



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE FASE I**

**“EL USO DE CENIZA VOLANTE COMO SUSTITUCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND  
ESTRUCTURAL ADVANCED EN EL CONCRETO HIDRÁULICO EN SAN PEDRO SULA,  
HONDURAS 2023”**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**21821050 JURGEN ESTUARDO MARTÍNEZ CARRILLOS**

**61741516 KRIZIA ISABELLA BUSTILLO PORTILLO**

**ASESOR:**

**ING. HÉCTOR MANUEL BUSTILLO**

**CAMPUS UNITEC, SAN PEDRO SULA**

**ABRIL, 2023**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**PRESIDENTE EJECUTIVA**

**ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**ING. JAVIER SALGADO**

**RECTOR ACADÉMICO**

**ING. ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA**

**SECRETARIO GENERAL Y PRORRECTOR**

**ROGER MARTÍNEZ MIRANDA**

**VICEPRESIDENTA CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**MARÍA ROXANA ESPINAL MONTEILH**

**JEFE ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**HÉCTOR WILFREDO PADILLA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA  
OPTAR AL TÍTULO**

**INGENIERO CIVIL**

**ASESOR METODOLÓGICO FASE I**

**“ING. MICHAEL JOB PINEDA”**

**ASESORES TEMÁTICOS**

**“ING. HÉCTOR MANUEL BUSTILLO”**

**MIEMBROS DE LA TERNA**

**“ING. ARNOLD JOVEL”**

**“ING. RAÚL MEDINA”**

**“ING. ADA RODRÍGUEZ”**

# **DERECHOS DE AUTOR**

.

©Copyright 2023

JURGEN ESTUARDO MARTÍNEZ CARRILLOS

KRIZIA ISABELLA BUSTILLO PORTILLO

Todos los derechos reservados

## AUTORIZACIÓN

*AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.*

Señores,

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)

San Pedro Sula

Estimados señores

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Jurgén Estuardo Martínez Carrillos y Krizia Isabella Bustillo Portillo de San Pedro Sula autor(es) del trabajo de grado titulado: El uso de ceniza volante como sustitución del cemento portland estructural advanced en el concreto hidráulico en San Pedro Sula, Honduras 2023, el cual se presentará en el año (2023) como requisito para optar al título de ingeniero civil otorgamos la presente carta de consentimiento a:

Las bibliotecas del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) que, con únicamente fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar esta información que éste contiene con fines educativos.

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 17 días del mes de abril del dos mil veintitrés (2023).

[17 de Abril, 2023]



Jurgén Estuardo Martínez Carrillos

21821050



Krizia Isabella Bustillo Portillo

61741516

## HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.



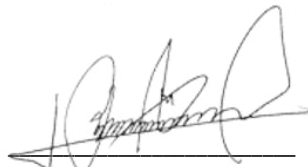
Ing. Michael Pineda  
Asesor Metodológico



Ing. Héctor Bustillo  
Asesor Temático



Ing. Arnold Jovel  
Coordinador de Terna



Ing. Raúl Medina  
Miembro de Terna



Ing. Ada Rodríguez  
Miembro de Terna

---

Ing. Héctor Wilfredo Padilla

Jefe Académico de Ingeniería Civil UNITEC SPS

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por ser quién me ha guiado en todo momento y quién me ha dado las fuerzas para sobrellevar cualquier obstáculo. Le dedico en segundo plano a mis padres, Héctor Manuel Bustillo y Norma Isabel Portillo por ser quienes han luchado por mí siempre y por ser los que me han motivado cuando he querido desistir, de igual forma, a mis hermanos, Héctor David Bustillo Portillo, Andrea Gisselle Bustillo Portillo y Dorian Xavier Bustillo Portillo por siempre darme el apoyo, cariño y el ejemplo de que cuando uno lucha por lo que quiere sin importar lo que cueste siempre lo logra.

También, le dedico este trabajo a todos los ingenieros que han formado parte de mi educación universitaria, quienes con su tiempo y paciencia me han enseñado e instruido a tener los mejores conocimientos para nunca fracasar y seguir adelante. Asimismo, dedico este trabajo a mi compañero Jurgen Estuardo Martínez Carrillos por acompañarme en gran parte de la carrera, con quién hemos podido superar cualquier dificultad y retos juntos.

### ***Isabella Bustillo***

Este trabajo se lo dedico a Dios porque a través de él logré terminar mis estudios, al forjador de mi camino, mi Padre Celestial, el que me sigue y me levanta siempre de los tropiezos constantes, el creador de mi madre y padre y de las personas que más amo, amor sincero de todo corazón. Seguidamente, a mis Padres, Henry Mauricio Martínez Varela y Senia Jaquelin Carrillos Cardona por mostrarme el camino hacia la superación y muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este; de igual manera a mis bellas hermanas, Estefani Fabiola Martínez Carrillos, Emily Abigail Martínez Carrillos y a Skarleth Michell Cardona Mejía por brindarme su tiempo y un hombro para descansar, al igual que Sergio Darío Cardona un gran apoyo. También, le dedico a mis catedráticos quienes fueron parte de mi proceso de aprendizaje, al igual que mis compañeros de clases con quienes hemos compartido momentos fáciles y difíciles. Dedico este informe a mi compañera Krizia Isabella Bustillo Portillo quien ha sido mi colega de estudio en más de la mitad de la carrera superando muchos obstáculos.

### ***Jurgen Martínez***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al ingeniero Germán Bertrán de la empresa Caracol Knits quién nos ha apoyado ofreciéndonos la ceniza volante para poder llevar a cabo nuestro proyecto de investigación.

De igual forma, agradecemos a la empresa Eterna S.A. por darnos la oportunidad de realizar todas las pruebas de laboratorio y la producción de concreto hidráulico en sus instalaciones.

Estamos agradecidos con nuestro asesor temático el Ing. Héctor Manuel Bustillo por guiarnos en cada paso de la investigación procurando dar el mejor enfoque, siendo paciente y profesional al guiarnos a lo largo de la investigación. Asimismo, agradecemos a nuestro asesor metodológico Michael Job Pineda por dedicarnos de su tiempo logrando así el mejor resultado en nuestro trabajo.





## RESUMEN EJECUTIVO

La finalidad del trabajo de investigación presente es evaluar la ceniza volante en el concreto hidráulico y corroborar si la implementación de esta influye de manera positiva las resistencias a compresión y flexión utilizando agregados de Eterna S.A. en la ciudad de San Pedro Sula, Honduras. El propósito es analizar el comportamiento físico y mecánico del concreto hidráulico haciendo sustitución porcentual del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante e identificar el beneficio que aporta a la fabricación del concreto hidráulico. A los agregados utilizados en la investigación se les realizó los respectivos ensayos indicados por las normas ASTM para conocer las propiedades de estos, por otro lado, la dosificación con la ceniza volante que se ha usado fue en base a los porcentajes propuestos, siendo de 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Los resultados a los 28 días a compresión son de 5360 psi sin reemplazo, 3760 psi para un 10% de sustitución, 4770 psi con un 15% de sustitución, 3810 psi con un 20% de sustitución, 3820 psi con el 25% de sustitución y 2470 psi con el 30% de sustitución. Los resultados a los 28 días a flexión han resultado de 660 psi sin reemplazo, 630 psi con el 10% de sustitución, 660 psi con el 15% de sustitución, 660 psi con el 20%, 650 psi con el 25% y 490 psi con el 30% de sustitución. En conclusión, resulta funcional y beneficioso hacer sustituciones a partir del 10% hasta 25% de sustitución del cemento Portland estructural advanced tipo I por la ceniza volante.

**Palabras clave:** Ceniza Volante (CV), Cemento, Concreto Hidráulico, Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión.



## ABSTRACT

The purpose of the present research is to evaluate fly ash in hydraulic concrete and to corroborate if its implementation positively influences compressive and flexural strengths using aggregates from Eterna S.A. in the city of San Pedro Sula, Honduras. The purpose of this investigation is to analyze the physical and mechanical behavior of hydraulic concrete with the percentage substitution of Portland cement structural advanced for fly ash and to identify the benefit it brings to the manufacture of hydraulic concrete. The aggregates used in the research were subjected to the respective tests indicated by the ASTM norms to know their properties; on the other hand, the dosage with the fly ash used was based on the proposed percentages of 10%, 15%, 20%, 25% and 30%. The results at 28 days in compression are 5360 psi without replacement, 3760 psi for 10% replacement, 4770 psi with 15% replacement, 3810 psi with 20% replacement, 3820 psi with 25% replacement and 2470 psi with 30% replacement. The 28-day flexural results were 660 psi without replacement, 630 psi with 10% replacement, 660 psi with 15% replacement, 660 psi with 20% replacement, 650 psi with 25% replacement and 490 psi with 30% replacement. In conclusion, it is functional and beneficial to make substitutions from 10% to 25% replacement of Portland cement structural advanced for fly ash.

**Key words:** Fly ash, Cement, Hydraulic Concrete, Compressive Strength, Flexural Strength.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Precedentes del Problema .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Definición del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1. Enunciado del Problema.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2. Formulación del Problema .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Preguntas de Investigación .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5. Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.1. Objetivo General .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>6</b>
<b>III. Marco Teórico .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Análisis de la Situación Actual .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1. Análisis del Macroentorno .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1.1. Análisis a compresión del concreto con adición de ceniza volante .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.1.2. Efecto de la ceniza volante en la permeabilidad del concreto.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1.3. Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2. Análisis del Microentorno .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3. Análisis Interno.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Teorías de sustento .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1 Ceniza en el concreto .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2 Efectos de la ceniza volante en el concreto (ASTM 168).....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Especificación Normalizada de Agregados para Concreto (ASTM C-33) ...</b>	<b>33</b>

3.2.4	Análisis de tamices (ASTM C136) .....	33
3.2.5	Norma de aditivos de concreto (ASTM C494).....	34
3.2.6	Revenimiento (ASTM C 143).....	35
3.2.7	Peso unitario y Contenido de aire del concreto fresco (ASTM C 138).....	36
3.2.8	Contenido de aire del concreto fresco (ASTM C 173) .....	37
3.2.9	Resistencia a la compresión (ASTM C39).....	37
3.2.10	Cemento portland (ASTM C150) .....	38
3.2.11	Peso volumétrico de los agregados (ASTM C-129) .....	38
3.2.12	Colorimetría (ASTM C-40).....	39
3.2.13	Norma ASTM C-128 .....	41
3.3.	Marco Conceptual .....	42
3.4.	Marco Legal.....	45
<b>IV.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>48</b>
4.1.	Enfoque.....	48
4.2.	Variables de investigación.....	49
4.2.1.	Diagrama de Variables de Operacionalización.....	50
4.2.2.	Tabla de Operacionalización .....	51
4.2.3.	Hipótesis .....	52
4.2.3.1.	Hipótesis de Investigación.....	52
4.2.3.2.	Hipótesis Nula.....	52
4.3.	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	52
4.3.1	Instrumentos.....	53
4.3.2	Técnicas .....	55
4.4.	Materiales.....	56
4.5.	Población y Muestra.....	56

4.5.1.	<b>Población .....</b>	<b>56</b>
4.5.2.	<b>Tamaño de la muestra .....</b>	<b>57</b>
4.6.	<b>Metodología de Estudio.....</b>	<b>59</b>
4.6.1.	<b>Tipo de Diseño.....</b>	<b>60</b>
4.7.	<b>Metodología de Validación .....</b>	<b>61</b>
4.8.	<b>Cronograma de Actividades .....</b>	<b>63</b>
<b>V.</b>	<b>Resultados y Análisis .....</b>	<b>68</b>
5.1.	<b>Propiedades de los Agregados.....</b>	<b>68</b>
5.1.1.	<b>Granulometría.....</b>	<b>68</b>
5.1.1.1.	<b>Análisis de Grava 1½" .....</b>	<b>68</b>
5.1.1.2.	<b>Análisis de Grava ¾" .....</b>	<b>70</b>
5.1.1.3.	<b>Análisis de arena.....</b>	<b>72</b>
5.1.2.	<b>Colorimetría.....</b>	<b>74</b>
5.1.3.	<b>Gravedad específica .....</b>	<b>75</b>
5.1.4.	<b>Humedades .....</b>	<b>75</b>
5.2.	<b>Diseño de Mezcla.....</b>	<b>77</b>
5.3.	<b>Propiedades del Concreto Fresco.....</b>	<b>80</b>
5.3.1.	<b>Peso Volumétrico y Contenido de Aire .....</b>	<b>80</b>
5.4.	<b>Resultados a Compresión .....</b>	<b>83</b>
6.4.1.	<b>Evaluación de la Resistencia a la Compresión a los 7 Días.....</b>	<b>83</b>
6.4.2.	<b>Evaluación de la Resistencia a la Compresión a los 14 Días.....</b>	<b>85</b>
6.4.3.	<b>Evaluación de la Resistencia a la Compresión a los 28 Días.....</b>	<b>87</b>
6.4.4.	<b>Análisis a Compresión.....</b>	<b>88</b>
5.5.	<b>Resultados a Flexión.....</b>	<b>91</b>
5.5.1.	<b>Evaluación de la Resistencia a la Flexión a los 7 Días .....</b>	<b>91</b>

5.5.2.	Evaluación de la Resistencia a la Flexión a los 14 Días.....	93
5.5.3.	Evaluación de la Resistencias a la Flexión a los 28 Días .....	95
5.5.4.	Análisis a Flexión .....	96
5.6.	Validación de hipótesis .....	99
<b>VI.</b>	<b>FASE II.....</b>	<b>102</b>
6.1.	Propiedades de los agregados .....	102
6.1.1.	Granulometría.....	102
6.1.1.1.	Análisis de Grava de 1 ½'' .....	102
6.1.1.2.	Análisis de Grava de ¾ '' .....	104
6.1.1.3.	Análisis de la arena .....	105
6.1.2.	Colorimetría .....	107
6.1.3.	Humedades .....	107
6.2.	Diseño de Mezcla.....	108
6.3.	Propiedades del Concreto Fresco.....	110
6.3.1.	Peso Volumétrico del Concreto .....	111
6.3.2.	Revenimiento y Contenido de Aire .....	111
6.4.	Resultados a Compresión .....	112
6.5.1.	Evaluación de la Resistencia a la Compresión a los 28 Días.....	112
6.5.2.	Evaluación de la Resistencia a la Compresión a los 66 Días.....	113
6.5.3.	Análisis a Compresión.....	114
6.5.4.	Análisis a Compresión - Fase I vs Fase II .....	115
6.4.4.1.	Cemento tipo I – 28 días vs Cemento HE – 28 días .....	115
6.4.4.2.	Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 66 días .....	116
6.5.	Resultados a Flexión.....	118
6.5.1.	Evaluación de la Resistencia a la Flexión a los 28 Días.....	118

6.5.2.	Evaluación de la Resistencia a la Flexión a los 66 Días.....	119
6.5.3.	Análisis a Flexión .....	120
6.5.4.	Análisis a Flexión - Fase I vs Fase II .....	121
6.5.3.1.	Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 28 días .....	121
6.5.3.2.	Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 66 días .....	122
<b>VII.</b>	<b>COSTOS .....</b>	<b>123</b>
7.1.	Precios .....	123
7.2.	Fichas de Costo .....	125
7.2.1.	Ficha de Costo de Mezcla Control con cemento Tipo I .....	125
7.2.2.	Ficha de Costo de Mezcla con 15% CV con Cemento Tipo I .....	126
7.2.3.	Ficha de Costo de Mezcla con 20% CV con Cemento Tipo I .....	127
7.2.4.	Ficha de costo de Mezcla con 25% CV con Cemento Tipo I.....	128
7.2.5.	Ficha de Costo de Mezcla Control con cemento HE .....	129
7.2.6.	Ficha de Costo de Mezcla con 15% CV con Cemento HE .....	130
7.2.7.	Ficha de Costo de Mezcla con 20% CV con Cemento HE .....	131
7.2.8.	Ficha de Costo de Mezcla con 25% CV con Cemento HE .....	132
7.2.9.	Comparación de Costos .....	133
<b>VIII.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>134</b>
<b>IX.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>137</b>
<b>X.</b>	<b>Aplicabilidad.....</b>	<b>139</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>140</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>148</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1 - Medidas de los primeros cilindros expuestos a compresión .....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 2 - Medidas respectivas de los primeros cilindros expuestos a compresión</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 3 - Análisis de los cilindros a la compresión.....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 4 - Requisitos para agregado fino de la norma ASTM C33 .....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 5 - Operacionalización de variable independiente .....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 6 - Operacionalización de variable dependiente .....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 7 - Componentes químicos de cemento vs ceniza volante .....</b>	<b>17</b>
<b>Ilustración 8 - Variación en % de <math>f'c</math> promedio (<math>kg/cm^2</math>) a los 7 y 28 días.....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 9 - Densidad y Porosidad a los 28 días relación a/c = 0.47 y 0.50 .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 10 - Composición química del cemento Pórtland y ceniza volante .....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 11 - Propiedades físicas del cemento Pórtland y la ceniza volante .....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 12 - Granulometría de agregados fino y grueso.....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 13 - Proporciones del concreto para las mezclas.....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 14 - Proporciones del concreto para las mezclas de las series A y B .....</b>	<b>23</b>
<b>Ilustración 15 - Desarrollo de resistencia a la compresión para concretos .....</b>	<b>24</b>
<b>Ilustración 16 - Retracción por secado para concretos de las series A y B.....</b>	<b>24</b>
<b>Ilustración 17 – Granulometría de ceniza volante en San Pedro Sula .....</b>	<b>28</b>
<b>Ilustración 18 - Resistencia Mecánica de probetas curadas a 40°C.....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 19 - IAR de probetas curadas a 40°C.....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 20 - Resistencia Mecánica de probetas curadas a 20°C.....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 21-Requerimiento de la normativa ASTM C-949.....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 22 – Requerimientos de resistencia a la compresión, ASTM C494 .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 23 – Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento.....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 24 – Ensayos químicos requeridos según las especificaciones del ASTM .....</b>	<b>38</b>



<b>Ilustración 25 – Diagramas de variables de operacionalización.....</b>	<b>50</b>
<b>Ilustración 26 – Nomenclatura para cilindros de muestra control.....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 27 – Nomenclatura para cilindros con porcentaje de ceniza volante.....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 28 – Nomenclatura para vigas de muestra control. ....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 29 – Nomenclatura para vigas con porcentaje de ceniza volante.....</b>	<b>59</b>
<b>Ilustración 30 – Tipo de Diseño.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 31 – Pruebas de análisis no paramétricos.....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 32 – Diagrama de Gantt, parte I, semana 1 a semana 3 .....</b>	<b>65</b>
<b>Ilustración 33 – Diagrama de Gantt, parte II, semana 4 a semana 5.....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 34 – Diagrama de Gantt, parte III, semana 6 a semana 7.....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 35 – Diagrama de Gantt, parte IV, semana 8 a semana 10 .....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 36 – Diagrama de Gantt, parte V, semana 11 a semana 14 .....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 37 – Gráfica granulométrica para la grava 1½" .....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 38 - Gráfica granulométrica para la grava ¾" .....</b>	<b>71</b>
<b>Ilustración 39 - Gráfica granulométrica para la arena.....</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 40 - Ensayo de Colorimetría.....</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 41 - Peso de Concreto estado plástico.....</b>	<b>82</b>
<b>Ilustración 42 -Contenido de Aire .....</b>	<b>82</b>
<b>Ilustración 43 – Pruebas a compresión a los 7 días .....</b>	<b>83</b>
<b>Ilustración 44 - Pruebas a compresión a los 14 días.....</b>	<b>85</b>
<b>Ilustración 45 - Pruebas a compresión a los 28 días.....</b>	<b>87</b>
<b>Ilustración 46 - Gráfico a Compresión 28 días .....</b>	<b>89</b>
<b>Ilustración 47 - F'c vs Edad del Concreto a Compresión .....</b>	<b>90</b>
<b>Ilustración 48 - Pruebas a flexión a los 7 días.....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 49 – Pruebas a flexión a los 14 días.....</b>	<b>93</b>

