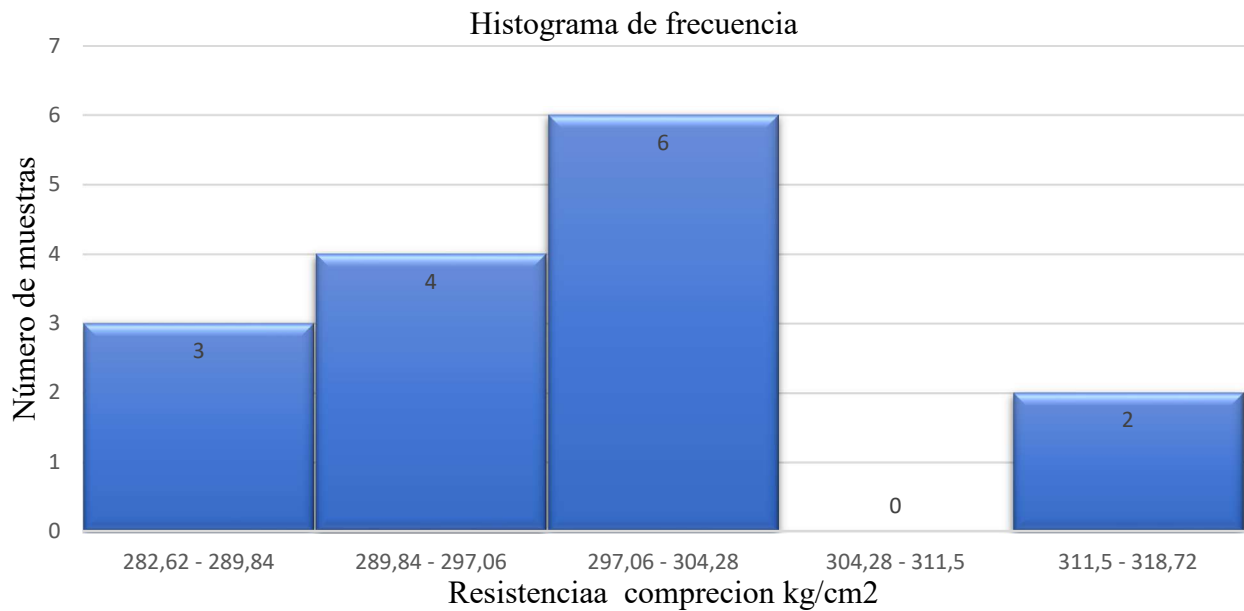
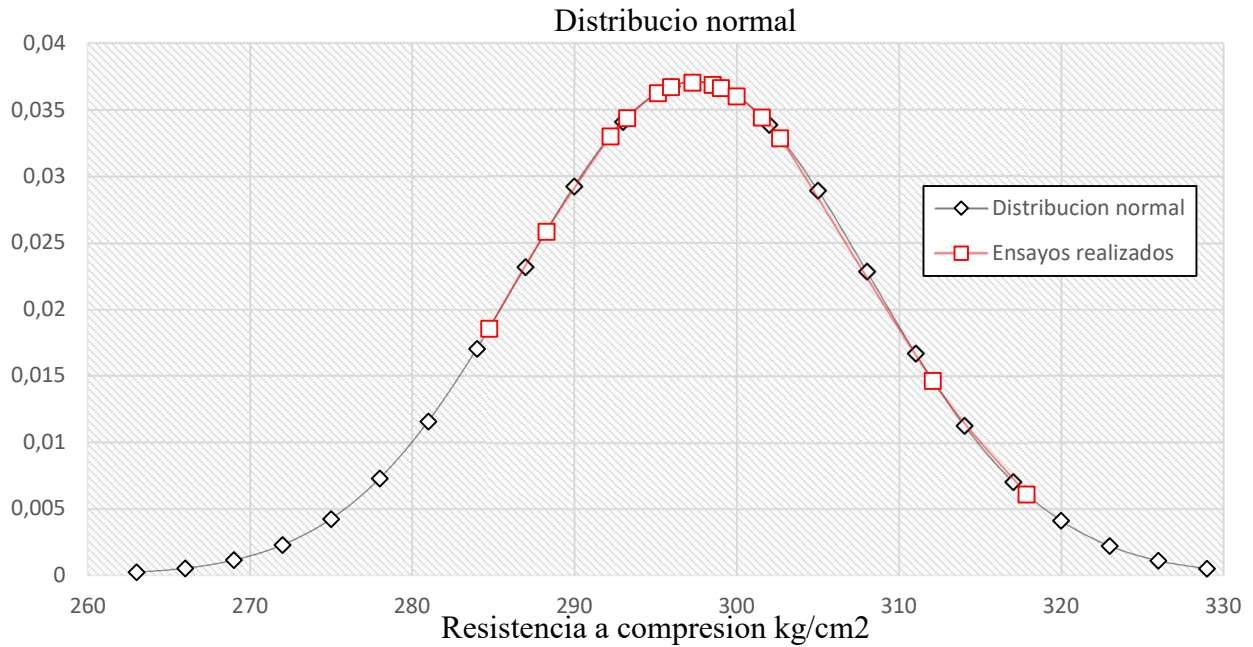
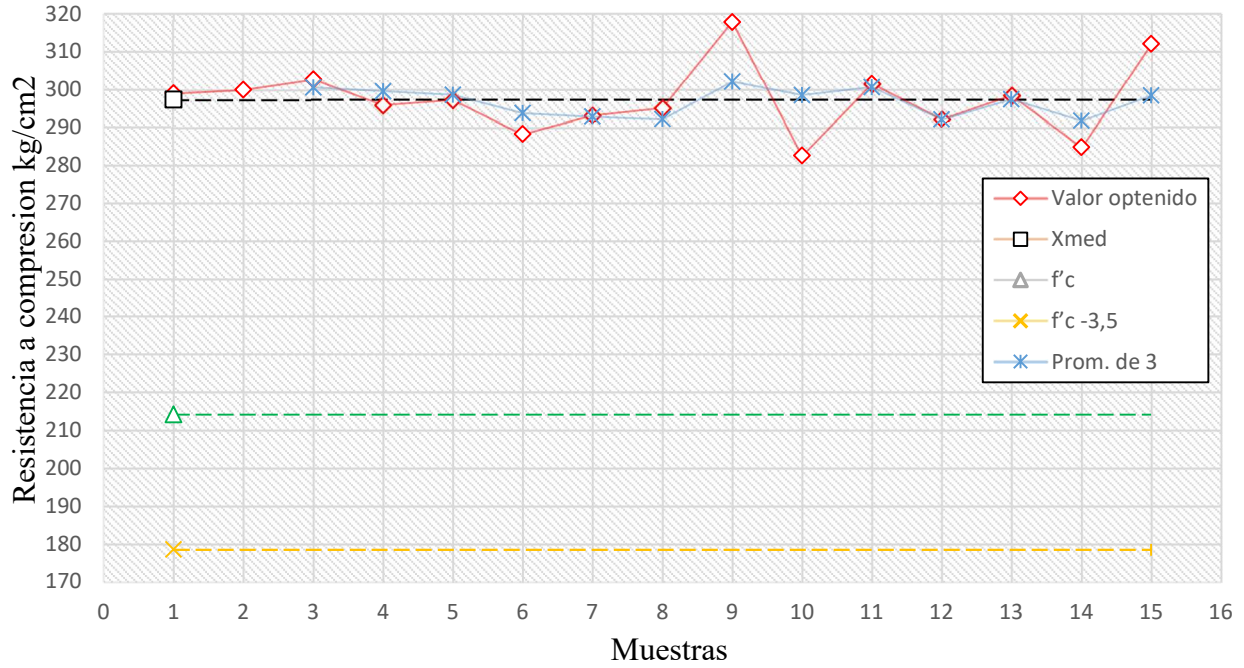
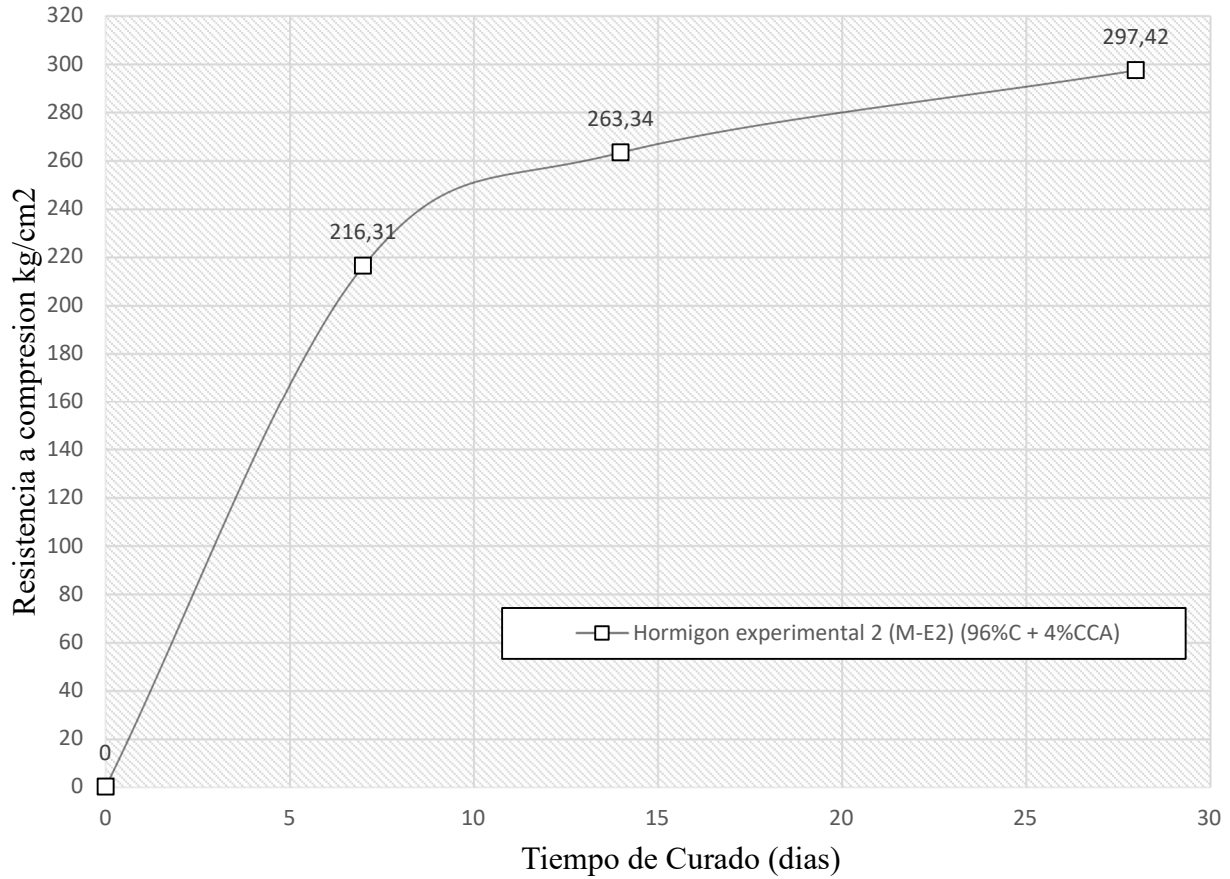