<b>Ilustración 50 – Pruebas a flexión a los 28 días.....</b>	<b>95</b>
<b>Ilustración 51 - Gráfico a Flexión 28 días.....</b>	<b>97</b>
<b>Ilustración 52 – Gráfica MR vs Edad del concreto.....</b>	<b>98</b>
<b>Ilustración 53 - F'c vs Días para validación de hipótesis .....</b>	<b>99</b>
<b>Ilustración 54 - MR vs Días para validación de hipótesis.....</b>	<b>100</b>
<b>Ilustración 55 - Gráfica granulométrica para la grava 1½" – fase II.....</b>	<b>103</b>
<b>Ilustración 56 - Gráfica granulométrica de grava ¾" – fase II .....</b>	<b>105</b>
<b>Ilustración 57 - Gráfica granulométrica de la arena – fase II.....</b>	<b>106</b>
<b>Ilustración 58 – Colorimetría – fase II.....</b>	<b>107</b>
<b>Ilustración 59 - Gráfico "f'c vs w/a" con cemento Tipo I, HE .....</b>	<b>109</b>
<b>Ilustración 60 - Resultados a compresión a los 28 días – fase II.....</b>	<b>112</b>
<b>Ilustración 61 - Resultados a compresión a los 66 días – fase II.....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración 62 - Gráfico a compresión 66 días – fase II.....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración 63 - F'c vs Edad del concreto a Compresión a los 66 días – fase II .....</b>	<b>115</b>
<b>Ilustración 64 - Comparación de Resistencia a 28 días (Fase I vs Fase II).....</b>	<b>116</b>
<b>Ilustración 65 - Comparación de resistencias (Fase I - 28 días vs Fase II - 66 días).....</b>	<b>117</b>
<b>Ilustración 66 - Resultados a flexión de 28 días - fase II.....</b>	<b>118</b>
<b>Ilustración 67 - Resultados a flexión de 66 días – fase II .....</b>	<b>119</b>
<b>Ilustración 68 - Esfuerzo a flexión a los 66 días .....</b>	<b>120</b>
<b>Ilustración 69 - Comparación de Módulo de Ruptura a 28 días (Fase I vs Fase II) .....</b>	<b>121</b>
<b>Ilustración 70 - Comparación de MR (Fase I - 28 días vs Fase II - 66 días).....</b>	<b>122</b>
<b>Ilustración 71 - Ficha de costo de Mezcla control con cemento Tipo I .....</b>	<b>125</b>
<b>Ilustración 72 - Ficha de Costo de Mezcla con 15% de CV con cemento Tipo I.....</b>	<b>126</b>
<b>Ilustración 73 - Ficha de Costo de Mezcla con 20% de CV con cemento Tipo I.....</b>	<b>127</b>
<b>Ilustración 74 - Ficha de Costo de Mezcla con 25% de CV con cemento Tipo I.....</b>	<b>128</b>

<b>Ilustración 75 - Fichas de Costo de Mezcla control con cemento HE .....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración 76 - Ficha de Costo de Mezcla con 15% de CV con cemento HE.....</b>	<b>130</b>
<b>Ilustración 77 - Ficha de Costo de Mezcla con 20% de CV con cemento HE.....</b>	<b>131</b>
<b>Ilustración 78 - Ficha de Costo de Mezcla con 25% de CV con cemento HE.....</b>	<b>132</b>
<b>Ilustración 79 - Gráfico comparativos de costos de proveedores que suministran concreto premezclado .....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Normas NTC usadas para la elaboración del proyecto .....	9
Tabla 2 - Cantidades para la mezcla de concreto .....	10
Tabla 3 - Reemplazo de cemento por ceniza volante.....	10
Tabla 4 - Composición química de cemento y ceniza volante y propiedades físicas.....	16
Tabla 5 - Características de los agregados .....	17
Tabla 6 - Resumen Resultados de Granulometría.....	28
Tabla 7 - IAR de probetas curadas a 40°C.....	29
Tabla 8-Tabla de Variables de Operacionalización .....	49
Tabla 9 - Tabla de Operacionalización .....	51
Tabla 10 - Instrumentos .....	53
Tabla 11- Población de fase I.....	57
Tabla 12 - Población de fase II.....	59
Tabla 13 - Cronograma de actividades .....	63
Tabla 14 - Granulometría de grava de 1 ½" .....	68
Tabla 15 – Parámetros de grava de 1½" .....	69
Tabla 16 - Granulometría de grava ¾" .....	70
Tabla 17 – Parámetros para la grava de ¾" .....	71
Tabla 18 – Granulometría de la arena .....	72
Tabla 19 - Tipo de arena según módulo de finura.....	73
Tabla 20 – Parámetros para la arena.....	73
Tabla 21 - Gravedades Específicas de los Agregados.....	75
Tabla 22 - Resultados de %humedad de Mezcla control – 15% CV .....	76
Tabla 23 – Resultados de %humedad de 20% CV – 25%CV .....	76
Tabla 24 – Resultados de %humedad de 30% CV – 10%CV .....	76

<b>Tabla 25 – Resultados promedios de % humedades de los agregados .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 26 – Diseño mezcla control .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 27 – Diseño mezcla con 10% CV .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 28 – Diseño mezcla con 15% CV .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 29 – Diseño mezcla con 20% CV .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 30 – Diseño mezcla con 25% CV .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 31 – Diseño mezcla con 30% CV .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 32 – Resumen de porcentajes y pesos de ceniza utilizada.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 33 – Propiedades del concreto en estado plástico .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 34 - Resultados de revenimientos y % de Aire .....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 35 – Resultados a compresión de los diseños de mezclas .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 36 – Resultados a flexión de los diseños de mezclas .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 37 - Revenimiento para validación de hipótesis.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 38 - Granulometría de grava de 1 ½" - fase II .....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 39 - Parámetros de grava de 1½" – fase II.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 40 - Granulometría de grava ¾" – fase II.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 41 - Parámetros de grava ¾" – fase II .....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 42 - Análisis granulométrico de la arena – fase II.....</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 43 - Parámetros para la arena – fase II .....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 44 - Resultados de %humedad de Mezcla control – 20% CV de fase II.....</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 45 - Resultados de %humedad de 25% CV de fase II.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 46 - Resultados promedios de % humedades de los agregados – fase II .....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 47 - Diseño mezcla control – fase II .....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 48 - Diseño mezcla 20% CV – fase II .....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 49 - Diseño de mezcla 25% CV – fase II .....</b>	<b>110</b>

<b>Tabla 50 - Resumen de porcentajes y pesos de ceniza volante utilizada – fase II.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 51 - Propiedades del concreto en estado plástico – fase II .....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 52 - Resultados de revenimientos y % de Aire – fase II .....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 53 - Resultados a compresión de los diseños de mezcla – fase II.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 54 - Resultados a flexión de los resultados de mezclas.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 55 - Precios de materiales.....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 56 - Costos de Mano de Obra y Rendimientos .....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 57 - Costos de Equipos y Herramientas y Rendimientos .....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1 – Nueva Presentación del Cemento Portland Estructural Advanced tipo I....</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 2 - Mezcla de concreto con 15% de CV .....</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 3 - Elaboración de testigos.....</b>	<b>149</b>
<b>Anexo 4 - Prueba de revenimiento 6.25" con 15% de CV .....</b>	<b>149</b>
<b>Anexo 5 – Peso de concreto en estado fresco .....</b>	<b>150</b>
<b>Anexo 6 - Especímenes en proceso de secado .....</b>	<b>150</b>
<b>Anexo 7 - Pila de curado .....</b>	<b>151</b>
<b>Anexo 8 - Secado de testigos.....</b>	<b>151</b>
<b>Anexo 9 - Pruebas de resistencias en máquina de compresión y flexión .....</b>	<b>152</b>
<b>Anexo 10 - Ruptura de viga con 15% de CV.....</b>	<b>152</b>
<b>Anexo 11 - Ruptura de cilindro con 15% de CV.....</b>	<b>153</b>
<b>Anexo 12 - Hoja de laboratorio de granulometría grava 1½" – fase I.....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo 13 - Hoja de laboratorio de granulometría grava ¾" – fase I.....</b>	<b>155</b>
<b>Anexo 14 - Hoja de laboratorio de granulometría de la arena – fase I.....</b>	<b>156</b>
<b>Anexo 15 - Hoja de laboratorio de las gravedades específicas.....</b>	<b>157</b>
<b>Anexo 16 - Ficha Técnica IMIX RB-910 parte 1 .....</b>	<b>158</b>
<b>Anexo 17 - Ficha Técnica IMIX RB-910 parte 2.....</b>	<b>159</b>
<b>Anexo 18 - Ficha Técnica Cemento Tipo I parte 1 .....</b>	<b>160</b>
<b>Anexo 19 - Ficha Técnica Cemento Tipo I parte 2 .....</b>	<b>161</b>
<b>Anexo 20 – Resultados a Compresión de 7, 14 y 28 días – fase I .....</b>	<b>162</b>
<b>Anexo 21 – Resultados a Flexión de 7, 14 y 28 días fase I .....</b>	<b>163</b>
<b>Anexo 22 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla control.....</b>	<b>164</b>
<b>Anexo 23 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 10% con CV .....</b>	<b>164</b>
<b>Anexo 24 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 15% con CV .....</b>	<b>164</b>

<b>Anexo 25 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 20% con CV .....</b>	<b>165</b>
<b>Anexo 26 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 25% con CV .....</b>	<b>165</b>
<b>Anexo 27 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 30% con CV .....</b>	<b>165</b>
<b>Anexo 28 - Tarifas de Aguas de San Pedro (ASP).....</b>	<b>166</b>
<b>Anexo 29 – Nueva Presentación de Cemento Portland HE.....</b>	<b>166</b>
<b>Anexo 30 - Ficha Técnica del Cemento Portland HE - Parte 1.....</b>	<b>167</b>
<b>Anexo 31 - Ficha Técnica del Cemento Portland HE - Parte 2.....</b>	<b>168</b>
<b>Anexo 32 - Hoja de laboratorio de granulometría grava 1½" - fase II .....</b>	<b>169</b>
<b>Anexo 33 - Hoja de laboratorio de granulometría grava ¾" - fase II .....</b>	<b>170</b>
<b>Anexo 34 - Hoja de laboratorio de granulometría de la arena - fase II .....</b>	<b>171</b>
<b>Anexo 35 - Resultados a Compresión de 28 y 66 días – fase II .....</b>	<b>172</b>
<b>Anexo 36 - Resultados a Flexión de 28 y 66 días – fase II.....</b>	<b>172</b>
<b>Anexo 37 - Cotización de ETERNA S.A.....</b>	<b>173</b>
<b>Anexo 38 – Cotización de HORMIGÓN S DE R.L. ....</b>	<b>174</b>
<b>Anexo 39 – Cotización de DURACRETO .....</b>	<b>175</b>
<b>Anexo 40 - Cotización de CONHSA PAYHSA.....</b>	<b>176</b>
<b>Anexo 41 – Cotización de precios de tipos de cementos y aditivo .....</b>	<b>177</b>
<b>Anexo 42 - Cotización de precios agregados .....</b>	<b>178</b>
<b>Anexo 43 - Cotización de Mano de Obra.....</b>	<b>179</b>
<b>Anexo 44 - Cotización de Equipos y Herramientas.....</b>	<b>180</b>



## I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más usados en San Pedro Sula para la construcción de todo tipo de obras civiles, en donde se sabe que las construcciones son importantes para el desarrollo económico de un país. En los últimos años se presenta un crecimiento poblacional del 8.4% lo que genera más demanda en la construcción, tanto en áreas residenciales, calles y demás. Se conoce que la dosificación para el concreto hidráulico son las cantidades de cemento, agua, grava y arena, y en otros casos la utilización de aditivos. La dosificación requiere el uso de adiciones de distintos productos a manera de conseguir un concreto de mayor calidad, en este apartado, se busca agregar ceniza volante reduciendo cantidades de cemento portland para darle mayor durabilidad y trabajabilidad, aportando de igual forma al medio ambiente, ya que al saber que el cemento es un material contaminante, al reducir el porcentaje de cemento en el concreto hidráulico y complementándolo por ceniza volante su utilización a cantidades más pequeñas resulta ser adecuada para poder reducir su impacto ambiental.

El proyecto tiene la finalidad de analizar el comportamiento de la ceniza volante como material suplementario en sustitución porcentual del cemento portland estructural advanced en muestras del concreto hidráulico. Durante mucho tiempo se ha reconocido que la ceniza volante mejora de manera importante la adición de estas en el hormigón y al haber una necesidad se debe de tener la innovación de aprovechar los desechos, conocer sus propiedades y características y ver si pueden ser un apto material alternativo en la construcción, más ahora que se buscan alternativas ecológicas, económicas y factibles para este rubro.

En el presente trabajo se realizará el análisis físico y mecánico del concreto hidráulico modificando la dosificación del diseño sustituyendo ciertos porcentajes de cemento Portland estructural advanced por ceniza volante al hormigón y hacer la comparación de elementos de concreto hidráulico sin la adición de esta ceniza, tomando el sitio de estudio San Pedro Sula, Honduras, 2023, con laboratorios y personal certificado como lo es Eterna S.A., obteniendo como procedencia la ceniza volante de la empresa Caracol Knits, S.A. de C.V.. Este proyecto siendo realizado por alumnos previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A continuación, se presenta la idea fundamental por la cual se manifiesta la necesidad de llevar a cabo esta investigación, presentando los precedentes y exponiendo el problema que se estudiará, estableciendo los objetivos, y justificación que será de apoyo en el capítulo IV para plantear las hipótesis y que posteriormente darán resolución a las preguntas de investigación que se exponen en el capítulo presente.

### **2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Una estructura de ingeniería construida con concreto es una parte permanente de nuestro entorno y, por lo tanto, de su calidad y, en última instancia, de su economía; es igualmente importante entender su comportamiento como pasta homogénea y el estudio de sus materiales de relleno como la arena y la grava es el principal motivo de interés.

En Honduras, especialmente en la ciudad de San Pedro Sula, Cortés, el uso del concreto hidráulico es parte fundamental para el desarrollo de infraestructuras de la ciudad.

Lorca Aranda et al. (2014) menciona que las normas ASTM estandarizan diversas pruebas que permiten comprender el comportamiento físico y mecánico de los agregados y especificar la calidad de cada agregado para su posterior uso en la obra.

En la zona norte de la ciudad de San Pedro Sula, no existen antecedentes de investigación sobre dichos agregados. Esto se debe a que cada empresa produce concreto hidráulico. Las pruebas se basan en lo que requiere el proyecto. También proporcionamos orientación limitada sobre los datos finales cuando no hay datos suficientes para tomar una decisión general sobre las propiedades físicas y mecánicas.

Las cenizas volantes no pueden liberarse libremente a la atmósfera debido a la legislación medioambiental vigente, por ello se debe recurrir a una alternativa para utilizar esta materia prima, debido que todas las empresas que presentan residuos de ceniza se les presenta el problema para poder almacenarla y por ello incurren en botarla, pero esto es un gran contaminante para el ambiente, y además que dicho material presente diversas aplicaciones, tales como la de agregado en la fabricación de concreto hidráulico.

Según, Cruz, Martinez, & Enamorado et al. (2019) agregar cenizas volantes a la mezcla puede mejorar el concreto al alterar su composición, aumentando su resistencia y durabilidad. El

material resultante es menos poroso que el cemento Portland tradicional y más resistente a la corrosión y fallas prematuras. El hormigón con cenizas volantes no solo es más duradero que el cemento Portland, sino que también es más resistente a los ácidos y al fuego y ha demostrado una mayor resistencia a la compresión y a la tracción.

Debido a la alta demanda de obras civiles se ve ampliamente notable la utilización del concreto hidráulico, por lo que requiere de la fabricación de enormes cantidades de volúmenes de concreto hidráulico para solo una obra civil, por ende, San Pedro Sula es una ciudad que al pasar los años va mejorando su infraestructura. Por lo tanto, la producción y consumo de concreto hidráulico requiere de aglomerantes como lo es el cemento portland, en donde entra en juego la producción de grandes toneladas de cemento, siendo este factor por considerar, por lo que existen empresas cementaras como Cementos del Norte S.A., Ultracem Honduras, Cementos Argos, empresas lideres en la producción de cemento portland en Honduras.

Debido al alto consumo de producción de concreto hidráulico, existe una enorme producción de cemento portland en el país, por lo que existe una generación de CO<sub>2</sub> que afecta al ambiente. Por lo que para el año 2020 se obtuvo un descenso de CO<sub>2</sub>, siendo la primera vez desde el año 1990; el cual fue causado por un gran aumento de generación eléctrica de energía renovable, la caída del carbón y las grandes limitaciones que surgieron a través de la pandemia.

Estos datos preliminares estiman que las emisiones brutas de CO<sub>2</sub> equivalente fueron de 271,5 millones de toneladas, lo que representa una reducción del 13,7 % en comparación con el año 2019. Esta es la primera vez durante la serie de inventario en el período 1990-2020, que las emisiones disminuyeron en relación con 1990. ((MITECO), 2021).

Se conoce que el cemento portland es vital para una obra civil, sin importar que magnitud sea, por lo que se considera un residuo solido llamado "Ceniza volante"

Las cenizas volantes se definen, según la norma española UNE-EN 450-1:2006+A1:2013, como "polvo fino con partículas cristalinas especialmente de forma esférica, procedente de la combustión de carbón pulverizado, con o sin combustiones, con contenido puzolánico características y constituido esencialmente por SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; el contenido de SiO<sub>2</sub> reactivo", tal como se define y describe en la norma EN 197-1, es de al menos un 25 % en masa. (Sollutia, 2011, pág. 1)

Las cenizas volantes se generan en el Parque Industrial Textil Caracol Knits, Honduras, ubicado en Potrerillos, Cortés desde el año 2014, empresa a considerar como la muestra de la investigación.

Generalmente la empresa Caracol Knits determina la ceniza volante como un desperdicio que no tiene un uso y beneficios para ellos mismos; en donde proceden al botado de ella misma en basureros municipales. Debido a la falta de información de ceniza volante de parte Caracol Knits, esta repercute negativamente de manera ambiental. (Knits, 2023)

Según un estudio realizado en la Universidad de Chile expone que los efectos de las cenizas volantes en el hormigón han sido estudiados en numerosas investigaciones funcionando como reemplazo o simple adición en el hormigón, en donde han comprobado que cuando se emplean las cenizas volantes entre porcentajes de 10 a 30 % de reemplazo asegura muchos beneficios tales como la demanda reducida de agua, una mejor bombeabilidad, una cohesión mejorada y un menor sangrado, entre otras cosas.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Así, siguiendo los precedentes presentados en la presente investigación, se presenta una formulación del problema, y en consecuencia se detallan todos estos argumentos válidos para plantear la pregunta, a partir de los cuales se formula la pregunta de investigación pertinente, en la cual se da la respuesta. se hacen tales preguntas.

### **2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

A continuación, se plantea el enunciado del problema, donde se dará la finalidad para la composición de esta investigación.

“Ya que en la última década el país hondureño refleja un incremento del 62.4% de área a edificar en el primer trimestre del año 2022 de acuerdo con IMAE (Índice mensual de actividad económica), y se caracteriza que los residuos de ceniza volante se generan en distintas ciudades del país, principalmente en la ciudad de San Pedro Sula lo cual no son tratadas y se desperdician en su mayoría por lo ende se propone el uso de ceniza volante para la fabricación de mezclas de concreto hidráulico con el uso de esta materia prima de forma porcentual, en aplicación para losas de pavimentos”

## 2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Gracias a lo dicho anteriormente, se formula un problema que da lugar a la siguiente interrogante:

¿Cuál será el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza volante por el cemento Portland estructural advanced para que el hormigón presente beneficios físicos y mecánicos tomando en cuenta las opiniones y criterio de expertos y el uso de materiales de la zona en San Pedro Sula, Honduras 2023?

## 2.3. JUSTIFICACIÓN

Según la Encuesta Trimestral de Construcción de Obras Techadas Privadas (ECOPE) durante los primeros 6 meses del 2022 se construyeron 567.5 millones de metros cuadrados en Honduras. El Banco Central de Honduras registró un crecimiento de la construcción a un 52.7% lo que conlleva el uso de concreto hidráulico para estas construcciones, por lo tanto, el uso de cemento. Por esta misma razón, se busca el uso de recursos denominados desechos que puedan sustituir porcentualmente al concreto hidráulico.

Este tema de investigación es bastante interesante y en nuestro país hay, si no es ninguna, muy poca participación investigativa sobre la utilización de la ceniza volante como sustitución del cemento Portland o simple adición para mejorar las características físicas y mecánicas en el concreto hidráulico.

Se considera una importancia ecológica porque logramos reducir la emisión del monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre el cuál aumenta por la creación de cemento portland que degeneran la capa de ozono y producen un impacto ambiental negativo. Por lo tanto, al reducir cantidades de cemento al momento de dosificar se reduce el uso del cemento, ya que mediante una porción adecuada de cemento y porcentajes de ceniza volante se puede fabricar una mezcla de concreto con mayor trabajabilidad, durabilidad y con menor costo.

Para motivos de esta investigación, se hará sustitución del cemento portland estructural advanced por ceniza volante con porcentajes de un 10%, 15%, 20%, 25% y 30% rebajando significativamente el uso y consumo del cemento Portland estructural advanced.

## **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Preguntas para darle dirección a la investigación y un enfoque más claro.

- 1) ¿Con qué características cuentan los agregados gruesos, finos y la ceniza volante, que habrá de utilizarse en el análisis investigativo?
- 2) ¿Cuál será la dosificación que habrá de implementarse en función de experiencias de expertos y revisión bibliográfica para que mejore la trabajabilidad y resistencia mecánica?
- 3) ¿Qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según la resistencia a la comprensión?
- 4) ¿Qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según el comportamiento a flexión?
- 5) La mezcla con el porcentaje de sustitución óptimo, ¿reduciría los costos de fabricación de concreto hidráulico en San Pedro Sula, Honduras 2023?

## **2.5. OBJETIVOS**

Al tener clara la problemática y los precedentes de dicha investigación, se define el propósito de estudio en donde el objetivo general plantea la idea principal del proyecto y de igual forma se brindan a detalle los objetivos específicos.

### **2.5.1. OBJETIVO GENERAL**

A continuación, describimos el objetivo general para el proyecto de investigación del tema antes descrito.

Analizar el comportamiento físico y mecánico del concreto hidráulico haciendo sustitución porcentual del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante apoyándose de la norma ASTM C-618, ASTM C-78 y ASTM C-39 identificando el posible beneficio que pueda aportar a la fabricación del concreto hidráulico.

### **2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Considerando el objetivo general, partimos de la idea desglosando de manera más precisa el propósito de esta investigación.