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón experimental 2 (M-E2) (96% C + 4% CCA)



ANEXO E-4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA EXPERIMENTAL 3 (M-E3) (94%C + 6%CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm2
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm2
	29.50	MPa

N° Ensayo	Resistencia Compresión			D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación		
	7 días	14 días	28 días			Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa	
1	M-E3	213,09	241,25	295,96	29,02	21,84		SI
2	M-E3	199,13	226,80	274,12	26,88	12,26		SI
3	M-E3	182,75	252,96	286,38	28,08	23,75	285,49	SI
4	M-E3	198,69	247,65	310,13	30,41	13,60	290,21	SI
5	M-E3	206,39	251,76	296,53	29,08	2,86	297,68	SI
6	M-E3	207,82	254,49	293,67	28,80	10,82	300,11	SI
7	M-E3	216,76	244,13	282,85	27,74	32,68	291,02	SI
8	M-E3	196,61	252,08	315,53	30,94	35,62	297,35	SI
9	M-E3	181,15	236,24	279,91	27,45	23,68	292,76	SI
10	M-E3	209,61	229,17	303,59	29,77	10,81	299,68	SI
11	M-E3	200,00	251,20	292,78	28,71	3,15	292,09	SI
12	M-E3	191,83	239,80	289,63	28,40	11,40	295,33	SI
13	M-E3	210,36	224,87	301,03	29,52	20,10	294,48	SI
14	M-E3	207,54	233,21	280,93	27,55	19,77	290,53	SI
15	M-E3	201,93	247,52	300,70	29,49	4,74	294,22	SI
$\bar{X} =$		201,58	242,21	293,58	28,79	16,47		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{min}	274,12	Ancho intervalo de clase	C	8,48	S corregido Kg/cm2	S_{corr}	13,46
Resistencia máxima	X_{max}	315,53	Promedio	\bar{X}	293,58	S corregido MPa	S_{corr}	1,32
Rango de datos	R_x	41,41	Desviación estándar	S	11,604	Coefficiente de variación	CV	4,59%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras							
Desviación estándar	S	11,604	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida		1,32
coeficiente de variación CV		4,59%					
1,- De acuerdo al valor de la desviación estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:							Excelente
Promedio de rangos		16,47	Desviación estándar dentro del ensayo S_1	14,60	Coefficiente de variación CV_1		4,97%
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:							Regular