- 1) Identificar las características con las cuentan los agregados gruesos, finos y la ceniza volante, que habrá de utilizarse en el análisis investigativo.
- 2) Analizar la dosificación óptima que habrá de implementarse en función de experiencias de expertos y revisión bibliográfica para que mejore la trabajabilidad y resistencia mecánica.
- 3) Determinar las características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según la resistencia a la compresión.
- 4) Determinar las características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según el comportamiento a flexión.
- 5) Comparar los precios entre el concreto hidráulico de control contra el concreto con la sustitución de la ceniza volante óptima en San Pedro Sula, Honduras 2023.

### **III. MARCO TEÓRICO**

El enfoque de este estudio es un análisis comparativo del uso de cenizas volantes en lugar de cemento Portland estructural advanced para hormigón hidráulico en San Pedro Sula, Honduras.

El presente documento se centra en las características que envuelven y sustentan el tema de fabricación de concreto hidráulico con ceniza volante en San Pedro Sula. Dentro del marco teórico se explicará todos aquellos fundamentos que sustente la investigación que se lleva a cabo en el presente periodo académico correspondiente a Q1-2023.

#### **3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Comprender la metodología y los resultados que se presentarán en las siguientes secciones del documento depende de la comprensión de la problemática que se presenta en cuanto al tema de investigación. El papel del marco teórico es explicar cómo estas variables impactan en el desarrollo del concreto y en el desempeño que puede entregar.

Teniendo en cuenta los objetivos previamente definidos en la investigación, se denotará todas aquellas investigaciones o fuentes informativas que ayuden a tener una mejor comprensión de lo que se pretende lograr en el presente documento, dentro de la sección de situación actual se presentan los análisis de macro entorno en el cual se extraerá información de metodologías aplicadas en otros países para llevar a cabo una investigación afín a la propuesta empleada y que se pueda aplicar teniendo como base los parámetros iniciales definidos, y con respecto al micro entorno se presentará toda aquella información que se esté presente de la ciudad de San Pedro Sula o del país hondureño como tal en cuanto a la ceniza volante con la que se cuenta.

##### **3.1.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO**

Con el fin de exteriorizar el análisis se recolectó información de investigaciones realizadas en países en el extranjero, del cual se detallarán los procesos o metodologías utilizadas en dichos estudios para poder comprender de una mejor manera el proceso a emplear en la presente investigación, a continuación, se explicarán cada uno de los factores considerados de las siguientes investigaciones:



### 3.1.1.1. *Análisis a compresión del concreto con adición de ceniza volante*

Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017 et al. (2017) llevo a cabo una investigación en Colombia el cual mencionan que el proyecto presentaba como objetivo general el analizar el comportamiento de las cenizas volantes en muestras de hormigón sustituyendo el material por una parte del cemento.

Cabe destacar que es un subproducto de la combustión del carbón utilizado en las centrales térmicas, tiene propiedades bituminosas y contiene partículas esféricas muy finas que permiten que el diseño cumpla con la creación de una mezcla homogénea y, en definitiva, la producción de hormigón, en este análisis se utilizaron cenizas de la central termoeléctrica TERMOPAIPA, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Paipa en Boyacá. (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017 et al. (2017) afirma que, en base al objetivo definido, se presentó una metodología para poder llevar a cabo la investigación el cual consistía en cuatro etapas, del cual se destaca la siguiente información:

**Etapas I:** "El proyecto inicia con una investigación primaria en la que se recopila información sobre el tema, se recopilan datos de las centrales termoeléctricas del país, se hace una revisión del estado de las cenizas volantes y su uso como aditivo a las mezclas de concreto hidráulico; es decir, se selecciona la central termoeléctrica de Paipa Boyacá". (pág. 26)

**Etapas II:** "Una vez que se encuentra con la muestra de cenizas volantes, se procede al laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá D.C. para diseñar la mezcla y fundir los cilindros con los porcentajes requeridos". (pág. 26)

**Tabla 1 - Normas NTC usadas para la elaboración del proyecto**

<b>Tipo de norma</b>	<b>Título de la norma</b>
NTC 3459	Calidad del agua para concretos
NTC 673	Resistencia a la compresión
NTC 550	Elaboración de probetas cilindros de concreto
NTC 504	Refrentado de especímenes de cilindros de concreto

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

Y las muestras se distribuyeron de la siguiente manera:

- 1) Probetas cilíndricas con 0% de ceniza volante.
- 2) Probetas con cemento + 10% de ceniza volante.

- 3) Probetas con cemento + 20% de ceniza volante.
- 4) Probetas con cemento + 25% de ceniza volante.
- 5) Probetas con cemento + 30% de ceniza volante.

**Etapa III:** A partir de la fecha de colada de las probetas se inicia el cómputo de los días de falla (7, 28, 56,72 días), respectivamente, cilindro y testigo para cada porcentaje. (pág. 26)

**Etapa IV:** Una vez finalizadas las pruebas de laboratorio y recogida la información, se inició la preparación del análisis con los informes experimentales que describían los efectos de incluir cenizas volantes en el hormigón hidráulico. (pág. 26)

Una vez definida la metodología de estudio que se llevaría a cabo, se presentó las cantidades de mezcla para el concreto el cual estaba detallado de la siguiente manera:

**Tabla 2 - Cantidades para la mezcla de concreto**

Material	Masa [kg] 1 cilindro	Masa [kg] 10 Cilindro	Masa [kg] 40 Cilindro
Cemento	0.58	5.8	23.2
Grava	2.19	21.9	87.6
Arena	1.689	16.89	67.56
Agua	0.336	3.36	13.44
Total	4.795	47.95	191.8

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

**Tabla 3 - Reemplazo de cemento por ceniza volante**

Porcentaje [%]	Masa [kg] cemento	Masa [kg] volante
0	0.58	0
10%	0.522	0.058
20%	0.464	0.116
25%	0.435	0.145
30%	0.406	0.174

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

Del cual, a los 28 días, obtuvieron los siguientes resultados de falla:

CILINDRO	D1(Cm)	D2(Cm)	D3(Cm)	D(Cm)	h(Cm)	PESO(Kg)	AREA
Convencional	10,04	10,08	10,09	10,070	20,12	3,76	79,643
Testigo Conv.	10,19	10,22	10,16	10,190	20,21	3,84	81,553
10%	10,04	10,06	10,08	10,060	20,34	3,72	79,485
Testigo10%	10,05	10,16	10,09	10,100	20,45	3,82	80,118
20%	10,12	10,12	10,11	10,117	20,36	3,76	80,383
Testigo 20%	10,06	10,11	10,03	10,067	20,38	3,68	79,591
25%	10,17	10,10	10,14	10,137	20,27	3,76	80,701
Testigo 25%	10,15	10,18	10,21	10,180	20,42	3,76	81,393
30%	10,19	10,20	10,26	10,217	20,11	3,70	81,980
Testigo 30%	10,05	10,14	10,17	10,120	20,46	3,78	80,436

### **Ilustración 1 - Medidas de los primeros cilindros expuestos a compresión**

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

Una vez recolectado la información de todos los ensayos que Agudelo Moreno & Espinosa Torres et al. (2017) mencionan lo siguiente:

“Para las mezclas estándar se obtuvo, para edad de 7 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 1927,271 Psi y 2319,08 psi, como promedio de las dos resistencias 2123,18 psi; para edades de 28 días se obtuvo: 3634,63 psi y 3549,53 psi, como promedio de las dos resistencias 3592,08 psi; para edades de 56 días se obtuvo: 4013,04 psi y 4454,78 psi, como promedio de las dos resistencias 4233,91 psi; para edades de 76 días se obtuvo: 5027,89 psi y 4881,69 psi como promedio de las dos resistencias 4954,79 psi”. (pág. 75)

“Para las mezclas de 10% de remplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 7 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 1931,05 psi y 2192,44 psi, como promedio de las dos resistencias 2061,746 psi; para edades de 28 días se obtuvo: 3476,321 psi y 3284,74 psi, como promedio de las dos resistencias 3380,46 psi; para edades de 56 días se obtuvo: 3572,87 psi y 3874,75 psi, como promedio de las dos resistencias 3723,80 psi; para edades de 76 días se obtuvo: 3777,30 psi y 3854,54 psi como promedio de las dos resistencias 4954,79 psi”. (pág. 75)

“Para las mezclas de 25% de remplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 7 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 1406,15 psi y

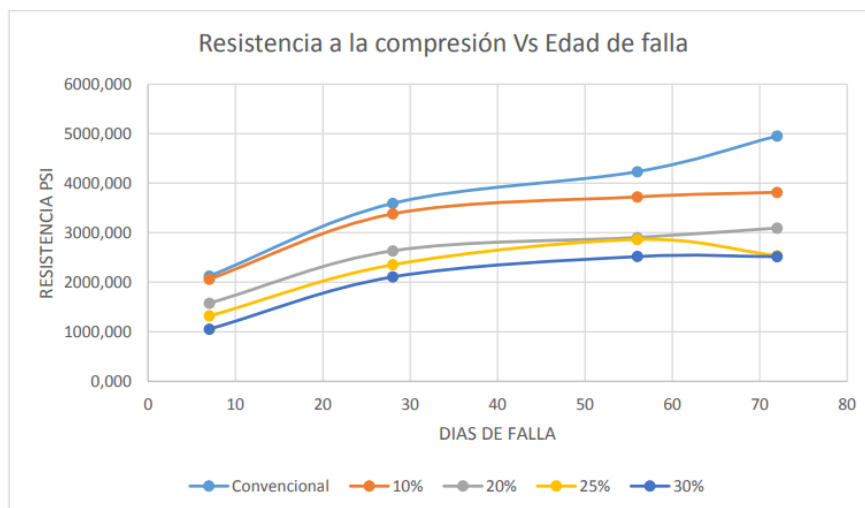
1230,10 psi, como promedio de las dos resistencias 1318,13 psi; para edades de 28 días se obtuvo: 2119,58 psi y 2586,55 psi, como promedio de las dos resistencias 2353,06 psi; para edades de 56 días se obtuvo: 2811,44 psi y 2915,595 psi, como promedio de las dos resistencias 2863,52 psi; para edades de 76 días se obtuvo: 2766,30 psi y 2308,36 psi como promedio de las dos resistencias 2537,33 psi". (pág. 75)

Para las mezclas de 30% de remplazo de ceniza volante por cemento se obtuvo, para edad de 7 días, los siguientes valores de resistencia a la compresión: 1055,62 psi y 1050,8 psi, como promedio de las dos resistencias 1053,20 psi; para edades de 28 días se obtuvo: 1926,01 psi y 2290,15 psi, como promedio de las dos resistencias 2108,08 psi; para edades de 56 días se obtuvo: 2488,03 psi y 2550,24 psi, como promedio de las dos resistencias 2519,13 psi; para edades de 76 días se obtuvo: 2465,08 psi y 2571,37 psi como promedio de las dos resistencias 2518,228 psi". (pág. 75)

CILINDRO / DIAS	7	28	56	72
Convencional	2123,177	3592,080	4233,913	4954,795
10%	2061,746	3380,465	3723,808	3815,921
20%	1575,650	2632,893	2902,270	3093,312
25%	1318,127	2353,065	2863,518	2537,328
30%	1053,203	2108,081	2519,135	2518,228

### Ilustración 2 - Medidas respectivas de los primeros cilindros expuestos a compresión

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)



### Ilustración 3 - Análisis de los cilindros a la compresión

Fuente: (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

### **Conclusiones relevantes:**

- 1) "Una vez realizado el estudio se observó que en las muestras falladas a los 72 días no se encontró un incremento en la resistencia a la compresión con respecto a las muestras falladas a los 56 días, por lo tanto, se determina que el tiempo máximo de generación de resistencia en los cilindros adicionados con ceniza volante, para este caso es de 56 días". (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)
- 2) "Se determinó que la mezcla de concreto con adición de ceniza volante, que más se aproxima a los resultados obtenidos con la mezcla patrón, corresponde al diseño de mezcla con un porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante del 10%". (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)
- 3) "La norma NTC 3493 y ASTM C 618-91, específica que el porcentaje de inquemados máximos admisibles para el uso de las cenizas volantes como adición en el concreto es del 6 %. Por ende, las cenizas de TERMOPAIPA no cumplen debido a que sobrepasa el porcentaje estipulado y llega al 12%". (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017).

#### 3.1.1.2. *Efecto de la ceniza volante en la permeabilidad del concreto*

La investigación se llevó a cabo en Lima, Perú; el cual se presentó una investigación titulada como "Sustitución de cemento por ceniza volante y su efecto en la permeabilidad del concreto 280 kg/cm<sup>2</sup> para estructuras hidráulicas, Lima – 2020" teniendo como autores (Chuquiharaca Concha & Crisóstomo Paucar et al. (2020)

La investigación se basó en una metodología experimental, en la cual se realizaron en laboratorios los diversos ensayos requeridos por el estudio, llegando a la conclusión de que las dos series de cemento utilizadas por m<sup>3</sup>, los correspondientes ensayos realizados, son las dos escalas presentadas con la norma mezcla. Con el uso de un aditivo superfluidificador de policarboxilato en la escala A y un superfluidificador de naftalina en la escala B, todo esto da como resultado valores de 29% de cenizas volantes reemplazando una cantidad importante de cemento, logrando un índice 29% mayor en la escala B de resistencia usando una mezcla de referencias teniendo como sustento la investigación realizada por Valdez et al. (2007, pág. 56).

Chuquiharaca Concha & Crisóstomo Paucar et al. (2020) mencionan que los agregados se usan con frecuencia en las mezclas de concreto y se pueden encontrar en formas finas y

gruesas. Estos materiales tienen una variedad de tamaños de partículas, que van desde milímetros muy pequeños hasta milímetros muy grandes, pero el tamaño que se usa típicamente en el hormigón es variable y el volumen de cada tamaño de partícula se determina por granulometría según (Neville, 1999)

Para comprender y poder verificar cada componente de los agregados finos y gruesos, el desarrollo granulométrico de los agregados es crucial en todo trabajo de aplicación e investigación. Esto se debe al hecho de que los componentes más pequeños del tamiz de #600 tienen un impacto en la facilidad con la que se puede moldear la mezcla de hormigón. (Neville, 1999)

De acuerdo con lo previamente mencionado, Chuquihuaraca Concha & Crisóstomo Paucar et al. (2020) denotan que los requisitos de granulometría para agregado fino por parte de la normativa ASTM 33, es la que se muestra en la Ilustración 4.

BS	ASTM No.	Granulometría total	Granulometría gruesa	Granulometría media	Granulometría fina	ASTM C 33-93
10.0 mm	⅜*	100				100
5.0 mm	⅜*	89-100				95-100
2.36 mm	8	60-100	60-100	65-100	80-100	80-100
1.18 mm	16	30-100	30-90	45-100	70-100	50-85
600 μm	30	15-100	15-54	25-80	55-100	25-60
300 μm	50	5-70	5-40	5-48	5-70	10-30
150 μm	100	0-15*				2-10

**Ilustración 4 - Requisitos para agregado fino de la norma ASTM C33**

Fuente: (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

El método de estudio definido por Chuquihuaraca Concha & Crisóstomo Paucar et al. (2020) fue un enfoque cuantitativo que utilizó un proceso secuencial, partiendo de una idea de estudio delimitada, donde posteriormente se generaron objetivos y preguntas de investigación, generando un marco teórico o perspectiva; Para analizar los objetivos y las preguntas que las posibles respuestas al fenómeno fueron casi siempre las hipótesis, se generó un diseño de investigación que ayude a orientar el plan para probarlo con el fin de obtener resultados utilizando instrumentos de medición.

Una vez definido el método de estudio se definió las tablas de operacionalización de la variable independiente y de la variable dependiente, tal y como se muestra en la Ilustración 5 e Ilustración 6.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidades
<b>Variable independiente:</b> Ceniza volante	Fly Ash es un producto o material de naturaleza fina que se obtiene de la incineración de carbono en centrales térmicas como fuente de energía y calor. Además, la composición dependerá de la clase de carbón, su lugar de procedencia y tipo de proceso de combustión (Polonská et al, 2019, p. 268).	"La CV es el material cementoso más utilizado en la producción de hormigón, ya que mejora la durabilidad y sostenibilidad sin aumentar su costo" (Kaladharan, Vayghan y Rajabipour, 2019, p. 113). En esta investigación se sustituye en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15% de la cantidad total de cemento en relación a/c 0.47 y 0.5	Composición química y física	Composición química y física de ceniza volante	Norma ASTM C - 618 (Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete). Espectroscopia de fluorescencia de rayos X	(%)
				Composición química y física de cemento portland	Especificaciones técnicas de cemento Portland Tipo I (Cemento Andino)	(%)
			Dosificación de concreto 280 kg/cm <sup>2</sup> en relación a/c = 0.47 y 0.5	Agregado grueso y fino	Norma ASTM C - 136 (Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)	Und
				Diseño de mezcla	Método ACI 211.1	Und
	Resistencia a compresión	ASTM C-39/ NTP 339.034-11	kg/cm <sup>2</sup>			

**Ilustración 5 - Operacionalización de variable independiente**

Fuente: (Chuquiwaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidades
<b>Variable dependiente:</b> Permeabilidad	Según Moreno (2015), define "la permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitir que un flujo lo atraviese sin alterar su estructura interna" (p. 9).	La penetrabilidad de agua en el concreto influye la temperatura, relación a/c y porcentaje de vacíos, además está relacionada con la duración del concreto, se mitiga reduciendo la permeabilidad disminuyendo la filtración de agua en la red de poros, con uso de materiales impermeabilizantes (Valintini, 2018, p. 4275).	Espacios vacíos o porosidad	Volumen de vacíos	Norma ASTM C 642 - 97 (Density, absorption, and voids in hardened concrete) NTP 339.187 (%)	(%)
				Densidad	Norma ASTM C 642 - 97 (Density, absorption, and voids in hardened concrete) NTP 339.187	(g/cm <sup>3</sup> )
			Absorción	Velocidad de absorción	NORMA ASTM C 1585 -04 (Measurement of rate of absorption of water hydraulic cement concretes) NTP 334.089	(mm/s <sup>1/2</sup> )
				Absorción por capilaridad	NORMA ASTM C 1585 -04 (Measurement of rate of absorption of water hydraulic cement concretes) NTP 334.089	(mm)
			Permeabilidad bajo presión de agua	Coefficiente de permeabilidad	NTC 4483 Ensayo de permeabilidad	(m/s)
				Profundidad de penetración	NTC 4483 Ensayo de permeabilidad	(mm)

**Ilustración 6 - Operacionalización de variable dependiente**

Fuente: (Chuquiwaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

De igual forma, con las variables de investigación ya establecidas, se designó el trabajo como de enfoque cuantitativo, lo que les permitió obtener datos numéricos sobre ensayos de materiales en un laboratorio de acuerdo con los protocolos o normas. Se obtienen datos sobre

la composición química y física de ceniza para la variable independiente. El CV debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C-618 para ser utilizado como material puzolánico y sustituto del cemento portland tipo I, según la norma ASTM C 136, que es para el análisis granulométrico de material granular (piedra triturada y arena gruesa). Diseño de mezcla compatible con ACI 211.1. (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

Inician los resultados extrayendo información de la composición química del cemento portland tipo I y la ceniza volante el cual eran la materia a estudiar para cada una de las iteraciones que se realizaron en la investigación, en el documento mencionan que Las cenizas volantes tienen una composición química que es aceptable para su uso en concreto y cae dentro de la definición de puzolana (ver Tabla 4). Para el análisis se comprobó que se fabricaron una variedad de elementos, entre ellos SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que sirven de soporte a la resistencia mediante el uso de aluminato tricálcico, o sílice, que contribuye como material cementante para aumentar la resistencia del concreto. (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

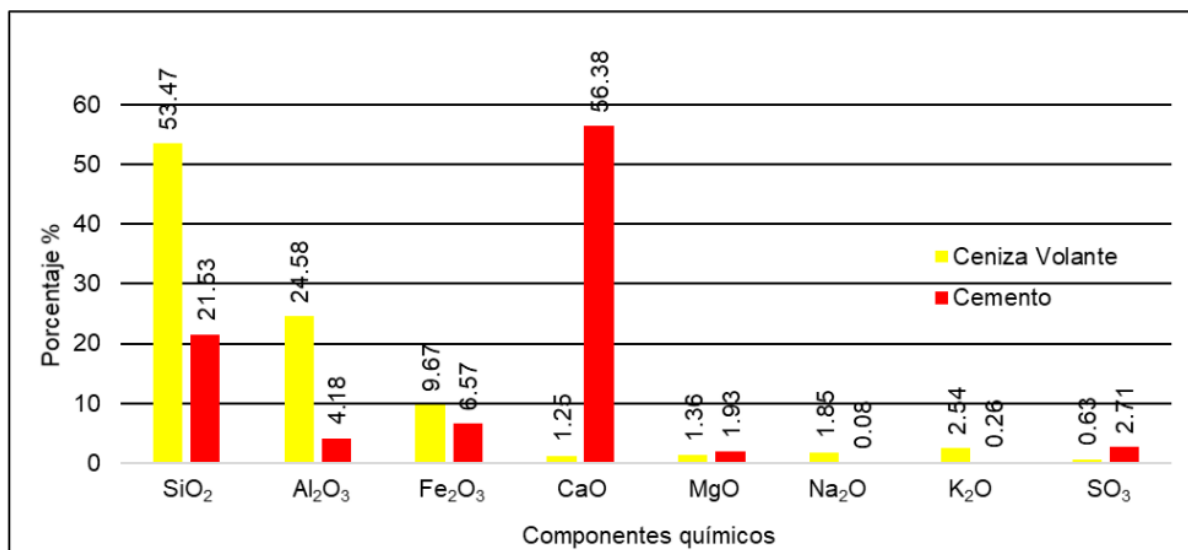
**Tabla 4 - Composición química de cemento y ceniza volante y propiedades físicas**

<b>Composición química</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Cemento Andino (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	53.47	21.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.58	4.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.67	6.57
CaO	1.25	56.38
MgO	1.36	1.93
Na <sub>2</sub> O	1.85	0.08
K <sub>2</sub> O	2.54	0.26
SO <sub>3</sub>	0.63	2.71
<b>Propiedades físicas</b>		
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.92	2.15
Tamaño de partícula (µm)	20.67	19.78

Fuente: (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

Los tres componentes SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con mayores diferencias en la comparación de los componentes del cemento y las cenizas volantes mediante barras, donde se detalla la cantidad en porcentaje de cada componente, son también los que contribuyen a las propiedades mecánicas del hormigón y dan como resultado un tiempo de fraguado más largo. (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)





**Ilustración 7 - Componentes químicos de cemento vs ceniza volante**

Fuente: (Chuquiharaca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

De acuerdo con Chuquiharaca Concha & Crisóstomo Paucar et al. (2020) el diseño de la mezcla se realizó de acuerdo con la norma ACI 211, la cual se desarrolló con respecto a unas tablas de referencia para determinar los valores necesarios en el diseño. El primero es tener las características de agregado grueso y fino que se obtienen del laboratorio. Los datos recopilados en el laboratorio después de la prueba de agregados se muestran en detalle en la Tabla 5.