Cumplimiento de los requisitos de resistencia	
El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%					
Resistencia promedio requerida	28,79	MPa	f'c que garantiza este diseño	24,42	MPa
	293,58	kg/cm2		249,00	kg/cm2
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09%		Resistencia promedio requería para el diseño de mezcla	22,77	Mpa
	< 0,1%			232,17	kg/cm2
Sobre diseño promedio del hormigón				7,79	Mpa
				79,45	kg/cm2

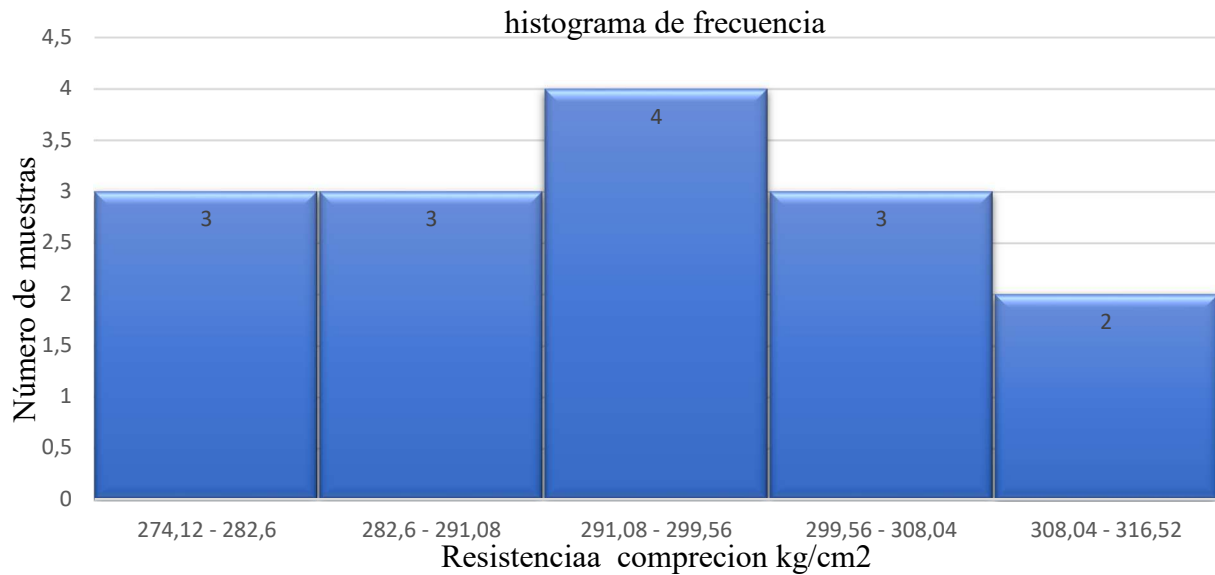
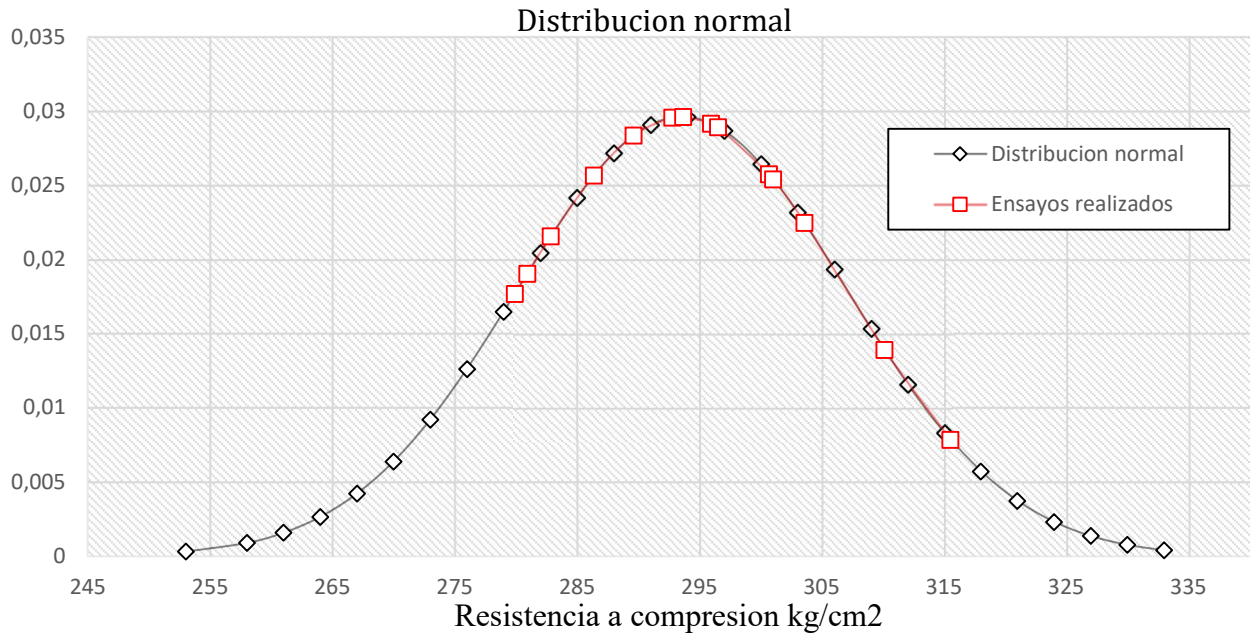
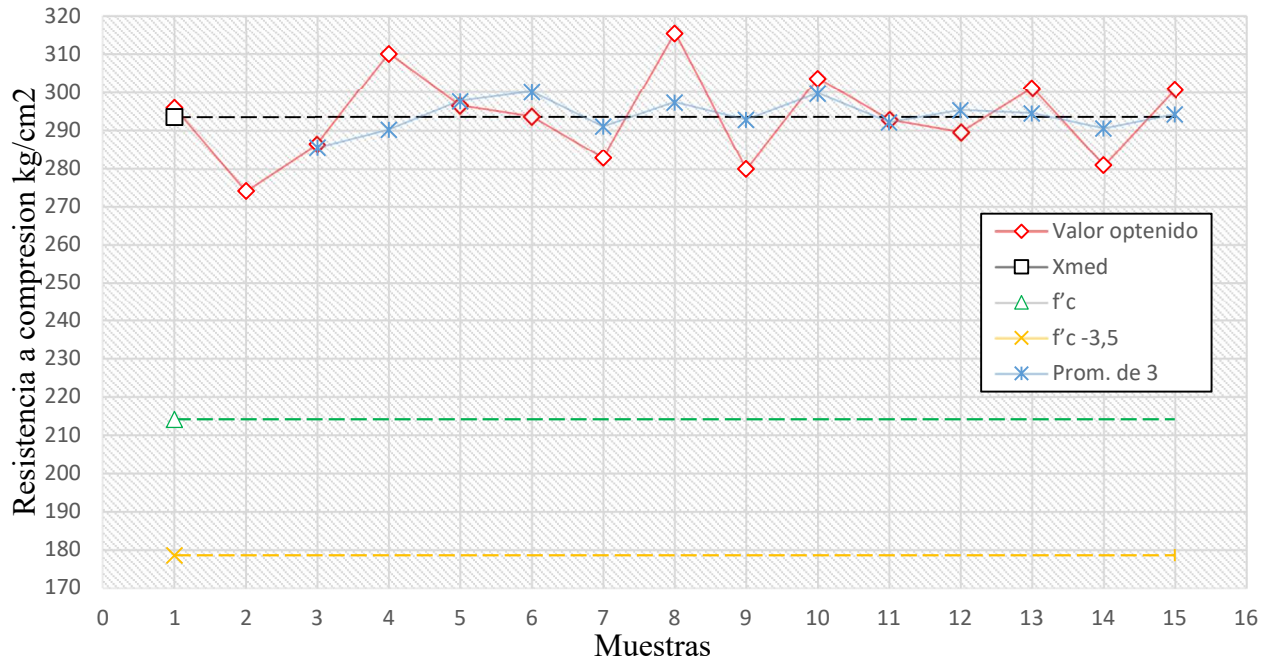
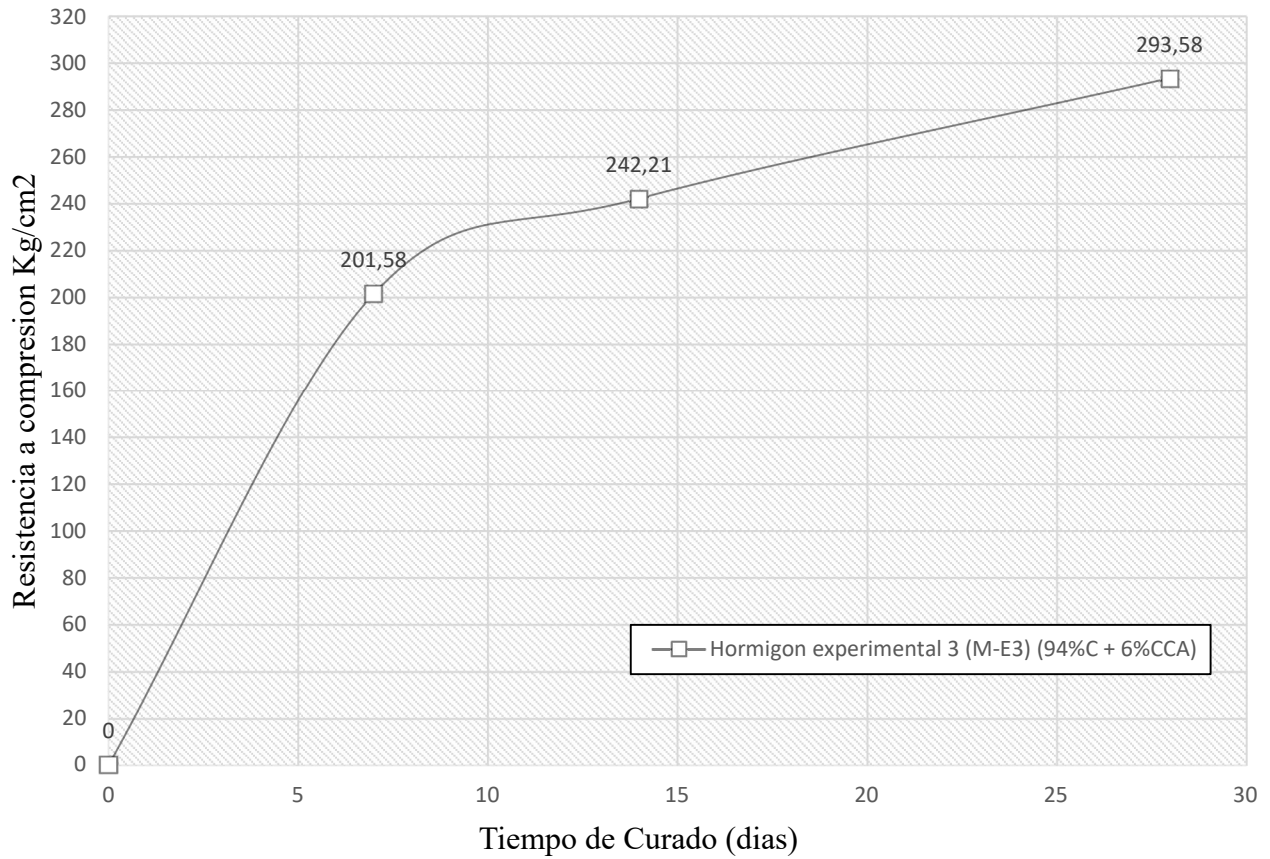


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón experimental 3 (M-E3) (94% C + 6% CCA)



ANEXO E-5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA EXPERIMENTAL 4 (M-E4) (92% C + 8% CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm ²
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm ²
	29.50	MPa