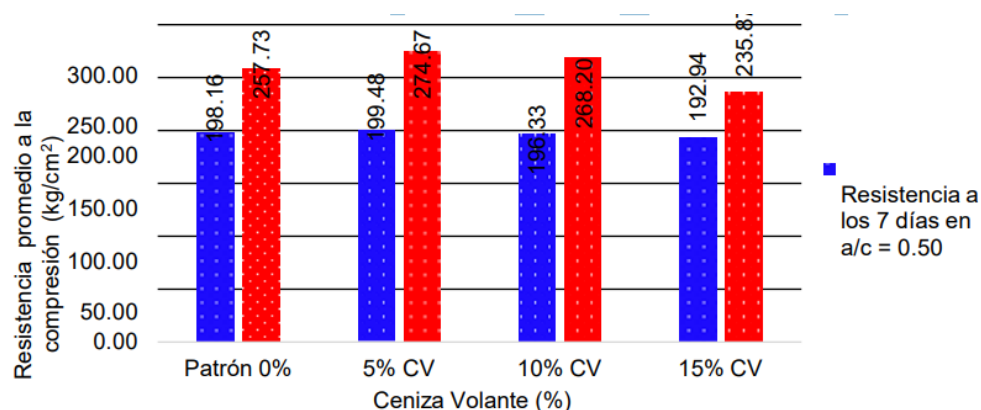
**Tabla 5 - Características de los agregados**

Características de los agregados			
	Agregado fino	Agregado grueso	Cemento andino tipo I
Peso (seco) unitario suelto [kg/m <sup>3</sup> ]	1471	1486	
Peso (seco) unitario compactado [kg/m <sup>3</sup> ]	1791	1622	
Módulo de finura	2.94	6.82	
Tamaño máximo nominal (TMN)		3/4"	
Absorción (%)	1	1.5	
Contenido de humedad (%)	2.5	1.7	
Peso específico [g/cm <sup>3</sup> ]	2.64	2.67	

Fuente: (Chuquiharaca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

Una vez definida la dosificación por (Chuquiharaca Concha & Crisostomo Paucar, 2020), muestra cada uno de los índices de sustitución de cemento en las muestras, se denota los resultados de compresión promedio en una relación a/c de 0.5, el cual la barra de color rojo

representa un 5 % de sustitución en la mezcla, el cual muestra un mayor  $f_c$  respecto a la muestra de referencia de 16.94 kg/cm<sup>2</sup>.



**Ilustración 8 - Variación en % de  $f_c$  promedio (kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 y 28 días.**

Fuente: (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

Obteniendo los resultados de resistencia promedio en las iteraciones con sustitución de ceniza volátil, luego realizaron ensayos de laboratorio para poder obtener resultados de las características a analizar, en la tabla a continuación, se muestran las propiedades que (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020) analizaron en probeta con una relación  $a/c = 0.47$  y  $0.50$  en diferentes condiciones como inmersión y ebullición, las cuales generan alcance para determinar el volumen de poros permeables mostrados, llegando a disminuir el porcentaje de poros al agregar ceniza volante.

Propiedades	Patrón	a/c = 0.47			a/c = 0.5			
		5%	10%	15%	Patrón	5%	10%	15%
Absorción después de la inmersión (%)	0.83	0.72	0.72	0.73	1.07	0.98	0.87	0.93
Absorción después de la inmersión y ebullición (%)	0.63	0.59	0.59	0.59	1.00	0.83	0.80	0.69
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.29	2.35	2.32	2.30	2.34	2.33	2.35	2.34
Densidad aparente después de la inmersión (g/cm <sup>3</sup> )	2.30	2.37	2.34	2.32	2.36	2.35	2.37	2.36
Densidad aparente después de la inmersión y la ebullición (g/cm <sup>3</sup> )	2.30	2.37	2.34	2.31	2.36	2.35	2.36	2.36
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.32	2.33	2.35	2.39	2.375	2.378	2.391	2.392
Volumen de poros permeables (%)	1.44	1.38	1.37	1.36	2.33	1.93	1.88	1.61

**Ilustración 9 - Densidad y Porosidad a los 28 días relación  $a/c = 0.47$  y  $0.50$**

Fuente: (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020)

En resumen, con los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020) llegaron a las siguientes conclusiones, a continuación, se enlistan las conclusiones más relevantes de la investigación:

- 1) El documento señala que se descubrió que el efecto de reemplazar el cemento por cenizas volantes del concreto de 280 [kg/cm<sup>2</sup>] genera una disminución de la permeabilidad después de 28 días, donde el porcentaje de porosidad o vacíos (porcentaje), la absorción capilar [mm], y permeabilidad bajo presión de agua [mm], obteniendo mayor relevancia en la sustitución del 10% de cenizas volantes, sin disminuir la resistencia a compresión del concreto. (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020, pág. 90)
- 2) Además, (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020) afirman que de acuerdo a los resultados de la prueba de porosidad o vacíos para un concreto con relación a/c = 0.47, se encontró que, al reemplazar el cemento por cenizas volantes, se nota una disminución de la porosidad en todas las sustituciones, cuanto mayor es la ceniza, cuanto menor sea el vacío. Dado que la resistencia a la compresión del hormigón estándar no cambia, se pueden lograr mejores resultados sustituyendo el 5 % y el 10 % del 1,44 % por el 1,38 % y el 1,37 %, respectivamente, en lugar del estándar. Resultados similares se obtienen para hormigones con una relación a/c = 0,50, lo que da como resultado una reducción de la porosidad del 0,45 por ciento para una sustitución del 10% con respecto al patrón sin afectar la f'c. (pág. 90)
- 3) En cuanto a los resultados de absorción obtenidos (Chuquihuaraca Concha & Crisostomo Paucar, 2020) concluyen que los resultados de absorción capilar del concreto en relación a w/c = 0.47, se encontró que todas las proporciones sustituidas redujeron la profundidad de absorción capilar a 0.9 mm, arrojando resultados en concreto estándar de 2.93 [mm], el 10% de sustitución disminuyó a 2.37 mm sin reducir la resistencia a la compresión, y el 15% de sustitución disminuyó a 2,00 [mm]. Sin embargo, debido a que tiene una relación a/c superior a 280 kg/cm<sup>2</sup>, el hormigón con una relación a/c = 0,50 exhibe una mayor absorción capilar que el hormigón estándar de 6,07 [mm]. Sin embargo, los porcentajes utilizados para calcular la medida la reducen significativamente del 15 por ciento de cenizas volantes a 2,10 [mm]. (pág. 90)

### 3.1.1.3. *Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante*

Debido que la actual propuesta de investigación se basa en la fabricación de concreto hidráulico con sustitución parcial de ceniza volante, se presenta la investigación que llevo a cabo (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007), el cual hace mención que si se va a producir concreto con una baja relación agua/cemento (A/CM) y se requiere un revenimiento de al menos 150 mm, se debe usar un aditivo superfluidizante. Se pueden obtener dos beneficios diferentes con un superfluidizador: el primero es reducir la relación A/CM para producir un concreto con una consistencia fluida, al mismo tiempo que se reduce el contenido de PC de la mezcla. Como otra ventaja desde el punto de vista ecológico, contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, gracias a un menor consumo de PC para conseguir la misma resistencia mecánica.

Para los ensayos de la mezcla de concreto con ceniza volante (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007) mencionan que la investigación tenía como objetivo fue estudiar dos series de concreto con consumo constante de CP, 100 kg/m<sup>3</sup> para la serie A y 150 kg/m<sup>3</sup> para la serie B. Para cada serie se estudiaron seis mezclas de concreto, una mezcla estándar y cinco mezclas con 30%, 60 %, 90%, 120% y 150% FA en relación con la masa de CP. Se utiliza la siguiente nomenclatura para identificar cada uno de los seis compuestos de cada serie: R, FA30, FA60, FA90, FA120 y FA150. Para cada serie, las muestras se identifican con letras y números. La primera letra indica el rango de mezcla A o B. En las mezclas AR y BR, la letra R indica que se trata de una mezcla de referencia. En otras mezclas, la FA indica que se ha agregado ceniza volante y los números indican el porcentaje de FA agregado entre 30 % y 150 %. Haga una mezcla de prueba para determinar la cantidad de agua necesaria para lograr una consistencia DIN de 55 ± 2 cm. La relación agua/cemento (A/C) para las mezclas AR y BR fue de 1.8 y 1.3, respectivamente. Para lograr la misma consistencia en las mezclas que contienen AG, se agregan aditivos superfluidos.

Una vez definido la dosificación a utilizar en cada una de las iteraciones definidas, (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007) presentaron El carbón bituminoso producido en la central eléctrica a carbón de Nava, Coahuila, sirvió como material cementante FA tipo F y como material cementante CP tipo I, los cuales se adhieren a las normas ASTM C 150. La ilustración 10 y 11, respectivamente, presentan los análisis químicos y las propiedades físicas. En el diseño

experimental se consideraron diferentes aditivos superfluidificantes para cada serie con el fin de determinar la dosificación necesaria para la consistencia especificada.

Elemento	CP	FA
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	19.28	60.42
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.03	27.28
Oxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.79	4.07
Oxido de calcio (CaO)	64.31	2.47
Oxido de Magnesio (MgO)	1.68	0.91
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	3.07	0.34
Oxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	0.23	0.62
Oxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	0.95	1.11
Oxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	0.22	1.09
Oxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.09	0.09
Oxido de manganeso (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.04	0.02
Pérdida por ignición 950°C	3.24	1.0
Suma	<b>99.93</b>	<b>99.42</b>
Na <sub>2</sub> O eq.	<b>0.86</b>	<b>1.35</b>
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>26.1</b>	<b>91.77</b>

#### Ilustración 10 - Composición química del cemento Pórtland y ceniza volante

Fuente: (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

Cemento Pórtland	
Área Superficial, Blaine, m <sup>2</sup> /kg	399
Fineza, % que pasa la malla 45 µm	92
Densidad	3.10
Ceniza Volante	
Fineza, % que pasa la malla 45 µm	65
BET, Área Superficial, m <sup>2</sup> /g	3.2
	2.38

#### Ilustración 11 - Propiedades físicas del cemento Pórtland y la ceniza volante

Fuente: (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

Para la serie A (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007) que para la serie A se utilizó un aditivo superfluidificante de densidad 1,07, mientras que para la serie B se utilizó un aditivo superfluidificante de densidad 1,10. El porcentaje másico de agua en ambos aditivos es del 75%. El material utilizado fue un tipo de árido calizo común en el área metropolitana de Monterrey. El agregado grueso tiene una densidad de 2,83 y una absorción de 0,41%, mientras que el agregado fino tiene una densidad de 2,63 y una absorción de 1,59%. Se decidió resolver este inconveniente manteniendo siempre una graduación uniforme para cada una de las

mezclas debido a que la consistencia era el principal aspecto por controlar en la producción de las mezclas en ambos hormigones y asegurar que no hubiera cambios en la misma por variaciones granulométricas. Se llevó a cabo la separación de los agregados en sus fracciones de varios tamaños. En la Ilustración 12 se pueden ver las distribuciones granulométricas que se aplicaron a ambas series.

Agregado fino		Agregado grueso	
Malla	% que pasa	Malla	% que pasa
3/8"	100	1 1/2"	100
#4	98	1"	100
#8	90	3/4"	95
#16	68	1/2"	56
#30	43	3/8"	38
#50	20	#4	5
#100	6	#8	3

**Ilustración 12 - Granulometría de agregados fino y grueso**

Fuente: (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

Las relaciones A/C, A/ (C FA) y A/CM que corresponden a las proporciones de todas las mezclas. La ilustración 13 muestra información para ambas series, cada uno de los criterios que se llevan a cabo en la investigación, como lo son ingredientes.

Serie A						
Ingrediente	Mezcla					
	AR	AFA30	AFA60	AFA90	AFA120	AFA150
Agua, kg/m <sup>3</sup>	96	97	99	97	97	96
Cemento, kg/m <sup>3</sup>	99	100	101	100	99	100
Ceniza volante, kg/m <sup>3</sup>	0	30	60	90	119	150
PSP, L/m <sup>3</sup>	11	7	8	11	11	12
Ag. Grueso, kg/m <sup>3</sup>	932	946	953	951	944	946
Ag. Fino, kg/m <sup>3</sup>	1313	1300	1272	1228	1184	1145
A/C	1.07	1.01	1.06	1.07	1.08	1.07
A/(C + FA)	1.07	0.78	0.66	0.56	0.49	0.43
Serie B						
Ingrediente	Mezcla					
	BR	BFA30	BFA60	BFA90	BFA120	BFA150
Agua, kg/m <sup>3</sup>	123	121	117	115	112	87
Cemento, kg/m <sup>3</sup>	154	155	154	154	153	150
Ceniza volante, kg/m <sup>3</sup>	0	46	93	139	184	225
NSP, L/m <sup>3</sup>	7	9	11	13	20	45
Ag. Grueso, kg/m <sup>3</sup>	994	991	999	1005	1010	1044
Ag. Fino, kg/m <sup>3</sup>	1211	1152	1100	1035	978	903
A/C	0.83	0.83	0.83	0.82	0.84	0.83
A/(C + FA)	0.83	0.64	0.51	0.43	0.38	0.33

**Ilustración 13 - Proporciones del concreto para las mezclas**

Fuente: (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

### **Moldeo y curado de especímenes**

En la investigación se utiliza el método de ensayo ASTM C 192, el cual para cada edad establecida se produjeron tres probetas cilíndricas de dimensiones nominales de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para determinar la resistencia a compresión del concreto. Los resultados se muestran en la y la **Ilustración 15** para ambas series. (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

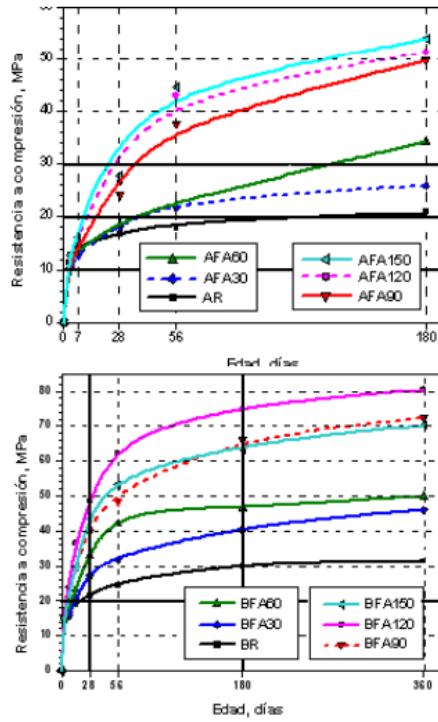
Se utilizó el método de ensayo ASTM C 157 para moldear y curar especímenes de hormigón prismático con dimensiones de 7,5 7,5 28,0 cm para medir la contracción por secado. Los resultados de la prueba se muestran en la **Ilustración 16**. (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

Mezcla	Resistencia a la compresión, MPa							Ganancia de resistencia % 28-180 días
	Serie A							
	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días	180 días	360 días	
AR	12.7	14.6	-----	16.8	17.8	20.8	-----	24
AFA30	10.3	12.6	-----	18.1	21.8	25.9	-----	43
AFA60	11.3	13.8	-----	18.6	22.2	34.2	-----	84
AFA90	11.5	14.0	-----	24.2	37.7	49.7	-----	105
AFA120	12.6	15.7	-----	26.4	42.9	51.2	-----	94
AFA150	12.7	16.2	-----	27.8	44.5	53.8	-----	94
Serie B								
BR	15.3	17.4	18.7	21.4	24.4	29.9	31.3	46
BFA30	15.8	15.9	20.4	27.2	31.8	40.3	46.1	69
BFA60	15.4	17.4	23.4	33.0	42.2	46.6	50.0	52
BFA90	15.1	20.9	29.4	39.9	48.4	66.1	72.3	81
BFA120	17.0	23.7	36.4	48.5	62.1	74.7	80.4	66
BFA150	15.0	20.7	29.8	43.4	53.2	63.3	70.3	62

**Ilustración 14 - Proporciones del concreto para las mezclas de las series A y B**

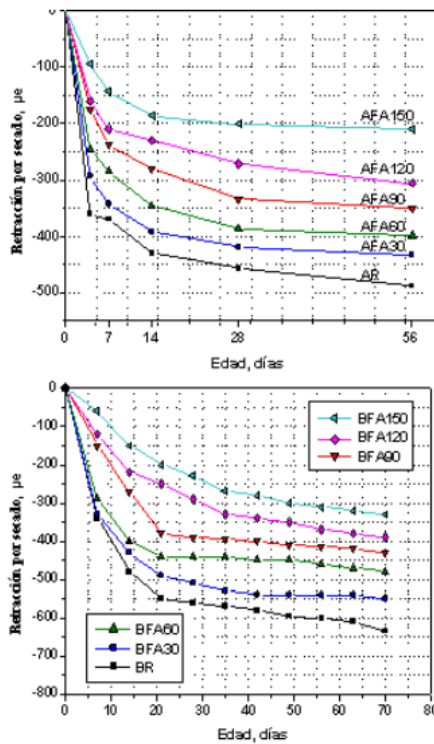
Fuente: (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007)

En la Ilustración 15 e Ilustración 16, se muestra el desarrollo de las resistencias que alcanzaron los ensayos a lo largo de la investigación, denotando un



**Ilustración 15 - Desarrollo de resistencia a la compresión para concretos**

Fuente: (Valdez Rodríguez, 2015)



**Ilustración 16 - Retracción por secado para concretos de las series A y B**

Fuente: (Valdez Rodríguez, 2015)



**Como conclusión relevante** (Juárez, Rivera, Durán, & Valdez, 2007) **mencionan las siguientes:**

Con HVFA y bajos contenidos de cemento Portland de 100 y 150 kg/m<sup>3</sup> de hormigón se logró una alta resistencia mecánica a la compresión; sin embargo, ambas dosis requirieron el uso de un aditivo superfluidificante. La adición de cenizas volantes da como resultado una relación agua/cemento baja, lo que permite que el concreto fluido con HVFA tenga menor contracción por secado y resistencia a la abrasión. Los resultados obtenidos fortalecen los argumentos técnicos y ecológicos para continuar apoyando el uso de concreto con HVFA.

### 3.1.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

La ceniza es uno de los aditivos cementicios más buscados por la industria global del concreto porque cumple con criterios fisicoquímicos que le permiten desarrollar propiedades aglutinantes cuando interactúa con el cemento Portland, lo que mejora el desempeño del concreto. en términos de usabilidad, desarrollo de resistencia y durabilidad, entre otros, y adicionalmente generando beneficios económicos y ambientales de la reutilización de los residuos más relevantes producidos por las centrales termoeléctricas, en línea con los principios de la economía circular. (Arbeláez, 2020)

(Ma-Tay Pinel, 2014) menciona que las cenizas volante mayor mente se obtiene de ingenios azucareros en la ciudad de San Pedro Sula. El Molino Santa Matilde, que tiene una capacidad de molienda de 12,000 toneladas diarias y está ubicado en San Pedro Sula, produjo la muestra de ceniza, con una capacidad de molienda diaria de 3,000 toneladas.

Pelman Osorio, Morales Ortiz, & Zavala Castellanos et al. (2018) mencionan que a situación socioeconómica actual del país y del mundo requiere con urgencia nuevos productos, así como nuevas tecnologías constructivas que mejoren exponencialmente las propiedades de los procesos y materiales constructivos.

Según Pelman Osorio, Morales Ortiz, & Zavala Castellanos et al. (2018) la industria del concreto implementa aditivos u otros materiales con mejores propiedades físicas en la mezcla para optimizar la calidad del producto de la planta. Lo que esperamos lograr con la adición de fibras plásticas es mejorar el desempeño del concreto cuando se trabaja en flexión

En la empresa Caracol Knits hacen referencia que la ceniza volante es un sub producto que es desperdicio, que únicamente la almacenan en un patio al aire libre, pero debido al espacio que este demanda se requiere botar dicha materia prima, actualmente se busca una alternativa de reutilización de dicho material, ya que para la empresa refleja un problema y presentan grandes cantidades de ceniza volante que pueden ser utilizadas para la fabricación de concreto hidráulica sustituyendo el cemento en la mezcla como tal.

### 3.1.3. ANÁLISIS INTERNO

La municipalidad de San Pedro Sula menciona que como parte de las especificaciones para "Ceniza Volante Usada como Aditivo en Concreto Cemento Pórtland" (ASTM C 350), el cual para el proyecto de pavimentación de la 27 S. E. en San Pedro Sula se utilizó un concreto con aditivo de ceniza volante.

El ingeniero Duarte et al. (2018) afirma que para la fabricación del concreto hidráulico se tomaron en cuenta los siguiente proporcionamientos.

- 1) Procedimientos: "Dentro de los parámetros predeterminados, el contratista elegirá las proporciones de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua que se utilizarán en la mezcla y someterá esas selecciones para la aprobación del Ingeniero Supervisor". (pág. 52)
- 2) Consistencia: "Si el concreto no se va a vibrar, la mezcla previamente determinada debe dar como resultado un hormigón trabajable con un revenimiento de 4 a 7 punto 5 cm, o de 1 punto 5 a 4 cm, si el hormigón se va a vibrar". (pág. 52)
- 3) Resistencia. "La resistencia promedio de la compresión, de la cual se obtenga los esfuerzos permisibles para el diseño de pasa juntas y tensores como se recomienda en la "Práctica Recomendada para el Diseño de Pavimentos de Concreto" (ACI 325), no será menor de 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, cuando los especímenes se moldeen y se ensayen de acuerdo con la sección Densidad y Absorción de Agregados". (pág. 52)
  - a) "Después de 28 días, la resistencia promedio a la flexión del concreto no debe ser inferior a 45 kg/cm<sup>2</sup>, según lo determinado por los ensayos de laboratorio mencionados en la sección Contenido de aire. El diseño del laboratorio se considerará adecuado si el promedio de cualquier grupo de cuatro ensayos consecutivos es igual o superior a 42 kg/cm<sup>2</sup>, y al menos el 80 % de todos los ensayos de resistencia a la flexión se realizan en especímenes moldeados según se

especifica y curados de acuerdo con las Secciones 7(a) y (b) de la norma ASTM C 31 arrojan resultados iguales o superiores a 42 kg/cm<sup>2</sup>". (pág. 52)

- b) "Se calculan cuatro factores de cemento antes de comenzar el trabajo para determinar la resistencia a los 7 y 28 días. Cuando las pruebas de 7 días muestren que esto es necesario, estas variables serán la base para ajustar las mezclas." (pág. 53)

El potencial de las cenizas de San Pedro Sula para actuar como puzolanas reactivas es muy alto. Las dos muestras muestran una desviación de la línea base entre 15 y 30 grados de 2 en los resultados de la prueba de difracción de rayos X, lo que sugiere la presencia de material amorfo en ambas cenizas. (Ma-Tay Pinel, 2014)

Las cenizas de bagazo de azúcar de San Pedro Sula de las centrales hondureñas son materiales con una puzolanidad muy importante, lo que permite utilizar dichas cenizas como reemplazo parcial del cemento Portland en morteros. (Ma-Tay Pinel, 2014)

Ma-Tay et al. (2014) menciona lo siguiente:

Para la resistencia mecánica se realizaron ensayos para determinar la resistencia a compresión axial de las probetas de mortero fabricadas. Para las medidas de la resistencia a compresión se centra cada probeta lateral y longitudinalmente con relación a los platos de la máquina. (Ma-Tay Pinel, 2014)

Para cada edad de curado se ensayaron 6 probetas. El valor de la resistencia a compresión es la media de las seis probetas ensayadas. La expresión utilizada para calcular la resistencia es la siguiente:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Donde:

R'<sub>c</sub>: es la resistencia a compresión en [N/mm<sup>2</sup>].

F'<sub>c</sub>: es la carga máxima de rotura en [N].

1600:40\*40 [mm] es la superficie de los platos o placas auxiliares.

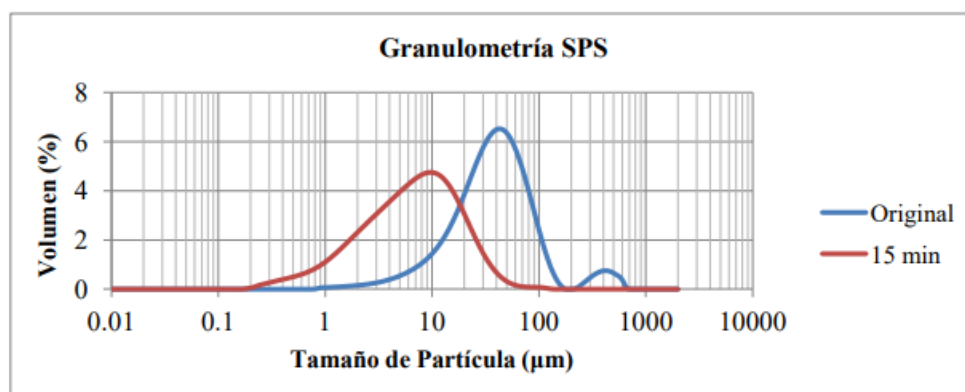
Los resultados de las granulometrías para cada muestra de ceniza en San Pedro Sula se muestran en la Tabla 6, además entre la Ilustración 17, se pueden apreciar la distribución granulométrica que muestra la ceniza volante extraída del ingeniero azucarero Santa Matilde.

**Tabla 6 - Resumen Resultados de Granulometría**

Tiempo	Diámetro de partículas
	San Pedro Sula
0 minutos	62.269
5 minutos	18.845
10 minutos	12.17
15 minutos	10.378
20 minutos	8.265
25 minutos	8.443
30 minutos	6.914
35 minutos	-----
40 minutos	-----
45 minutos	-----
50 minutos	-----
55 minutos	-----
60 minutos	-----

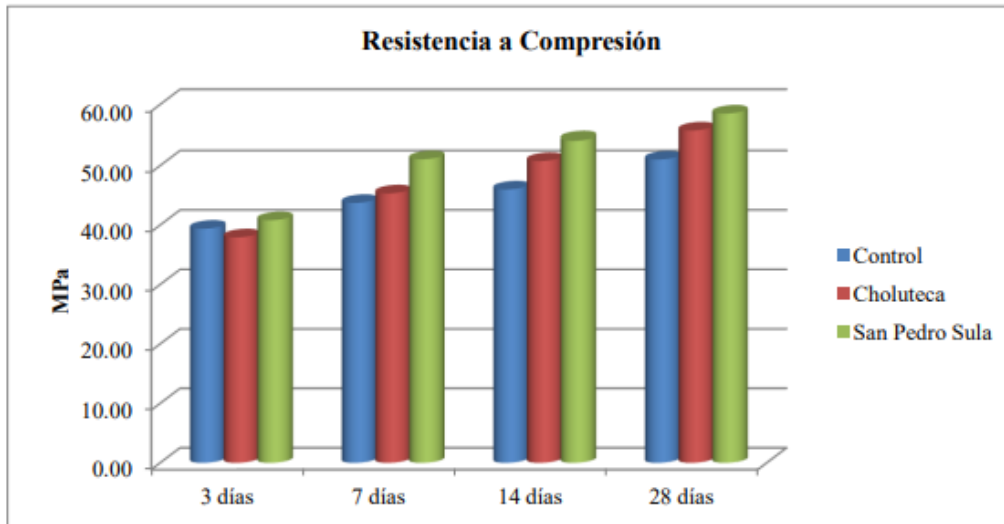
Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)

Para la resistencia mecánica Ma-Tay et al. (2014) menciona que se produjeron 48 probetas para cada tipo de mortero, totalizando 144 probetas de mortero de 4x4x4 cm. Se utilizó una cámara húmeda a 20°C para el curado de la mitad de las probetas y un baño térmico a 40°C para el curado de la otra mitad. A los 7, 28, 60 y 90 días después del curado, se ensayaron las probetas curadas a 20°C, mientras que las probetas curadas a 40°C se ensayaron a los 3, 7, 14 y 28 días después del curado.



**Ilustración 17 – Granulometría de ceniza volante en San Pedro Sula**

Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)



**Ilustración 18 - Resistencia Mecánica de probetas curadas a 40°C.**

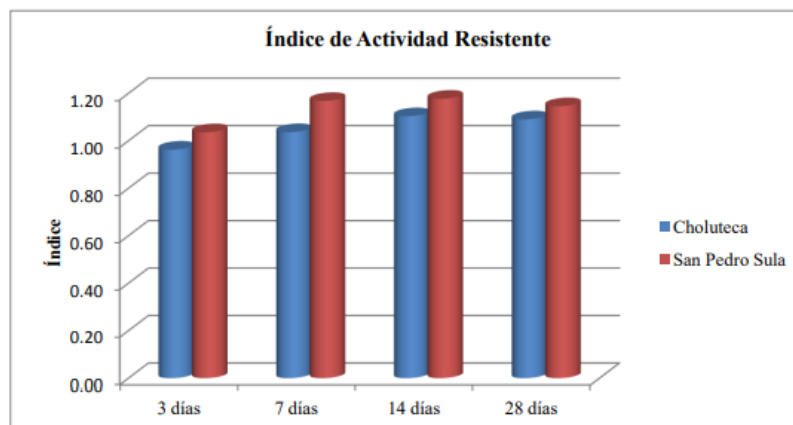
Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)

Además, se calculó el índice de actividad resistente (cociente entre las resistencias del mortero con ceniza y el mortero control) a todas las edades para comparar la resistencia de las probetas control y las probetas con ceniza. La Tabla 7 y la Ilustración 19 proporcionan detalles sobre los hallazgos.

**Tabla 7 - IAR de probetas curadas a 40°C**

Índice de actividad resistente				
Descripción	3 días	7 días	14 días	28 días
San Pedro Sula	1.04	1.17	1.18	1.15

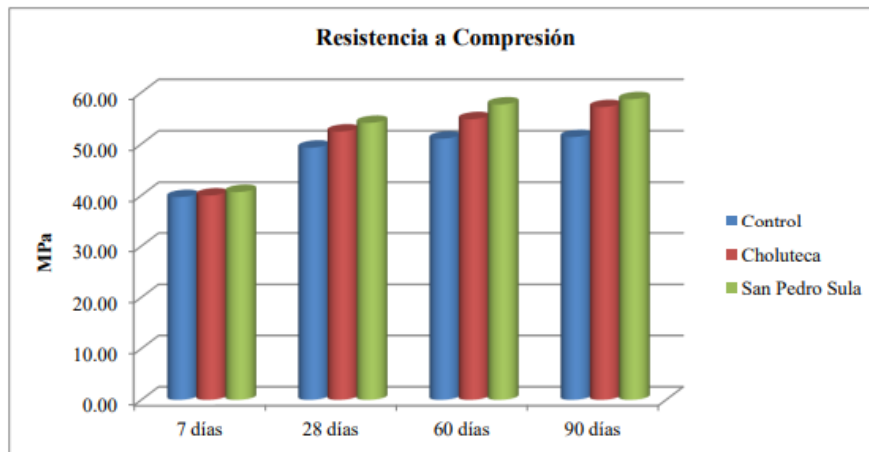
Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)



**Ilustración 19 - IAR de probetas curadas a 40°C.**

Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)

Los resultados son muy significativos porque, a los 28 días, la resistencia en las probetas elaboradas con ceniza SPS es un 15% superior a la de las probetas control, y esta diferencia está presente en todas las edades. Estas probetas también tienen un índice de actividad de resistencia mayor a 1. A los 3 días, los especímenes elaborados con ceniza de Choluteca solo presentan un IAR mayor a 1, ya los 28 días tienen una resistencia 9% mayor que los especímenes control. (Ma-Tay Pinel, 2014)



**Ilustración 20 - Resistencia Mecánica de probetas curadas a 20°C**

Fuente: (Ma-Tay Pinel, 2014)

En cuanto a la resistencia mecánica (Ma-Tay Pinel, 2014) afirma que Las probetas con cemento en lugar de ceniza aumentan la resistencia a la compresión en todas las edades de ensayo. Al principio, las resistencias son muy similares, pero con el tiempo, los especímenes llenos de ceniza desarrollan una mayor resistencia que los especímenes de control. En todas las edades, la ceniza de San Pedro Sula tiene los valores más altos de resistencia. (ver Ilustración 20)

**Como conclusión relevante de la investigación** (Ma-Tay Pinel, 2014) **menciona lo siguiente:**

La composición química de las cenizas de San Pedro Sula indica su potencial como puzolanas reactivas, el contenido de óxidos de aluminio, silicio y hierro tanto en la ceniza de San Pedro Sula.

### **3.2. TEORÍAS DE SUSTENTO**

En el actual apartado del documento se presentan todas aquellas teorías, procesos o métodos que ayuden a sustentar la investigación, por consiguiente, se detallarán cada uno de los

criterios a tomar para realizar un análisis de los ensayos que se deben de llevar a cabo para la fabricación de concreto con sustitución parcial de ceniza en cada una de las iteraciones previamente propuestas, además, de las características de los agregados que se deben de estimar.

El agua, los materiales de relleno como los agregados finos o gruesos, los materiales aglutinantes como el cemento portland, el agua y, ocasionalmente, los aditivos son los ingredientes principales de la mezcla de concreto hidráulico. El hormigón se convierte en una aleación resistente como resultado de la compactación del material, haciéndolo apto para su uso en la construcción civil.

A continuación, se presentan las teorías de sustento para la presente investigación:

### 3.2.1 CENIZA EN EL CONCRETO

Agudelo Moreno & Espinosa Torres et al. (2017) menciona que "el concreto hecho con cenizas volantes tiene muchas ventajas. Al usar menos agua para el revenimiento presentado, mejor trabajabilidad, mejor cohesión y menor segregación, se pueden mejorar las propiedades del concreto fresco". (pág. 38)

Una disminución en las grietas térmicas está implícita en el hecho de que la temperatura máxima se reduce durante el proceso de curado. Las cenizas volantes, cuando se agregan al concreto endurecido, pueden aumentar la resistencia, disminuir la permeabilidad y beneficiar al concreto con el tiempo. (Cáceres & Quispe, 2018)

### 3.2.2 EFECTOS DE LA CENIZA VOLANTE EN EL CONCRETO (ASTM 168)

Los efectos que tiene la ceniza sobre el concreto varían dependiendo del estado de este:

#### **Trabajabilidad del concreto con ceniza volante**

Cáceres & Quispe et al. (2018) en su artículo científico afirma que dado que a mayor proporción de cenizas volantes en el cemento se reduce la necesidad de finos ya menor porcentaje de agua se adquiere un mayor porcentaje. Esto se debe a que una mayor finura de las cenizas volantes produce un efecto de reducción en el agua. densidad en la mezcla. Al reducir la cantidad de agua, las cenizas volantes pueden cambiar las características del concreto recién colocado. Es difícil trabajar con hormigón a base de cenizas volantes porque

la cantidad de agua en la mezcla disminuye notablemente a medida que aumenta el contenido de cenizas, lo que hace que la mezcla sea más difícil de manejar.

### **Densidad del concreto**

A su vez Cáceres & Quispe et al. (2018) también mencionan que la calidad del grano utilizado determina el grado de contaminación que provocan las cenizas volantes sobre el hormigón. Como resultado, los aditivos inclusores de aire se deben agregar en cantidades (1.25 a 2 veces la dosis típica) al concreto con aire incorporado que contiene cenizas. La calidad de la ceniza extraída y aplicada a la mezcla influye directamente en los efectos que exhibe esta mezcla.

### **Resistencia**

Las cantidades de cenizas volantes añadidas a la muestra homogénea afectan directamente a la resistencia del hormigón. En comparación con la mayoría de las puzolanas, la ceniza volante tiene una reacción puzolánica más lenta y hace poca diferencia en la fuerza durante los primeros 10 a 14 días. Para predecir cómo se comportará el concreto final, al igual que con todos los demás componentes del concreto, se debe conocer o especificar la calidad de las cenizas volantes. (Agudelo Moreno & Espinosa Torres, 2017)

### **Durabilidad**

En cuanto a la durabilidad del concreto Agudelo Moreno & Espinosa Torres et al. (2017) menciona la ceniza es un tipo de puzolana y se emplea para la durabilidad, particularmente en aplicaciones que requieren una mayor resistencia, como la reducción de sulfatos, ácidos y álcalis/agregados. Sin embargo, la calidad de la ceniza es más importante si se necesita una mayor durabilidad. Los principales óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) deberían constituir al menos el 80% de las cenizas volantes, según Scholz, quien también recomienda que por cada 1% de cemento Portland reemplazado, las cenizas volantes deberían poder reducir el agua. contenido en aproximadamente un 5%.

### **Reacción álcali/agregado**

El ingeniero Jesús Osorio (2022) menciona que la relación álcali/árido sólo se da en suelos permeables. La reacción antes mencionada generalmente solo ocurre cuando el cemento Portland contiene una cantidad significativa de álcalis solubles que interactúan con agregados de sílice específicos.



### 3.2.3 ESPECIFICACIÓN NORMALIZADA DE AGREGADOS PARA CONCRETO (ASTM C-33)

ASTM C-33 (2022) menciona que esta especificación especifica la clasificación y los requisitos de calidad para los agregados gruesos y finos (distintos de los agregados livianos o pesados) utilizados en el concreto. Este estándar está destinado a ser utilizado por proveedores de concreto u otros compradores como un componente de un documento de adquisición que describe el material entregado. (ASTM C-33, 2022)

Para la mayoría de los tipos de hormigón, esto se considera adecuado para garantizar un material satisfactorio. Se reconoce que esto puede ser un tanto innecesariamente restrictivo para algunas ocupaciones o áreas. Por ejemplo, se pueden considerar restricciones más estrictas sobre la contaminación que podría contaminar las superficies de concreto en áreas donde la estética es importante. Se determina si un compuesto específico está o podría estar disponible en el área de trabajo en función de su clasificación, propiedades físicas, propiedades del material o una combinación de estas. (ASTM C-33, 2022)

El tamaño máximo nominal del compuesto, la calidad del compuesto y otros requisitos de calificación específicos se definen en esta especificación, que también se utiliza en las especificaciones del proyecto. Las proporciones de los agregados finos y gruesos serán decididas por la persona que elige las proporciones de la mezcla de concreto. (ASTM C-33, 2022)

### 3.2.4 ANÁLISIS DE TAMICES (ASTM C136)

Para clasificar materiales antes de su uso en agregados industriales, el método ASTM C136 es utilizado principalmente por profesionales de la construcción y constructores. La construcción de relaciones entre la porosidad y el empaque puede beneficiarse de los datos recopilados con este método. Solo los materiales con una finura de 75 micrones o menos pueden determinarse con precisión mediante la norma ASTM C136 (n.º 200). Más allá de este nivel de tamiz, solo se puede usar el método ASTM 117 basado en lavado en combinación con ASTM C136 para determinar la composición. (Salgado, 2018)

A su vez Salgado et al. (2018) afirma que:

"Cuatro puntos conforman el alcance del procedimiento según la norma ASTM C136, el documento estándar. El método de prueba cubre la "determinación de la distribución del

tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante tamizado", según el comunicado. El documento continúa: "Algunas especificaciones globales requieren partículas gruesas y finas en su composición, lo que la norma ASTM C136 reconoce e incluye pautas para el análisis de clasificación de estos agregados. El tercer punto es que el método sustituye las unidades de medida internacionales por pulgadas como estándar. los usuarios del método son, en última instancia, responsables de utilizar las precauciones de seguridad y los niveles de precaución adecuados. El método es todo lo que se describe en la norma ASTM C136; no aborda ningún problema de seguridad". (pág. 1)

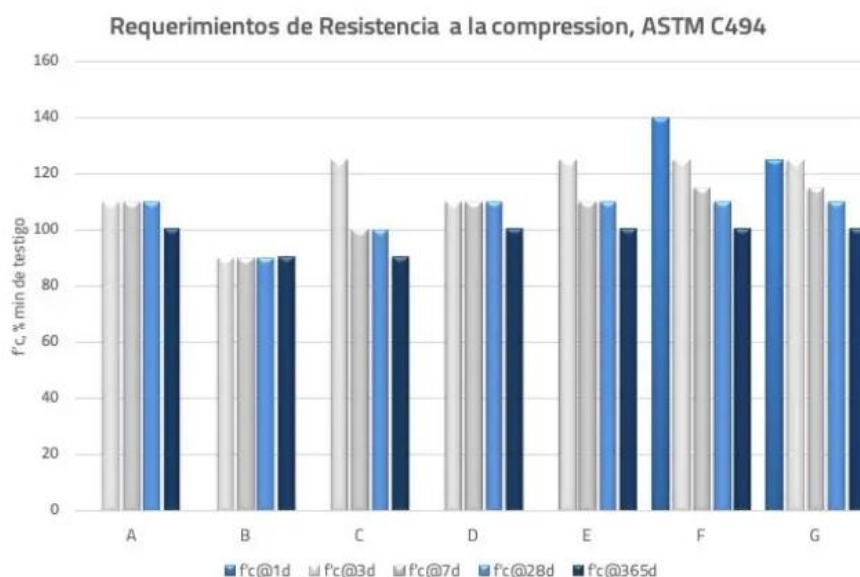
### 3.2.5 NORMA DE ADITIVOS DE CONCRETO (ASTM C494)