N° Ensayo	Resistencia Compresión				D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación	
	7 días	14 días	28 días				Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa
1	M-E4	192,89	244,57	311,23	30,52	18,30		SI
2	M-E4	203,17	238,35	292,93	28,73	17,76		SI
3	M-E4	190,06	230,03	310,69	30,47	18,29	304,95	SI
4	M-E4	204,24	214,54	292,40	28,68	13,30	298,67	SI
5	M-E4	213,42	270,62	305,70	29,98	24,34	302,93	SI
6	M-E4	221,90	223,71	281,36	27,59	0,85	293,15	SI
7	M-E4	231,79	262,91	280,51	27,51	9,23	289,19	SI
8	M-E4	219,36	233,48	289,74	28,41	32,48	283,87	SI
9	M-E4	223,72	236,34	322,22	31,60	27,55	297,49	SI
10	M-E4	235,37	241,94	294,67	28,90	12,19	302,21	SI
11	M-E4	215,51	221,69	306,86	30,09	18,25	307,92	SI
12	M-E4	208,28	244,08	288,61	28,30	9,63	296,71	SI
13	M-E4	222,71	236,39	298,24	29,25	6,28	297,90	SI
14	M-E4	217,32	257,73	291,96	28,63	12,33	292,94	SI
15	M-E4	201,21	245,99	304,29	29,84	6,94	298,16	SI
\bar{X} =		213,40	240,16	298,09	29,23	15,18		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{min}	280,51	Ancho intervalo de clase	C	8,55	S corregido Kg/cm ²	S_{corr}	13,67
Resistencia máxima	X_{max}	322,22	Promedio	\bar{X}	298,09	S corregido MPa	S_{corr}	1,34
Rango de datos	R_x	41,71	Desviación estándar	S	11,783	Coefficiente de variación	CV	4,59%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras

Desviación estándar	S	11,783	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida	1,34
coeficiente de variación CV		4,59%				
1,- De acuerdo al valor de la desviación estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:						Excelente
Promedio de rangos		15,18	Desviación estándar dentro del ensayo S_1	13,46	Coefficiente de variación CV_1	4,51%
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:						Regular

Cumplimiento de los requisitos de resistencia

El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%

Resistencia promedio requerida	29,23 MPa	$f'c$ que garantiza este diseño	25,06 MPa
	298,09 kg/cm ²		255,50 kg/cm ²
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09% < 0,1%	Resistencia promedio requería para el diseño de mezcla	22,80 Mpa 232,45 kg/cm ²
Sobre diseño promedio del hormigón			8,23 Mpa 83,96 kg/cm ²