Lazarus et al. (2020) menciona que la norma ASTM C494 regula todos los aditivos químicos que tienen impacto en las propiedades del concreto fresco y/o endurecido. Aborda específicamente cómo los aditivos afectan la cantidad de agua requerida, el tiempo de fraguado y la resistencia mecánica (a la compresión y la flexión) con edades de prueba de hasta un año. Una mezcla de concreto estándar (sin mezcla) se compara con una mezcla modificada (con mezcla) para crear la norma ASTM C494. La misma cantidad de cemento ASTM C 150 I o II (517 +/- 5 lb/yd<sup>3</sup>), agregados que cumplen con ASTM C33 y la cantidad adecuada de agua y aditivos para lograr un revenimiento de 3-12" +/- 12" son incluido en ambas mezclas". Los requerimientos de la normativa ASTM C494 están resumidos en la Ilustración 21 a continuación:

Concepto	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G	Tipo S
	Reductor de agua	Retardante	Acelerante	Reductor de agua y retardante	Reductor de agua y acelerante	Reductor de agua de alto rango	Reductor de agua de alto rango y retardante	Comportamiento específico
Contenido de agua máximo en % de testigo	95	NA	NA	95	95	88	88	....
Variación de TFI en h:min respecto al testigo	-1:00 a +1:30 max	+1:00 a +3:30 max	-1:00 a -3:30 max	+1:00 a +3:30 max	-1:00 a -3:30 max	-1:00 max +1:30 max	+1:00 a +3:30 max	-1:00 a +1:30 max
Variación de TFF en h:min respecto al testigo	-1:00 a +1:30 max	+3:30 max	-1:00 min	+3:30 max	-1:00 min	-1:00 max +1:30 max	3:30 max	-1:00 a +1:30 max
F <sub>c</sub> @1d, min % respecto testigo	....	....	....	....	....	140	125	....
F <sub>c</sub> @3d, min % respecto testigo	110	90	125	110	125	125	125	90
F <sub>c</sub> @7d, min % respecto testigo	110	90	100	110	110	115	115	90
F <sub>c</sub> @28d, min % respecto testigo	110 (120) <sup>C</sup>	90	100	110 (120) <sup>C</sup>	110	110 (120) <sup>C</sup>	110 (120) <sup>C</sup>	90
F <sub>c</sub> @90d, min % respecto testigo	(117) <sup>C</sup>	N/A	N/A	(117) <sup>C</sup>	N/A	(117) <sup>C</sup>	(117) <sup>C</sup>	N/A
F <sub>c</sub> @6 meses, min % respecto testigo	100 (113) <sup>C</sup>	90	90	100 (113) <sup>C</sup>	100	100 (113) <sup>C</sup>	100 (113) <sup>C</sup>	90
F <sub>c</sub> @12 meses, min % respecto testigo	100	90	90	100	100	100	100	90

**Ilustración 21- Requerimiento de la normativa ASTM C-949**

Fuente: Lazarus et al. (2020)



### Ilustración 22 – Requerimientos de resistencia a la compresión, ASTM C494

Fuente: Lazarus et al. (2020)

De acuerdo con los requerimientos de la ASTM C494 Lazarus et al. (2020) afirma que tiene en consideración los siguientes criterios:

**Retardadores, Tipo B:** El impacto de la mezcla, como su nombre lo indica, es principalmente de fraguado (no tiene efecto sobre la reducción de agua), con un retraso de fraguado inicial de al menos una hora y un máximo de tres horas y media anticipadas. Dado que un retardo excesivo del fraguado expone al concreto a exudación y retracción excesivas, se pretende controlar el retardo del fraguado. La norma permite una reducción de la resistencia a la compresión de hasta un 10% en todas las edades debido al retraso en el proceso de hidratación del cemento.

#### 3.2.6 REVENIMIENTO (ASTM C 143)

Simeón Cañas et al. (2020) menciona que en cuanto a la normativa ASTM C-143 las propiedades físicas y las proporciones de los materiales, así como las herramientas utilizadas para mezclar, transportar y distribuir la mezcla, afectan la facilidad con la que se pueden trabajar. Sin embargo, el término "trabajabilidad" es ambiguo porque un hormigón puede considerarse trabajable en algunas circunstancias, pero no en otras. Por ejemplo, si bien el concreto puede ser adecuado para hacer un pavimento, será un desafío incorporarlo en una

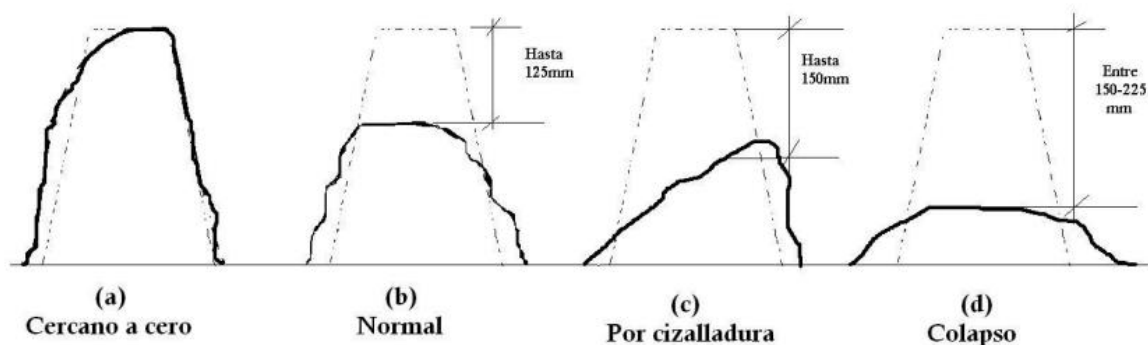
pared delgada con un refuerzo complejo. Como resultado, la trabajabilidad solo debe describirse como una cualidad física del hormigón fresco, sin tener en cuenta las particularidades de un tipo particular de construcción.

En general, Simeón Cañas et al. (2020) menciona que existen varios tipos de consistencia:

- a) Consistencia seca: aquella en la cual la cantidad de agua es pequeña y simplemente la suficiente para mantener las partículas de cemento y agregados juntas.
- b) Consistencia dura o rígida: posee un poco más de agua que la del tipo a.
- c) Consistencia húmeda. La cantidad de agua es bastante apreciable y se trata de un concreto fluido.

La consistencia se puede medir por medio de la prueba de revenimiento (norma ASTM C143).

El revenimiento es la diferencia de altura entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando se ha asentado después de quitar el molde.



**Ilustración 23 – Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento**

Fuente: Simeón Cañas et al. (2020)

### 3.2.7 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO (ASTM C 138)

La ASTM 138 (2020) en su artículo menciona que la prueba cubre el cálculo de la densidad del concreto fresco y describe las fórmulas para calcular su rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire. La cantidad de concreto que se puede producir a partir de una mezcla de materiales con propiedades conocidas se denomina rendimiento.

Como parte de su procedimiento la norma ASTM 138 (2020) esta establecida "en base a la selección del método de consolidación del concreto en el ensayo de revenimiento, a menos

que el ensayo tenga especificaciones bajo las cuales se lo debe realizar. El método de consolidación puede ser de varillado y vibración interna. Se varilla concretos con un revenimiento mayor a 3 pulgadas (75 mm). Varillar o vibrar concretos con un revenimiento de 1 a 3 pulgadas (25 mm a 75 mm). Consolidar concretos con un revenimiento menor a 1 pulgada. (25 mm) por vibración. Determinar la masa del recipiente de medición vacío (lb. o kg)”.

### 3.2.8 CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO (ASTM C 173)

Valarezco et al. (2011) afirma que la norma ASTM C 173 cubre cómo calcular cuánto aire hay en el concreto fresco que contiene cualquier tipo de agregado, ya sea celular, denso o liviano. El aire que podría estar presente dentro de las partículas de agregado poroso no tiene impacto en la medición porque solo observa la fracción de mortero de concreto.

Este procedimiento de prueba podría subestimar la cantidad de aire presente, lo que requeriría la adición de suficiente alcohol para disolver la espuma formada durante la mezcla o agitación inicial. Se realizará una segunda prueba con suficiente alcohol si la primera prueba se considera inválida debido a la presencia de más del 2 % de aire en la espuma por encima del nivel del agua. Después del llenado inicial, no se permite agregar alcohol para reducir la espuma a cero. (Valarezco, 2011)

Además, el ingeniero Valarezco et al. (2011) menciona en su artículo que “el contenido de aire del concreto endurecido puede ser más alto o más bajo que lo que se determinó con este método. Esto depende de una serie de variables, incluido el método utilizado, la tensión de consolidación aplicada al hormigón del que se tomó la muestra, la uniformidad y estabilidad de las burbujas de aire tanto en el hormigón fresco como en el endurecido, la precisión del examen microscópico, la comparación período, la exposición ambiental, el método de transporte, el proceso de consolidación utilizado para determinar el contenido de aire del hormigón sin endurecer, que se realiza antes o después de que el hormigón pase por una bomba o dispensador, y otros factores”. (pág. 1)

### 3.2.9 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C39)

El laboratorio (EUROLAB, 2022) menciona que la norma ASTM C39 mide la resistencia a la compresión de muestras de hormigón en forma de cilindro, como cilindros fundidos y núcleos

perforados. El estándar sirve como punto de referencia para las notas que ofrecen aclaraciones. Estas notas no se considerarán normas mínimas.

### 3.2.10 CEMENTO PORTLAND (ASTM C150)

En la norma ASTM C 150 encontramos las especificaciones para el cemento Portland tipo I, II, III, IV y V.

A continuación, en la ilustración 23, se muestra cada uno de los ensayos químicos que se presentan en la ASTM C-114 de acuerdo a la composición química del concreto hidráulico.

<b>Ensayos Químicos ASTM C 114</b>	<b>ASTM C 150</b>	<b>ASTM C 595</b>	<b>ASTM C 845</b>	<b>ASTM C 1157</b>
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ), %	√	-	-	-
Óxido de calcio (CaO), %	√	-	-	-
Trióxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	√	-	-	-
Trióxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	√	-	-	-
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), %	√	√	-	-
Óxido de magnesio (MgO), %	√	√	√	-
Residuo Insoluble, %	√	√	√	-
Pérdida por Ignición, %	√	√	√	-
Grupo R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	-	-	-	-
Óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O), %	√	-	-	-
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O), %	√	-	-	-
Álcalis (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O), %	√	-	√	-
Cal libre (%)	x	-	-	-
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ), %	-	-	-	-
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	√	-	-	-
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), %	√	-	-	-
Silicato tricálcico (C <sub>3</sub> S), %	√	-	-	-
Silicato bicálcico (C <sub>2</sub> S), %	√	-	-	-
Aluminato tricálcico (C <sub>3</sub> A), %	√	-	-	-
Aluminato ferrita tetracálcica (C <sub>4</sub> AF), %	√	-	-	-

**Ilustración 24 – Ensayos químicos requeridos según las especificaciones del ASTM**

Fuente: (Vergara, 2013)

### 3.2.11 PESO VOLUMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (ASTM C-129)

Para las consideraciones del peso volumétrico la ASTM C-129 (2022) define lo siguiente:

Si el concreto se diseña sin pruebas ni fabricación, la resistencia, la densidad y otras propiedades dependerán de las propiedades del agregado, lo que hace que el contenido de agregado en el concreto, que oscila entre el 50 % y el 80 % por volumen, sea extremadamente importante. Obtener los resultados deseados es un desafío. El hormigón o agregado de construcción es el material creado por la trituración natural o artificial de varios tipos de roca, que varían en tamaño desde partículas casi invisibles hasta rocas. Constituyen los tres componentes necesarios para fabricar hormigón, junto con el agua y el cemento.

Uno de los muchos estudios sobre agregados es el peso volumétrico. La masa volumétrica es la relación entre la masa volumétrica y la masa del suelo. El peso dimensional puede ser suelto o compactado. La muestra de arena o grava adquiere una forma suelta cuando se agrega por primera vez al recipiente, y adquiere una forma compacta después de compactarse para llenar los vacíos. El peso volumétrico compuesto se puede calcular usando la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 4. Peso Volumétrico de los Agregados**

$$PV = \frac{W}{V}$$

Donde:

W es el peso del agregado el cual está en el recipiente, molde o cubeta

V e el volumen del recipiente.

Los usos que se pueden hacer de la información obtenida sobre el peso volumétrico del concreto son:

- 1) En el cálculo de los vacíos en el agregado
- 2) Como índice de calidad para clasificar el agregado como regular, ligero o pesado.
- 3) En el diseño de mezclas de concreto.

#### **3.2.12 COLORIMETRÍA (ASTM C-40)**

Se usa una prueba llamada colorimetría para determinar si hay contaminantes orgánicos presentes en los agregados finos. Estos contaminantes pueden tener un impacto en la

resistencia eléctrica, la fuerza y la cohesión de la mezcla de concreto. Como resultado, la colorimetría ayuda a determinar si el suelo está lo suficientemente limpio para producir concreto.

Sinha et al. (2016) afirma:

Hay algunos materiales, como la materia orgánica, que se encuentran en los agregados que, cuando están presentes en altas concentraciones, pueden cambiar o deteriorar las características del concreto, incluida su resistencia al daño y durabilidad. De esto se deduce que es crucial identificar este tipo de asuntos, comprender cómo se comportan y determinar cuánto se pueden tolerar.

La hidratación química del concreto se desencadena por la presencia de materiales orgánicos, lo que ralentiza el proceso de fraguado y aumenta la durabilidad del hormigón. Si lo hace, significa que tiene menos vigor y resistencia. Otros componentes, como el acero, también pueden dañarse además del concreto, ya que los compuestos orgánicos en el acero pueden corroerse y hacer que el metal funcione menos bien o desarrolle fallas.

En un método se usa una muestra de color de vidrio, mientras que en el otro se usa una solución estándar de color. Se recomienda tratar los valores proporcionados en SI o unidades de pulgada-libra por separado como estándares. Los valores proporcionados por varios sistemas pueden no ser exactamente equivalentes, por lo que cada uno debe usarse por separado. Podría haber una discrepancia al combinar los valores de los dos sistemas.

Este estándar no garantiza abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, relacionados con su uso. Antes de usar este estándar, es responsabilidad del usuario establecer procedimientos de salud y seguridad adecuados y determinar si se aplican restricciones reglamentarias. El estándar o tabla que corresponde a una muestra tiene cinco tonalidades, que van desde el amarillo claro hasta el amarillo oscuro. El color más oscuro representa partículas con mucha materia orgánica, mientras que el color más claro representa partículas limpias.



### 3.2.13 NORMA ASTM C-128

Según Simeón Cañas et al. (2017) afirma que el propósito de esta norma es describir el procedimiento a seguir para determinar la densidad real y aparente de los agregados finos y la absorbancia después de la inmersión en agua durante 24 horas.

El procedimiento recomendado es tomar alrededor de 1 kg con una cuña, secarlo en un horno a 100-110 °C y enfriarlo al aire a temperatura ambiente durante 1-3 horas. Después del secado, las muestras se cubrieron completamente con agua y se dejaron durante 24 horas. Después del tiempo establecido, retire la muestra y colóquela en la bandeja, dirija el flujo de aire hacia la bandeja para que se seque uniformemente y continúe secando hasta que las partículas puedan circular libremente. Luego se realiza un procedimiento para determinar los tres estados del peso de prueba: peso de control de superficie seca, peso de control de superficie saturada seca y peso de control de superficie saturada.

La norma ASTM C 128 (2020) define y manda la determinación de las siguientes densidades:

- a) Densidad (SH), la masa de las partículas de agregado secadas al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poro permeables e impermeables en las partículas, pero sin incluir los vacíos entre ellas.
- b) Densidad (SSS), la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de vacíos impermeables y poros llenos de agua dentro de las partículas, pero no incluye los poros entre las partículas.
- c) Densidad aparente, la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.
- d) Densidad relativa (gravedad específica), la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura declarada, los valores son adimensionales.
- e) Densidad relativa (gravedad específica), (SH), la relación de la densidad (SH) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.
- f) Densidad relativa (gravedad específica), (SSS), la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.
- g) Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), la relación de la densidad aparente de agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.

### **3.3. MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se presenta un listado de terminologías, con su respectivo significado las cuales serán utilizadas a lo largo de la investigación, así lograr entender de mejor manera el concepto de cada una de estas.

#### **a) Cemento Tipo 1 (Estructural Avanced)**

Según Sodimac, (2017):

Se elabora mezclando Clinker Tipo I y yeso, que ofrecen mayor resistencia inicial y tiempos de fraguado más rápidos, para crear cemento Tipo I, un cemento de uso general en la construcción. El cemento tipo I se utiliza en proyectos que no requieren propiedades especiales (p. 7).

#### **b) Concreto Hidráulico**

“Es básicamente una mezcla de dos componentes: árido y pasta. Una pasta hecha de cemento Portland y agua une los agregados (generalmente arena y grava) para formar una masa similar a una roca” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 1).

#### **c) Ceniza volante**

Según Aranda et al. (2014)

“La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón en las centrales térmicas. Los sistemas colectores retienen la ceniza como una fina partícula antes de que se descargue a la atmósfera. Las características de la ceniza volante varían de acuerdo con proceso de combustión, así como con la composición del carbón. Consta de partículas muy finas y de forma esférica (tamaño entre 1-100  $\mu\text{m}$  y área superficial específica entre 300-600  $\text{m}^2/\text{kg}$ .”. (Lorca Aranda, 2014, pág. 30)

#### **d) Agregados**

Como menciona Arquigrafico, (2016):

Los agregados de concreto o agregados para la construcción pueden variar en tamaño desde partículas esencialmente invisibles hasta grandes trozos de piedra y son productos de la trituración natural o artificial de diversas piedras. Constituyen la trifecta de materiales necesarios para la producción de hormigón, junto con el agua y el cemento (p. 2)

**e) Agregado grueso o grava**

“Una piedra o roca de diez milímetros de espesor que ha sido triturada o triturada” (Farlex, 2016, p. 10)

**f) Agregado Fino o Arena**

“Material que pasa por la Malla No. 4 y se mantiene en la malla número. Hay 200 disponibles, que varían en tamaño desde 4 mm hasta 74 micras [0 mm]” (Gutiérrez de López, 2003, p. 1).

**g) Agua**

“Líquido formado por hidrógeno y oxígeno, inodoro, incoloro e insípido, que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro. Forma ríos, lagos y mares y cubre las tres cuartas partes del planeta” (ARKIPLUS, 2019, p.1)

**h) Aditivo**

“Para cambiar algunas de las propiedades originales del hormigón, los aditivos son productos que se mezclan en el hormigón en pequeñas cantidades (0,1% a 5% por peso de cemento).” (Deluxe templates, 2009, p. 2)

**i) Granulometría**

“Se refiere al tamaño de las partículas y su porcentaje o distribución en aglomerados. Esto se determina mediante análisis de tamaño de partícula. Implica pasar una cantidad determinada de agregado a través de una serie de tamices estándar dispuestos de mayor a menor” (Gutiérrez L. d., 2003, pág. 19).

**j) Tamaño Máximo Nominal**

“Esta tasa de retención acumulativa se define como el orificio del tamiz directamente encima del 15% o más. Indica el tamaño medio de las partículas más grandes del compuesto” (Gutiérrez L. d., 2003, pág. 19).

**k) Módulo de finura**

Según Gutiérrez et al. (2003) “Este es un valor útil para estimar el espesor o finura de un material. Se define como el porcentaje del número que se suma al porcentaje restante acumulado en el tamiz utilizado para el análisis de tamaño de partícula del No. 100, No. 50,

No. 30, No. 8, No. 4, No. 3/ 8 pulgadas y nº 3/4. ", 1" y el siguiente tamiz con apertura 1 a 2" (pág. 19).

#### **l) *Peso Volumétrico***

"Esta es la masa o peso de agregado requerido para llenar un contenedor con una unidad de volumen específica. El volumen aquí es el volumen ocupado por el agregado y el espacio entre las partículas del agregado". (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 114).

#### **m) *Gravedad específica***

Según Gutiérrez et al. (2003)

"Se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesarios hacer diferenciación entre los distintos tipos de gravedad" (pág. 20).

#### **n) *Absorción***

Según Gutiérrez et al. (2003)

"El proceso por el cual un líquido se absorbe y tiende a llenar los poros permeables en un sólido poroso. La cantidad de agua absorbida por un material bajo condiciones específicas de ensayo, comúnmente expresada como el porcentaje de la masa de la probeta de ensayo" (pág. 21)

#### **o) *Contenido de materia orgánica***

"La materia orgánica es un producto de la descomposición de los vegetales y sustancias carbonosas, cuya composición química es ácido tánico y sus derivados conocidos con el nombre de humus. Cuando la presencia de humus es alta, especialmente en las arenas que por su tamaño suelen retener más materia orgánica, se impide total o parcialmente el fraguado del cemento" (Gutiérrez L. d., 2003, pág. 27)

#### **p) *Cementos mixtos***

Según Aranda et al. (2014)

"Se considera de manera genérica, como cementos mixtos, aquellos que se obtienen mediante la molienda o mezclado de cemento Portland con sustancias minerales particulares.