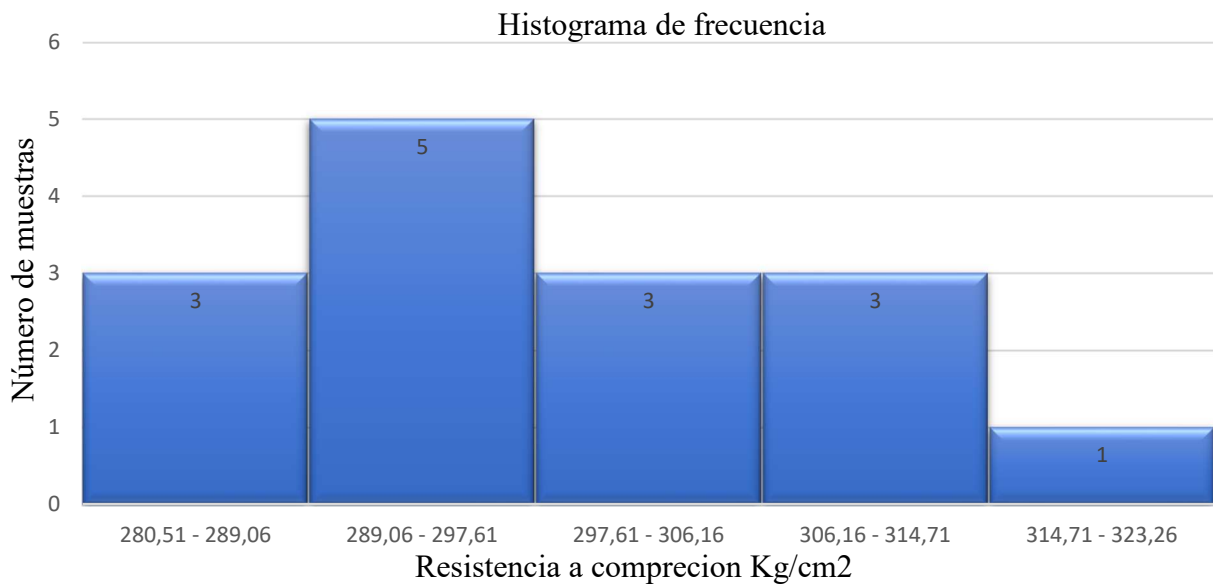
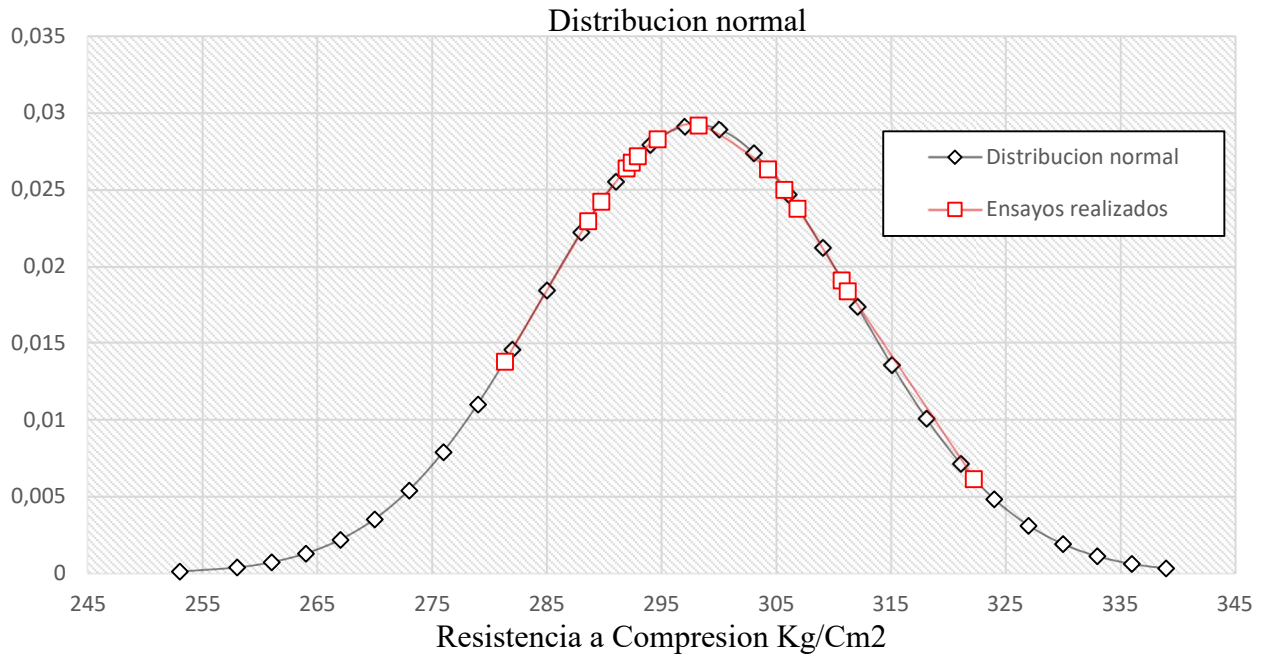
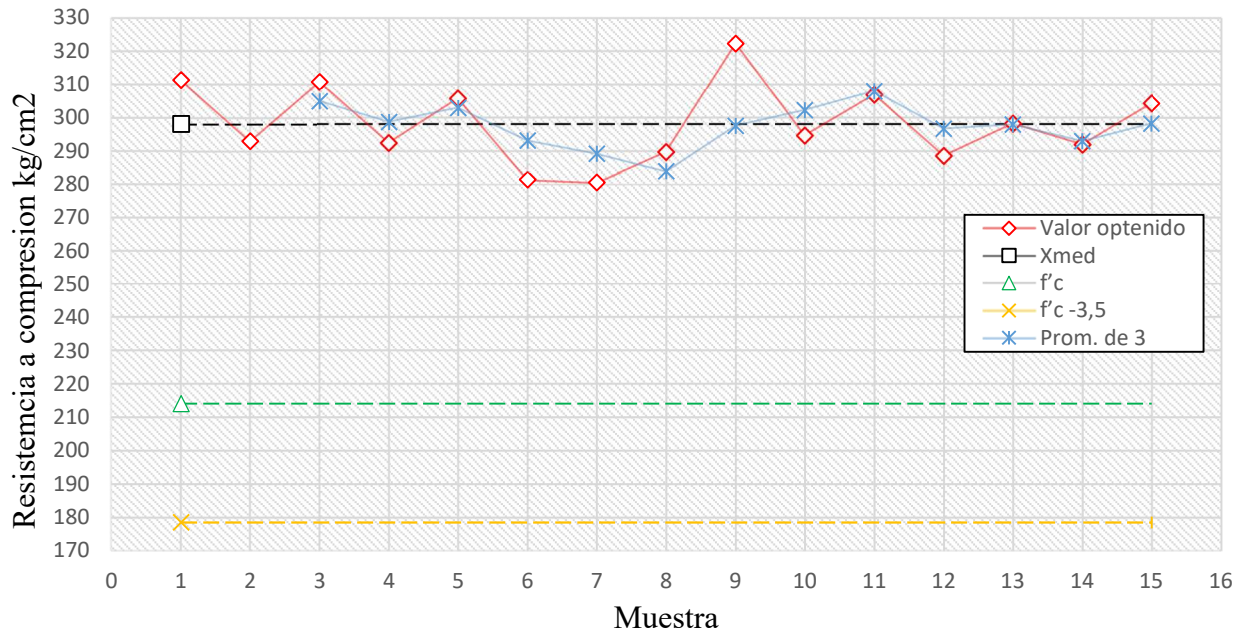
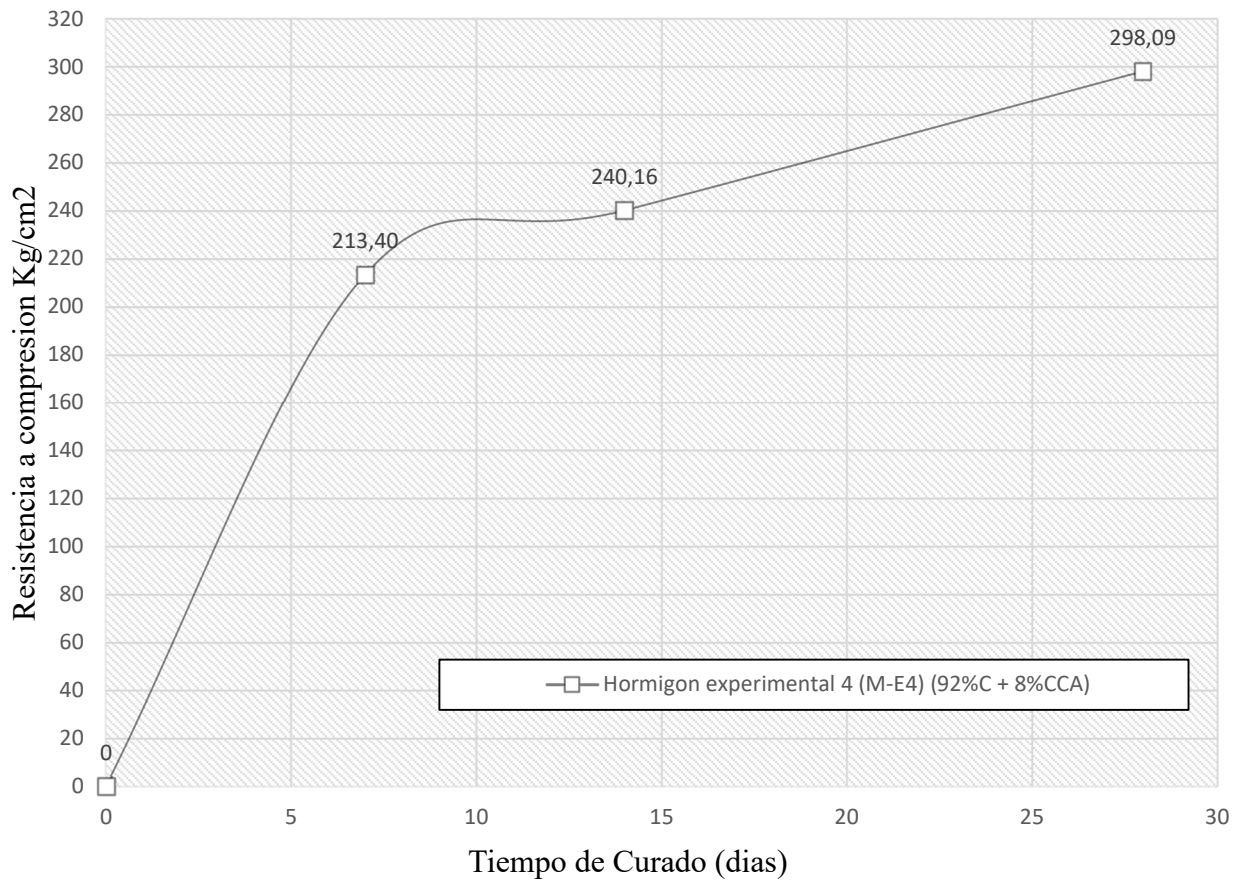