Actualmente este tipo de cementos se usan de manera habitual; y entre ellos, aquéllos con la adición de materiales puzolánicos o escorias de alto horno molidas son de interés particular en relación a la durabilidad del hormigón armado”

**q) Materiales puzolánicos**

“Los materiales puzolánicos pueden ser o bien naturales, como algunas cenizas volcánicas o también tierras de diatomeas, o bien artificiales, como la ceniza volante y el humo de sílice”. (Lorca Aranda, 2014, pág. 29)

**r) Puzolana natural**

“Normalmente de origen piroclástico, que se deriva de los sedimentos de erupciones volcánicas que producen depósitos incoherentes o depósitos compactos que se han transformado químicamente con el tiempo”. (Lorca Aranda, 2014, pág. 29)

**s) Hidratación de los cementos**

Según Aranda et al. (2014)

“La hidratación de los materiales puzolánicos consume cal y de esta forma se reduce su cantidad respecto a la pasta de cemento obtenida con cemento Portland”.

### **3.4. MARCO LEGAL**

En esta sección del documento se detallan aquellas normativas ya sean ambientales o de procesos que en el país regulan la producción de concreto en el país hondureño, y en especial en la ciudad de San Pedro Sula, a continuación, se denotan dichas normativas:

## **CAPÍTULO IV**

### **SECCIÓN I**

#### **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

**Artículo 39.** Los Institutos de Investigación Científica son centros académicos encargados, fundamentalmente, de la investigación, el desarrollo y la innovación científico-tecnológica y/o artística, vinculados a la docencia especializada y a la asesoría en aspectos relativos a sus competencias.

**Artículo 40.** Los Institutas estarán conformados por profesores investigadores transitorios o adjuntos los cuales pueden provenir de la misma Facultad o Centro Universitario Regional, o de otros con los cuales tengan afinidad temática. De la misma manera, pueden incorporar como investigadores adjuntos a aquellos provenientes de otras universidades o centros de investigación nacional o internacional.

Además, para investigaciones de la facultad de ingeniería civil el CICH denota lo siguiente para el campo de investigación en la facultad.

### **CAPITULO XIII**

**Artículo 61.-** El ejercicio de la Ingeniería Civil corresponde a los miembros activos y solventes del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras. En sus aspectos más amplios comprende: El estudio, la investigación, creación, planificación, diseño, dirección, supervisión, construcción, avalúo, peritaje, administración y mantenimiento de proyectos de viviendas, edificios, obras viales, estructurales, sanitarias, hidráulicas y demás obras de Ingeniería Civil; sin perjuicio de los derechos que para realizar actividades afines pueden ejercer otros profesionales de la Ingeniería en determinados campos, áreas o materias, de conformidad con las leyes y reglamentos que sean aplicables.

Teniendo en cuenta que la investigación como tal busca presenta un impacto ambiental favorable a la ciudad de San Pedro Sula para el año 2023 reduciendo las emisiones de CO2 con la actual propuesta de investigación, se denota los siguientes artículos de control ambiental por parte de la municipalidad.

#### **TÍTULO I**

#### **PRINCIPIOS Y OBJETIVOS**

#### **CAPÍTULO I**

#### **PRINCIPIOS GENERALES**

**Artículo 1.** La protección, conservación, restauración y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales son de utilidad pública y de interés social.

El Gobierno Central y las municipalidades propiciarán la utilización racional y el manejo sostenible de esos recursos, a fin de permitir su preservación y aprovechamiento económico. El interés público y el bien común constituyen los fundamentos de toda acción en defensa del

ambiente; por tanto, es deber del Estado a través de sus instancias técnico-administrativas y judiciales, cumplir y hacer cumplir las normas jurídicas relativas al ambiente.

## ***CAPITULO II***

### ***OBJETIVOS***

**Artículo 9.** Son objetivos específicos de la presente Ley:

- e) Promover la participación de los ciudadanos en las actividades relacionadas con la protección, conservación, restauración y manejo adecuado del ambiente y de los recursos naturales.
- f) Fomentar la educación e investigación ambiental para formar una conciencia ecológica en la población.

## IV.METODOLOGÍA

En el presente trabajo de investigación, se decidió utilizar un método cuantitativo porque permite a los examinadores medir y analizar datos. Se estudia en detalle la interacción entre la variable independiente y dependiente, motivo principal del análisis de este estudio. Esto es bastante efectivo porque permite a los investigadores concentrarse más al concluir con los hallazgos de la investigación.

### 4.1. ENFOQUE

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el método cuantitativo. Este procedimiento fue elegido porque muestra facilidades para la recopilación de información. Según (Sampieri, 2006) este procedimiento también permite igualar los cambios utilizando métodos estadísticos conocidos que serán de gran ayuda para una mejor interpretación de los resultados. (Pág. 26)

Según (Sampieri, 2006)

“El enfoque cuantitativo utiliza la recopilación de datos para probar conjeturas basadas en mediciones e investigaciones numéricas estadísticamente para implantar patrones de comportamiento y probar teorías”. Para la siguiente investigación, los ensayos que se realicen a las muestras serán los artefactos de pruebas y los resultados requeridos para la prueba, se pueden obtener de las suposiciones hechas anteriormente. Tenga en cuenta que esta solicitud solo dura un inmediateamente en una línea de tiempo que serán las respectivas pruebas de laboratorio” (Pág. 26).

Según (Jaen, 2023)

La investigación cuenta con la metodología cualitativa debido a que nos permite indagar como interactúan los participantes y los datos en función de tener obtener preguntas y respuestas considerando experiencias de expertos en el área centrándose en qué dirán muchos expertos. (Parrf. 2)



**4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

**Tabla 8-Tabla de Variables de Operacionalización**

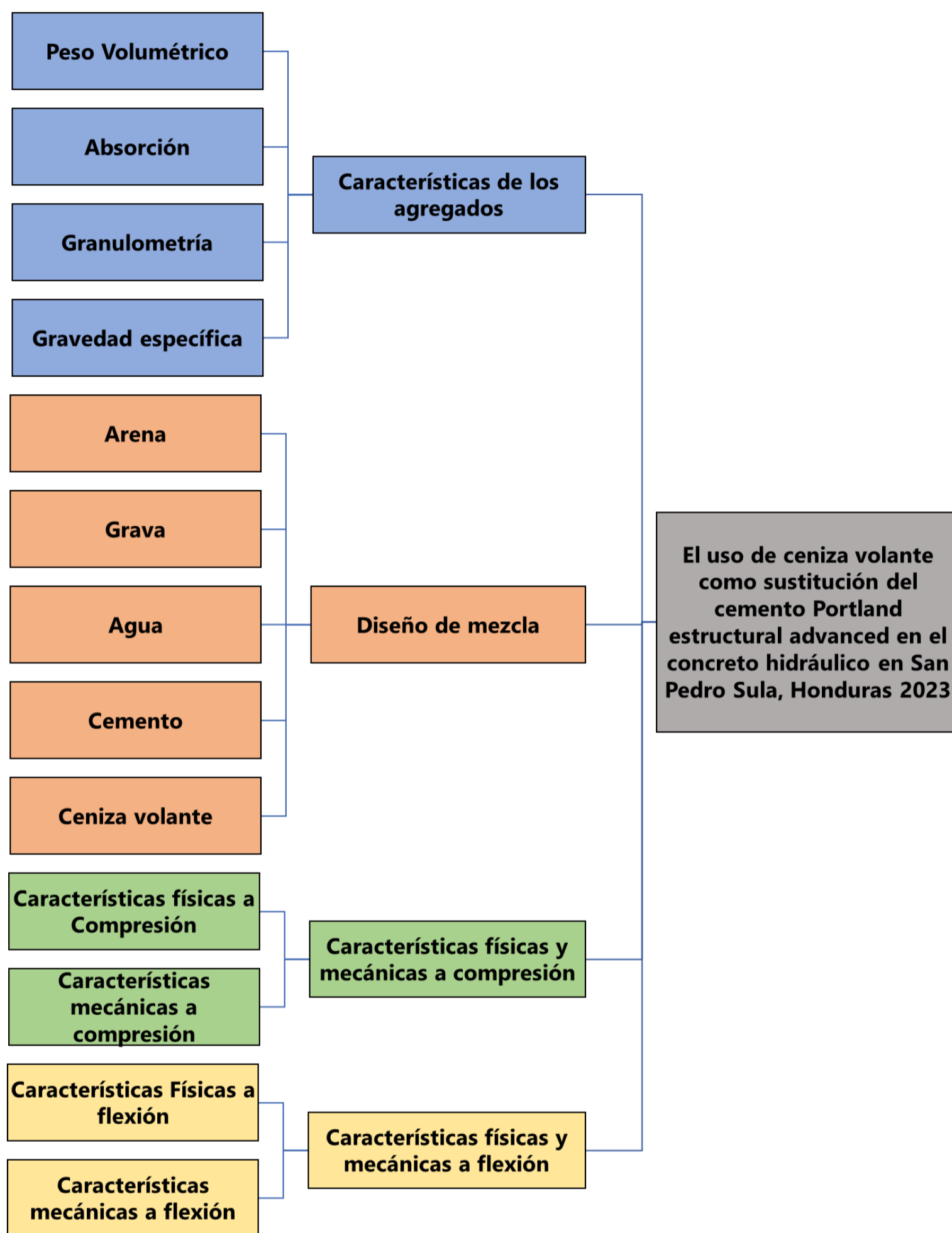
<b>“El uso de ceniza volante como sustitución del cemento Portland en el concreto hidráulico en San Pedro Sula, Honduras 2023”</b>					
<b>Formulación del Problema:</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Preguntas de Investigación</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Variable Dependiente</b>
¿Cuál será el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza volante por el cemento Portland estructural avanzado para que el hormigón presente beneficios físicos y mecánicos tomando en cuenta las opiniones y criterio de expertos y el uso de materiales de la zona en San Pedro Sula, Honduras 2023?	Analizar el comportamiento físico y mecánico del concreto hidráulico haciendo sustitución porcentual del cemento Portland estructural avanzado por ceniza volante mediante la creación de probetas siguiendo las normativas del ASTM C-78 y ASTM C-39 identificando el posible incremento en resistencias a flexión y compresión a los 28 días.	1) ¿Con qué características cuentan los agregados gruesos, finos y la ceniza volante, para que la mezcla sea funcional y adecuada?	1) Identificar las características con que cuentan los agregados gruesos, finos y la ceniza volante para que la mezcla sea funcional y adecuada.	Características de los agregados	El uso de ceniza volante como sustitución del cemento Portland estructural avanzado en el concreto hidráulico en San Pedro Sula, Honduras 2023
		2) ¿Cuál será la dosificación que habrá de implementarse en función de experiencias de expertos y revisión bibliográfica para que mejore la trabajabilidad y resistencia mecánica?	2) Analizar la dosificación óptima que habrá de implementarse en función de experiencias de expertos y revisión bibliográfica para que mejore la trabajabilidad y resistencia mecánica.	Diseño de mezcla	
		3) ¿Qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según la resistencia a la compresión?	3) Determinar qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según la resistencia a la compresión.	Características físicas y mecánicas a compresión	
		4) ¿Qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según el comportamiento a flexión?	4) Determinar qué características físicas y mecánicas tendrá el concreto hidráulico haciendo la sustitución de distintos porcentajes de cenizas volante en comparación con una mezcla control según el comportamiento a flexión.	Características físicas y mecánicas a flexión	

Fuente: Propia

En la **Tabla 8**, se muestra a continuación un resumen de lo que trata la investigación, tal como, la formulación del problema, objetivo general y específicos, así como varias interrogantes de investigación

#### 4.2.1. DIAGRAMA DE VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

En el siguiente apartado se dividen las variables en un diagrama de manera más explícita, especificando cada una de las variables independientes definidas.



**Ilustración 25 – Diagramas de variables de operacionalización.**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 25** se denota a las variables de operacionalización, tomando como variable dependiente el título de la investigación, y como variables independientes las propiedades de los agregados, diseño de mezcla, características físicas y mecánicas sometidos a esfuerzos de compresión y flexión, para un mejor intelecto de la investigación.

4.2.2. TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN

**Tabla 9 - Tabla de Operacionalización**

Variable Independiente	Definiciones		Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala
	Conceptual	Operacional				
Características de los agregados	Las pruebas de laboratorio verifican el cumplimiento de las especificaciones técnicas según normas y dictámenes de calidad. Los resultados de laboratorio tienen como finalidad comprobar la calidad de los materiales y de los procesos constructivos en la obra.	Las pruebas de laboratorio son de mucha importancia empezando por la granulometría de los agregados hasta las pruebas de resistencia máximas de los especímenes.	Peso Volumétrico	Peso volumétrico seco compactado	Peso volumétrico seco compactado de la grava	gr/cm <sup>3</sup>
			Absorción	Porcentaje de masa seca	Capacidad de absorción del agua en el concreto	%
			Granulometría	Tamaño máximo de árido nominal	≤10% que pase por el tamiz #200	mm
			Gravedad específica	Gravedad específica de los agregados	Cumplimiento de los rangos	
Diseño de mezcla	Actividad técnica e innovadora encaminada al diseño funcional de concreto hidráulico preparada con proporciones iniciales y calculadas para posteriormente realizar distintos ensayos de control de calidad.	La dosificación del concreto son cantidades de arena, grava, agua y cemento. La ceniza volante ha sido una de las adiciones cementantes más apetecidas por la industria del concreto a nivel mundial debido a que cumplen con parámetros fisicoquímicos que las hacen capaces de desarrollar propiedades aglomerantes, favoreciendo el desempeño del concreto.	Arena	Peso de la arena	Cantidad precisa de arena	LBS
			Grava	Vg'	Cantidad precisa de la grava	LBS
			Agua	Revenimiento y tamaño máximo de las partículas	Cantidad precisa de agua	LBS
			Cemento	Relación agua cemento	F'c de diseño	LBS
			Ceniza volante	Peso de ceniza volante	Cantidad de ceniza volante	LBS
Características físicas y mecánicas a compresión	La resistencia a la compresión se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo (PSI).	Las pruebas de resistencia a la compresión nos brindan información sobre la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material. Y está se calcula dividiendo la carga máxima (P) sobre el área (A).	Características físicas a Compresión	Contenido de aire	Verificar los porcentajes	%
				Agrietamiento	Posición de la grieta	IN
				Revenimiento	Medición de la mezcla	IN
				Temperatura	Toma de temperaturas	°C
			Características mecánicas a compresión	Capacidad de carga	Carga última	Lbf
				Dimensiones	Medición de los cilindros	IN
				Peso volumétrico	Peso volumétrico del cilindro	LB/FT <sup>3</sup>
Características físicas y mecánicas a flexión	La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.	Las pruebas de resistencia a la flexión, conocido igual como el Módulo de rotura, nos da información sobre la capacidad de un objeto para doblarse sin sufrir deformaciones significativas.	Características Físicas a flexión	Contenido de aire	Verificar los porcentajes	%
				Fisura	Posición de la fractura	IN
				Revenimiento	Medición de la mezcla	IN
				Temperatura	Toma de temperaturas	°C
			Características mecánicas a flexión	Módulo de ruptura	Fuerza última	PSI
				Peso volumétrico	Peso volumétrico seco de la viga	LB/FT <sup>3</sup>
				Absorción	Capacidad de absorción del agua en el concreto	%

Fuente: Propia

En la **Tabla 9** se desglosan las variables independientes en sus dimensiones, indicadores, ítems y sus respectivas escalas.

#### 4.2.3. HIPÓTESIS

En el siguiente trabajo de investigación, se decidió utilizar el método cuantitativo ya que este permite a los investigadores analizar y probar o confirmar hipótesis mediante un análisis estadístico, y así poder expresar los resultados en números o gráficos. Al ser una predicción o ser usada como propuesta provisional no pretende demostrar de manera estricta los resultados que al principio se estipularon.

##### 4.2.3.1. *Hipótesis de Investigación*

H1: La resistencia a la compresión del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02)  $f'_c=4000$  PSI G\_1 1/2" 28 días" con "x" porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es mayor o igual a un concreto  $f'_c=4000$  psi.

H1.2: El módulo de rotura del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02) MR-600 PSI G\_1 1/2" 28 días" con x porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es mayor o igual a un concreto MR-600.

H1.3: El concreto hidráulico con "x" porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante tiene mayor o igual trabajabilidad que la mezcla control.

##### 4.2.3.2. *Hipótesis Nula*

H0.1: La resistencia a la compresión del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02)  $f'_c=4000$  PSI G\_1 1/2" 28 días" con x porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es menor a un concreto  $f'_c=4000$  psi.

H0.2: El módulo de rotura del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02) MR-600 PSI G\_1 1/2" 28 días" con x porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es menor a un concreto MR-600.

H0.3: El concreto hidráulico con x porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante tiene menor trabajabilidad que la mezcla control.

#### 4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación, se enlistan lo que se utilizó y las normas que se siguieron para poder llevar a cabo la investigación en cuestión.

#### 4.3.1 INSTRUMENTOS







**Tabla 10 - Instrumentos**

Equipo/ Herramientas	Definición	Limitante	Imagen
Balanza Digital	Son instrumentos de pesaje que utilizan la acción de la gravedad para determinar la masa de un objeto. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto a pesar, que son los agregados. (FEMTO, 2022)	No hubo limitantes	
Platos/ taras	Recipientes que sirven para colocar cantidades de muestra, se ha utilizado para depositar agregados gruesos y finos.	No hubo limitantes	
Palas	Herramienta para cavar y para recoger y trasladar materiales, en especial blandos o pastosos como arena o tierra, que consiste en una pieza plana de metal, madera o plástico, rectangular o trapezoidal, con los cantos más o menos redondeados, y normalmente algo cóncava, que está sujeta a un mango largo. (Languages, s.f.)	No hubo limitantes	
Juegos de tamices ASTM	"El juego de tamices son instrumentos que nos permite separar las partículas más grandes de otras más pequeñas. El tamizaje es el método práctico para el análisis granulométrico. este método de análisis de tamaño de partícula es universalmente utilizado para el control de calidad en los sectores industriales tales como agricultura, química, la industria alimentaria y otros laboratorios de granulometría. Tamiz de 8" y 12". (Cormacperu, 2022, parr.1)	No hubo limitantes	
Agitador mecánico	clasifica y separa el material granulado presente en una muestra, además de determinar la distribución del tamaño de las partículas que deben tener ciertos materiales. El agitador de tamiz automatiza y estandariza esta técnica que se ha realizado por siglos de manera manual. (Cromtek, 2022)	No hubo limitantes	
Molde de cilindro	Es un dispositivo utilizado para la fabricación de muestras cilíndricas de concreto para su posterior evaluación en prueba de resistencia a la compresión, con dimensiones de 6"x12". (DIMACRO, 2023)	Realizar 2 mezclas por días, no había los suficiente	

**Continuación de la Tabla 10...**

Varilla apisonadora	Es utilizada para apisonar el concreto y eliminar el aire que queda al tomar las muestras con diámetro de 16 mm y largo de 600 mm. (DIMACRO, 2023)	No hubo limitantes	
Cuchara para toma de muestra	Herramienta de aluminio utilizada para realizar más eficiente la toma de muestra de concreto tanto para ensayos al concreto como para ensayos de revenimientos con capacidad de 38 Oz. (DIMACRO, 2023)	No hubo limitantes	
Mazo de compactación	Mazo de goma utilizado para realizar el desprendimientos y asentamiento de la muestra de los moldes de la prueba. (DIMACRO, 2023)	No hubo limitantes	
Medidor de contenido de aire	Determina el contenido de aire en concreto fresco. Consiste de una canasta (vasija) cilíndrica de 7 litros de capacidad con pestaña y ensamble como cubierta (tapa) que incluye un manómetro grande (de 90 mm de día.), bomba de aire y válvulas. (UTEST, 2021)	No hubo limitantes	
Base de Aluminio	Una bandeja, charola o azafate es una pieza plana o levemente cóncava, de metal, plástico u otro material, que se utiliza para servir, presentar, depositar o transportar cosas, (AALE, 2010)	No hubo limitantes	
Cono de Abrams	Molde con forma de cono truncado, con un diámetro de base de 20 cm (8 pulgadas) y diámetro superior de 10 cm (4 pulgadas), de 30 cm de altura (12 pulgadas), empleado para fabricar una muestra de hormigón fresco para una prueba de asiento. (Construcción, 2023)	No hubo limitantes	
Beaker	Es un recipiente de vidrio borosilicato transparente de boca ancha y forma cilíndrica. Cuenta con una escala en su exterior por lo que puede utilizarse para medir líquidos que no requieran de demasiada precisión. Es utilizado para calentar y mezclar sustancias y para formar precipitados. (TEO, 2021)	No hubo limitantes	
Carretilla	Vehículo pequeño formado por un recipiente con una rueda delantera y dos barras paralelas para agarrarlo y empujarlo, que se utiliza para transportar materiales pesados a corta distancia. (Languages, Oxford, 2017)	No hubo limitantes	

**Continuación de la Tabla 10...**

Escala de colores	La escala de Color Gardner es una de las muchas gradaciones establecidas para la medida del color. En concreto, esta escala se utiliza para medir el color en líquidos transparentes, con colores que van desde el amarillo claro hasta el marrón oscuro y ver su grado de impureza. (Eycó, 2020)	No hubo limitantes	
Mezcladora de concreto	es una máquina para elaborar el hormigón, el constructor tiene que hacer un gran esfuerzo físico porque bate piedra, arena, cemento y agua, que son materiales pesados. Por ello usar el trompo humaniza el trabajo y lo agiliza. (EcuRed, 2016)	No hubo limitantes	
Cubetas	Recipiente poco profundo y generalmente de forma cilíndrica, de plástico o metal usado para tomar muestras. (Oxford Languages, 2019)	No hubo limitantes	
Moldes para vigas	Molde de acero con dimensiones de 6"x6"x12" se usan para formar las probetas para poder medir el módulo de rotura. (DIMACRO, 2023)	Realizar 2 mezclas por días, no había los suficiente	
Espátulas/plana	Herramienta de acero usada para enrasar el concreto una vez las vigas y cilindro. (DIMACRO, 2023)	No hubo limitantes	
Máquina universal a la compresión y flexión	Son aquellas máquinas usadas en laboratorios de ingeniería para realizar pruebas en materiales de construcción con ensayos de tracción y compresión, de esta forma medir sus propiedades físicas. (Pinto, 2012)	No hubo limitantes	

Fuente: Propia

En la **Tabla 10** se realizó la breve definición de los instrumentos y herramientas utilizados para la investigación y los ensayos a realizar, así como su uso y sus limitantes.