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón experimental 4 (M-E4) (92% C + 8% CCA)



ANEXO E-6: ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRA EXPERIMENTAL 5 (M-E5) (90%C + 10%CCA)

Resistencia a compresión especificada f^c	210.00	Kg/cm2
	21.00	MPa
Resistencia a la compresión del hormigón promedio requerida	295.00	Kg/cm2
	29.50	MPa

N° Ensayo	Resistencia Compresión				D.S. dentro de la tanda	\bar{X} móvil 3 ensayos	Criterios de Aceptación	
	7 días	14 días	28 días				Prom. de 3 > f^c	Ensayo > f^c -3.5MPa
1	M-E5	212,02	262,37	300,17	29,44	0,92		SI
2	M-E5	262,22	230,51	299,25	29,35	36,97		SI
3	M-E5	256,85	260,17	262,28	25,72	41,70	287,23	SI
4	M-E5	250,65	263,57	303,98	29,81	9,69	288,50	SI
5	M-E5	243,01	223,37	294,29	28,86	30,48	286,85	SI
6	M-E5	247,06	274,80	263,81	25,87	2,96	287,36	SI
7	M-E5	231,82	253,51	260,85	25,58	2,91	272,98	SI
8	M-E5	256,51	275,08	263,76	25,87	3,19	262,81	SI
9	M-E5	231,68	240,12	260,57	25,55	11,49	261,73	SI
10	M-E5	210,50	258,05	272,06	26,68	19,43	265,46	SI
11	M-E5	243,05	267,47	291,49	28,59	3,67	274,71	SI
12	M-E5	251,62	266,90	295,16	28,95	28,38	286,24	SI
13	M-E5	235,24	246,63	266,78	26,16	11,75	284,48	SI
14	M-E5	246,02	272,14	278,53	27,31	22,54	280,16	SI
15	M-E5	221,35	237,40	255,99	25,10	44,18	267,10	SI
$\bar{X} =$		239,97	255,47	277,93	27,26	18,02		

Número de ensayos en la muestra	n	15,00	N° de intervalos de clase	K	4,88	Factor de mod. S	α	1,16
Resistencia mínima	X_{min}	255,99	Ancho intervalo de clase	C	9,83	S corregido Kg/cm2	S_{corr}	20,22
Resistencia máxima	X_{max}	303,98	Promedio	\bar{X}	277,93	S corregido MPa	S_{corr}	1,98
Rango de datos	R_x	47,99	Desviación estándar	S	17,433	Coefficiente de variación	CV	7,28%

Evaluación del procedimiento de obtención de muestras							
Desviación estándar	S	17,433	factor de corrección	1,16	desviación estándar corregida	1,98	
coeficiente de variación CV		7,28%					
1,- De acuerdo al valor de la desviación estándar obtenido, la operación en el laboratorio se la considera:							Buena
Promedio de rangos		18,02	Desviación estándar dentro del ensayo S_1	15,97	Coefficiente de variación CV_1	5,75%	
2,- De acuerdo al coeficiente de variación, el control en la toma de muestra. Curado, y ensayo se la considera:							Mala

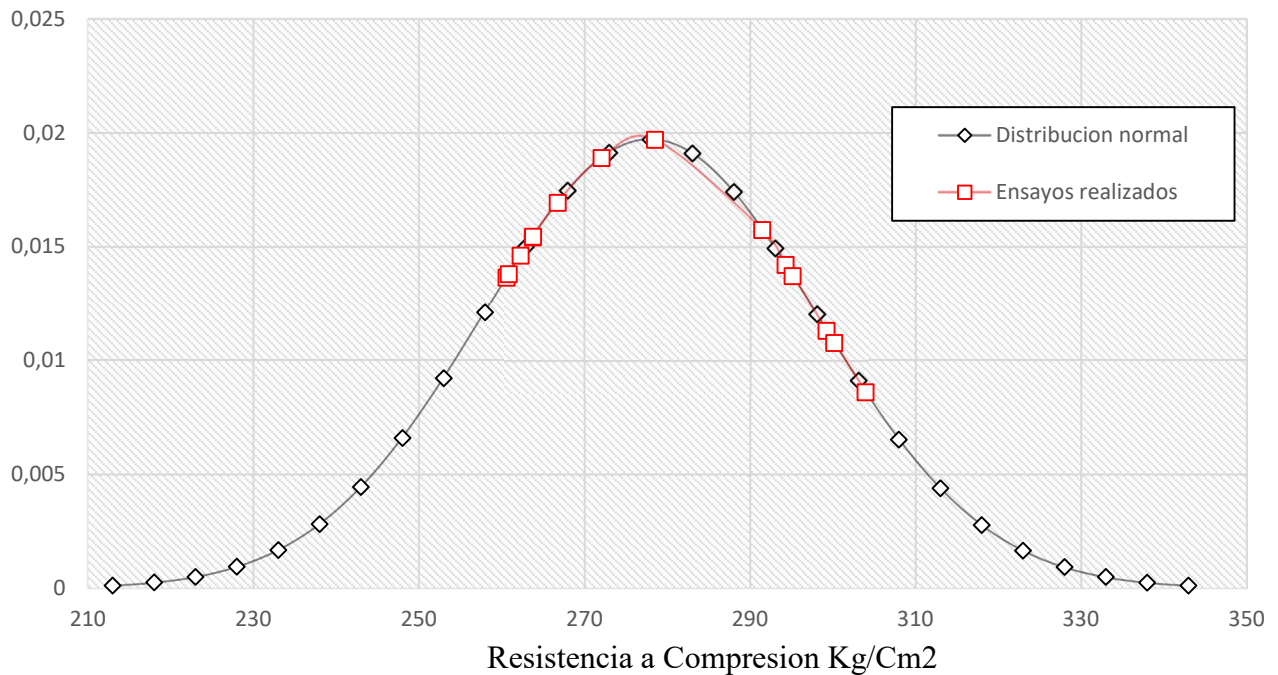
Cumplimiento de los requisitos de resistencia	
El promedio móvil de 3 ensayos consecutivos, debe ser igual o superior a la resistencia especificada f^c	100%
Ningún ensayo individual puede estar f^c -3,5 Mpa por debajo de la resistencia especificada	100%

Análisis de resistencia

El ACI 318, indica que la probabilidad aceptada de que los requisitos de resistencia no se cumplan es del 1%

Resistencia promedio requerida	27,26 MPa	$f'c$ que garantiza este diseño	21,08 MPa
	277,93 kg/cm ²		215,00 kg/cm ²
Porcentaje de resultados bajos esperados en el diseño de mezcla utilizados	0,09% < 0,1%	Resistencia promedio requerida para el diseño de mezcla	23,66 Mpa 241,24 kg/cm ²
Sobre diseño promedio del hormigón			6,26 Mpa 63,79 kg/cm ²

Distribucion normal



Histograma de frecuencia

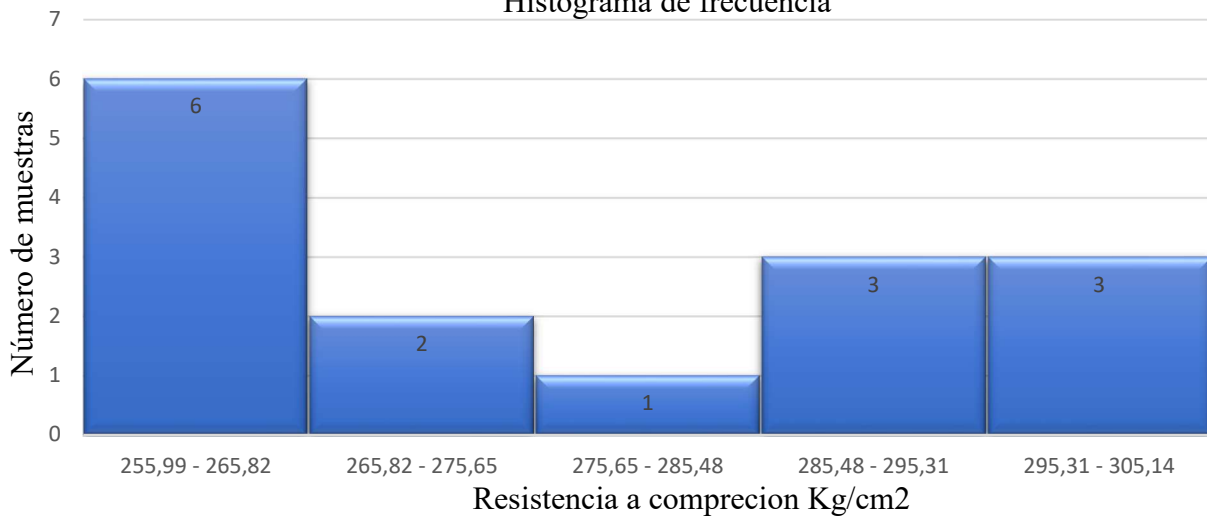
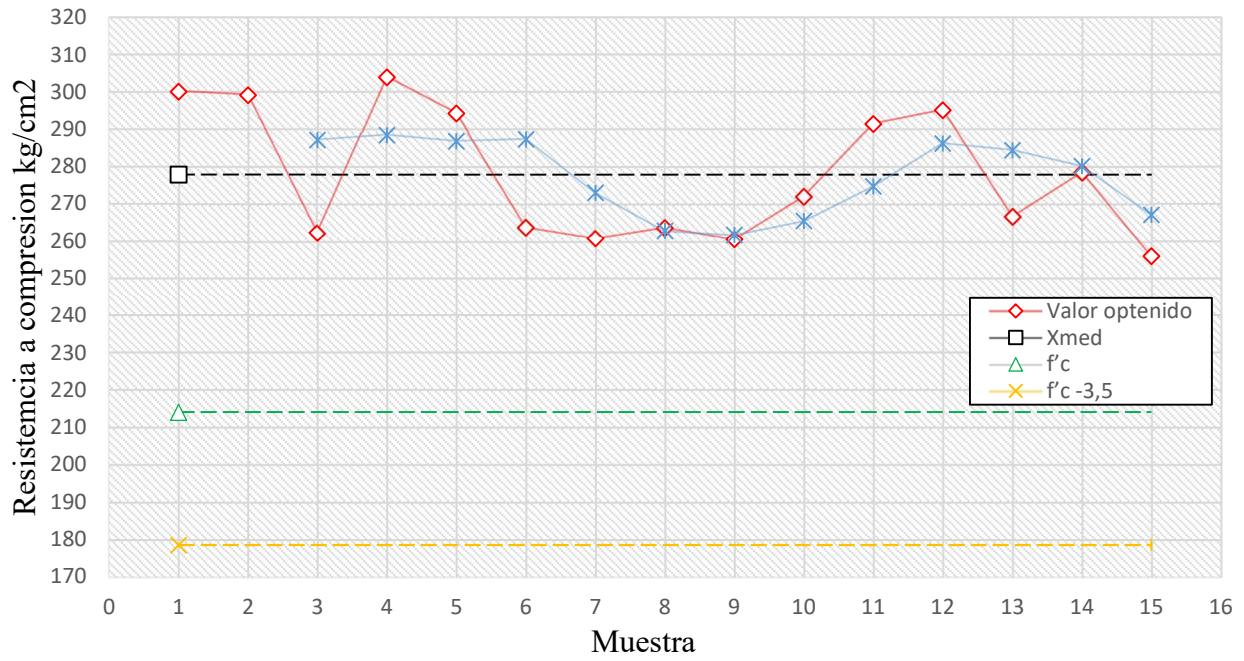


Gráfico control $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días



Curva de madurez del hormigón experimental 5 (M-E5) (90% C + 10% CCA)