#### 4.3.2 TÉCNICAS

Ensayos de Laboratorio: Los ensayos al concreto son el primer paso del desarrollo constructivo que marcará la pauta para un veredicto de calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Si se le da la importancia que corresponde, esto permite tomar decisiones para optimizar desempeños y una buena ejecución de los procesos constructivos (CONCRETO, 2022, párr. 1).

Asesorías: Se conoce como asesoría al trabajo y el despacho de un asesor, que es una persona dedicada a brindar recomendaciones, sugerencias y consejos en su ámbito de especialización (Pérez Porto, 2015, párr. 2).

Entrevista: Una entrevista es un intercambio de ideas u opiniones mediante una conversación que se da entre dos o más personas. Todas las personas presentes en una entrevista dialogan sobre una cuestión determinada (Enciclopedia Concepto, 2022., párr. 1).

#### **4.4. Materiales**

Cemento Portland: Es un conglomerante hidráulico, un material finamente molido que al estar en contacto con el agua forma una pasta que fragua, endurece y conserva su resistencia y estabilidad.

Grava: Conocido como "agregado grueso" es uno de los materiales para la fabricación del concreto, para motivos de esta investigación se ha usado grava de  $\varnothing \frac{3}{4}$ " y de  $\varnothing \frac{1}{2}$ ".

Arena: Conocido como el "agregado fino" es el material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

Ceniza volante: La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas generadoras de electricidad y es el material cementante suplementario.

#### **4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

A continuación, se determinará el tipo de población al igual que el tamaño de la muestra a considerar tal y como los parámetros muestrales, siendo como el número de especímenes, edades, porcentajes de sustitución y nomenclatura.

##### **4.5.1. POBLACIÓN**

La población de estudio no es probabilística y se concluyó que tanto la población como la muestra tienen la misma intensidad. La situación por examinar sigue una secuencia de pautas, cuyo propósito es acotar los límites de la muestra, evidentemente en torno al contenido descrito.



#### 4.5.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA

nPoblación = nMuestra por lo que la muestra a ensayar consiste en una preparación de 2 especímenes a edades de 7 días, 14 días y 28 días para el caso de los cilindros al igual que para las vigas; seguidamente este será para cada porcentaje de ceniza volante a sustituir que serán de 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, siendo un total especímenes a compresión de 2 cilindros a los 7 días, 2 cilindros a los 14 días, 2 cilindros a los 28 días por porcentaje de sustitución de ceniza volante, respectivamente con los especímenes a flexión, 2 vigas a los 7 días, 2 vigas a los 14 días, 2 vigas a los 28 días, de la misma forma para la mezcla control, siendo un total de 36 cilindros y 36 vigas. En ambos casos Normas ASTM aplicables, como ser ASTM C-78 y ASTM C-39. El de origen de los agregados utilizados para las pruebas de laboratorio son de ETERNA S.A. en Km 1 carretera occidente, Chamelecón, San Pedro Sula. En la **Tabla 11** se muestra la población para las mezclas a diseñar de fase I. La Norma ASTM C192-16 establece un mínimo de 2 especímenes por muestra

**Tabla 11- Población de fase I**

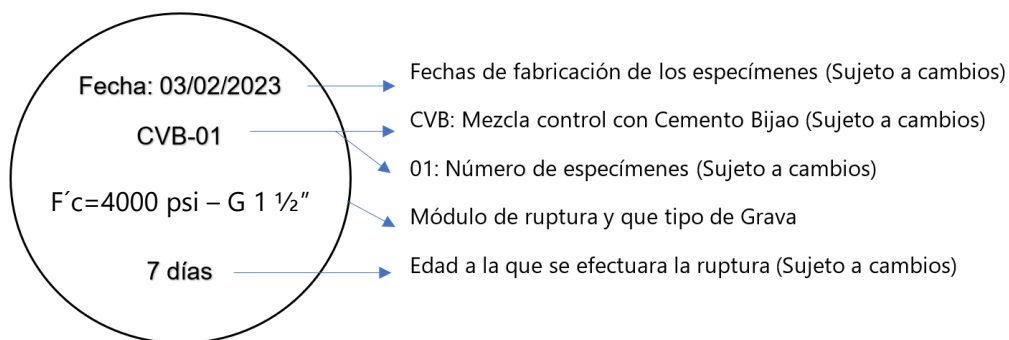
	<b>Mezcla Control</b>	<b>10% CV</b>	<b>15% CV</b>	<b>20% CV</b>	<b>25% CV</b>	<b>30% CV</b>	<b>Total</b>
<b>Vigas</b>	6	6	6	6	6	6	36
<b>Cilindros</b>	6	6	6	6	6	6	36
<b>Total</b>	12	12	12	12	12	12	72

Fuente: Propia

Según los límites de la muestra se estimó la procedencia de los agregados, para lo que se realizó su correspondiente estudio; el diseño de la mezcla se realizó de acuerdo con datos obtenidos con antelación, incluyendo el respectivo porcentaje de ceniza volante utilizada para los 5 diseños porcentuales de la misma manera que la mezcla control. Se seleccionó como muestra la compañía Caracol Knits, modelo de la industria textil, por lo que, en diferentes procesos de producción, existe uno de ellos en donde se obtienen la ceniza volante como residuo; las instalaciones se encuentran ubicadas en carrera CA-5 en Potrerillos, Cortés.

Continuando con la población, se delimita como nomenclatura para los especímenes con ceniza volante según los porcentajes a implementar en el diseño de mezcla porcentual, y la mezcla control. Todos los especímenes sometidos a esfuerzos de compresión y flexión están elaborados con Cemento Bijao Estructural Avanced Tipo I. Se elaboraron 2 especímenes por edades, por porcentajes, y por mezcla control, ver ilustraciones siguientes:

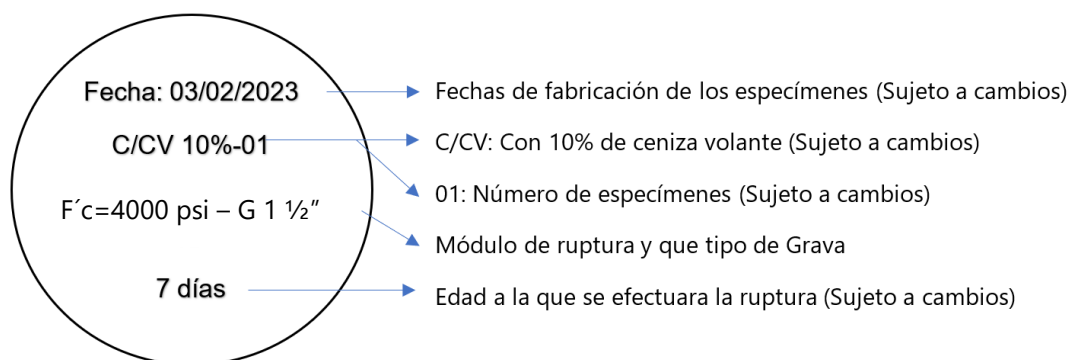
Nomenclatura para cilindros de muestra control:



**Ilustración 26 – Nomenclatura para cilindros de muestra control.**

Fuente: Propia

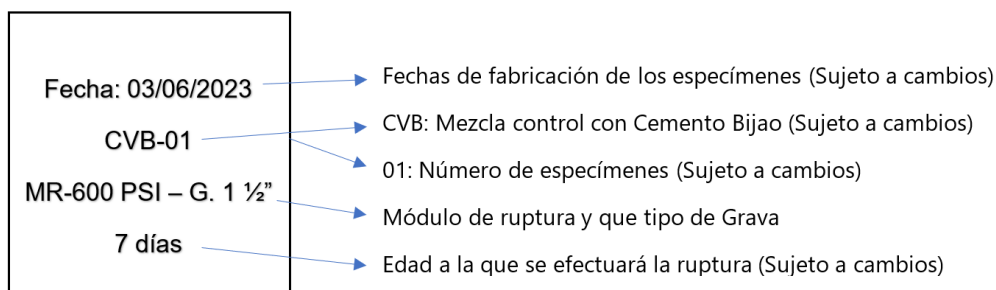
Nomenclatura para cilindros con porcentaje de ceniza volante:



**Ilustración 27 – Nomenclatura para cilindros con porcentaje de ceniza volante.**

Fuente: Propia

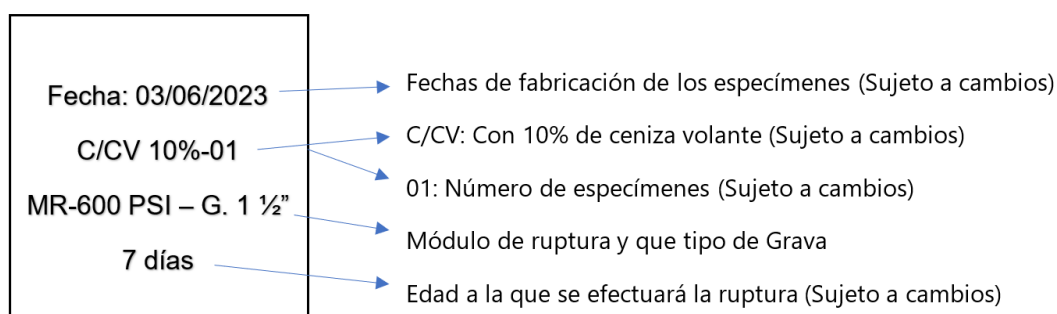
Nomenclatura para vigas de muestra control:



**Ilustración 28 – Nomenclatura para vigas de muestra control.**

Fuente: Propia

Nomenclatura para vigas con porcentaje de ceniza volante:



**Ilustración 29 – Nomenclatura para vigas con porcentaje de ceniza volante.**

Fuente: Propia

En la (**Ilustración 26, Ilustración 27, Ilustración 28, Ilustración 29**) se estable la forma correcta de marcar e identificar los especímenes, por edades y el tipo de mezcla.

A continuación, se tomo la decisión de realizar pruebas de 3 tipos de mezclas, (control, 20% y 25% con CV), utilizando el cemento HE, ya que su comportamiento de resistencias es similar al cemento tipo I a resistencias del concreto de 4000 psi, como se puede apreciar en la **Ilustración 59**. (Se tomo la decisión ya que el 20% y 25% con CV no cumplieron en esfuerzos de compresión en fase I, por lo que se opto la idea de solo realizar 3 mezclas a según se notaba el comportamiento de ambos cementos se esperaba que fuera similar con la adicción de la ceniza volante).

En la **Tabla 12** se muestra la población para las mezclas a diseñar de fase II.

**Tabla 12 - Población de fase II**

	<b>Mezcla Control</b>	<b>20% CV</b>	<b>25% CV</b>	<b>Total</b>
<b>Vigas</b>	6	6	6	18
<b>Cilindros</b>	6	6	6	18
<b>Total</b>	12	12	12	36

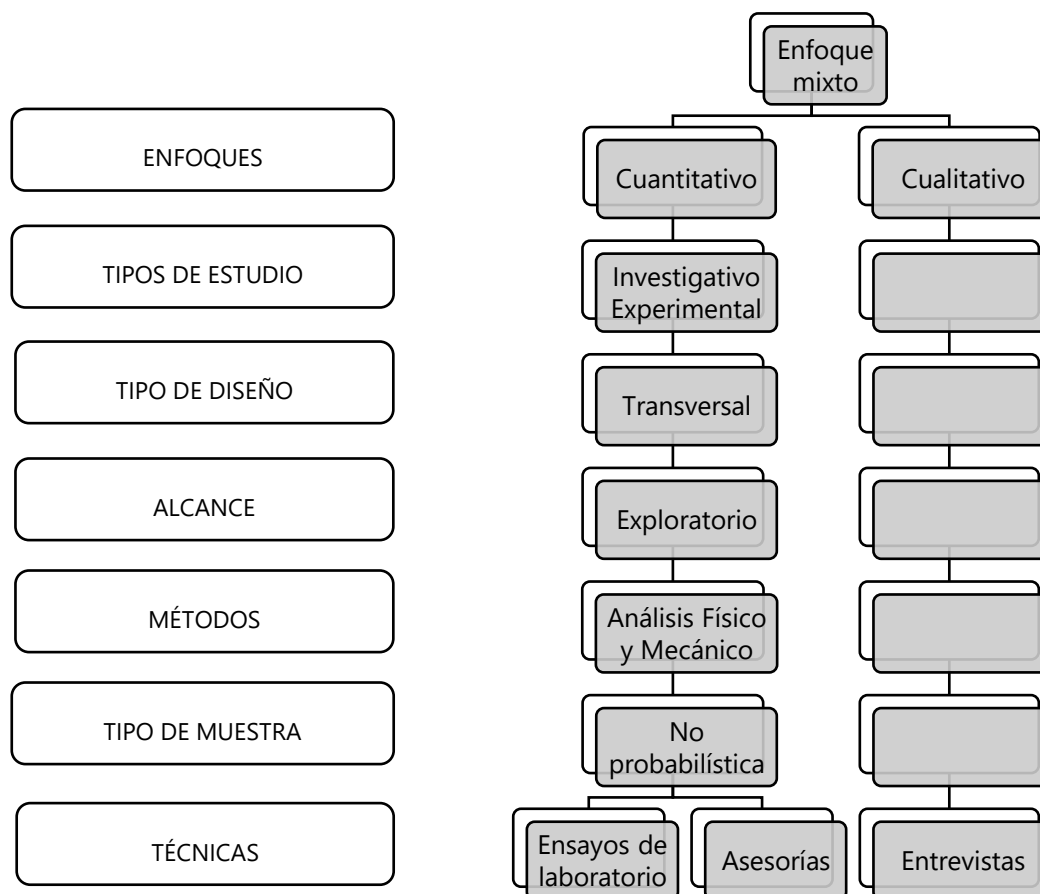
Fuente: Propia

#### **4.6. Metodología de Estudio**

Se estable como metodologías de estudios en un enfoque mixto como ser cuantitativo debido a que la obtención de los resultados puede ser medibles, mediante un proceso de recolección y análisis de datos experimentales, seguidamente una metodología cualitativa que induce a la recopilación y análisis de datos que no se pueden medir numéricamente.

#### 4.6.1. TIPO DE DISEÑO

A continuación, se brinda un diagrama sobre el diseño metodológico utilizado para este proyecto y expone el enfoque investigativo mixto:



**Ilustración 30 – Tipo de Diseño.**

Fuente: Propia

Dentro del tipo de enfoque Sampieri y Jaen explican por qué el enfoque es mixto en el apartado **4.1.** de la investigación.

Según (Narvaez, 2023).

“El tipo de estudio se ha considerado investigativo o exploratorio, debido a que los resultados son muy específicos y si se aplica el estudio de manera rigurosa, el experimento se puede replicar para comprobar la hipótesis”. Apartado 4. de investigación experimental

De igual forma se considera experimental ya que puede depender de una teoría, y pues se conoce que una teoría puede ser una declaración que puede ser verificada o refutada (SurveyMonkey, s.f.).

El tipo de diseño se considera transversal ya que consiste en determinar las diferentes características y el desarrollo del diseño de estudio observacional.

Según (Velázquez, 2023)

“El alcance se denominó exploratorio ya que permite estudiar un problema que no está claramente definido, por lo que se lleva a cabo para comprender mejor, pero sin proporcionar resultados concluyentes” (Parrf. 1)

Los métodos serán de análisis físicos y mecánicos; para los procedimientos mecánicos se emplean para separar mezclas heterogéneas y los procedimientos físicos para separar mezclas homogéneas

Dentro de las técnicas del enfoque cuantitativo se requiere de ensayos de laboratorios para validar y realizar los ensayos mediante lineamientos y normas establecidas, al igual como las asesorías en donde consiste en ofrecer sugerencias y recomendaciones sobre el tema a investigar.

Para el enfoque cualitativo se optó por entrevistas, para conocer que opinan profesiones experimentados respecto al tema a investigar, si creen que existen ciertos parámetros dentro el cual creen que puedan dar resultados positivos, o si la investigación requiere de otros aspectos.

#### **4.7. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

Pruebas no paramétricas

“Existen métodos alternativos de prueba, llamados procedimientos de distribución independientes o no paramétricos, que consistentemente no asumen ninguna comprensión de clase de la distribución primordial de la población, excepto quizás que es secuencial (Levin, 2004, pág. 622)

Los métodos de partición independientes o no paramétricos son más utilizados por los analistas de datos. Su aplicación se puede ver en las diversas ciencias e ingenierías donde los datos se reportan como valores no consecutivos (Walpole, 2007, pág. 671)

Existen varios procedimientos no paramétricos, que también tienen ventajas y desventajas.

1. No es necesario suponer que la población se distribuye como una curva Regular u otra forma específica.
2. Principalmente son más fáciles de hacer y entender.
3. En algunos casos, no se requiere una ordenación o clasificación formal.

También hay inconvenientes, pero dos de particular interés son:

1. Ignorar alguna información.
2. Consistentemente no tan eficientes o claros como las pruebas paramétricas.

Las pruebas no paramétricas pueden manejar pequeñas muestras de datos categóricos u ordinal, independientemente de la distribución de las muestras a comparar.

Las pruebas más utilizadas para realizar estudios mediante métodos no paramétricos se muestran en la siguiente ilustración:

Variable	Una	Muestras	Muestras Independientes			
<b>Dependiente</b>	<b>Muestra</b>	<b>relacionadas</b>				
	<b>(Bondad de ajustes)</b>	2	> 2	2 muestras	> 2 muestras	
		muestras	Muestras			
<b>Nominal</b>	Binominal					
	Chi-Cuadrado	McNemar	Cochran			
	Rachas					
<b>Ordinal/ Intervalo</b>		Rachas de Wald-Wolfowitz				
	Kolmogoro v-	Signos	Friedman	U de Whitney	Mann- Mediana	
	Smirnov	Wilcoxon	Kendall	Moses	Kruskal- Wallis	
				Kolmogorov- Smirnov	Jonckheere- Terpstra	

**Ilustración 31 – Pruebas de análisis no paramétricos**

Fuente: (UMANZOR, GUARDADO, & BODDEN, 2017)

#### 4.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla 13 - Cronograma de actividades**

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
<b>Inicio de Proyecto 1</b>	<b>70 días</b>	<b>jue 5/1/23</b>	<b>mié 12/4/23</b>
<b>Semana 1</b>	<b>2 días</b>	<b>mié 18/1/23</b>	<b>jue 19/1/23</b>
Clase #1 Asesoría Metodológica (lineamientos)	1 día	jue 19/1/23	jue 19/1/23
Obtención de los agregados	1 día	mié 18/1/23	mié 18/1/23
<b>Semana 2</b>	<b>4 días</b>	<b>lun 23/1/23</b>	<b>jue 26/1/23</b>
Clase #2 Asesoría Metodológica Cap. I y II	1 día	mar 24/1/23	mar 24/1/23
Clase #3 Asesoría Metodológica Cap. I y II	1 día	mié 25/1/23	mié 25/1/23
Taller #1- Word	1 día	jue 26/1/23	jue 26/1/23
Análisis de los agregados, peso volumétrico, granulometría y contenido de humedad. Preparación de las muestras para el análisis de gravedad específica	4 días	lun 23/1/23	jue 26/1/23
<b>Semana 3</b>	<b>3 días</b>	<b>mar 31/1/23</b>	<b>jue 2/2/23</b>
Continuación Taller #1- Word	1 día	mar 31/1/23	mar 31/1/23
Reunión Grupal #1 (Recopilación de datos de semana 1,2 y preparación presentación)	1 día	mar 31/1/23	mar 31/1/23
Clase #4 Asesoría Metodológica Cap. III	1 día	mié 1/2/23	mié 1/2/23
Asignación de Proyectos	1 día	mié 1/2/23	mié 1/2/23
Presentación # 1 Cap. I y II	1 día	jue 2/2/23	jue 2/2/23
<b>Semana 4</b>	<b>3 días</b>	<b>mar 7/2/23</b>	<b>jue 9/2/23</b>
Continuación Taller #1 de Word	1 día	mar 7/2/23	mar 7/2/23
Reunión Grupal #2 (Preparación presentación)	1 día	mié 8/2/23	mié 8/2/23
Clase #4 Asesoría Metodológica Cap. 3	1 día	jue 9/2/23	jue 9/2/23
Reunión Grupal #3 y asesoría #1 con el asesor temático	1 día	jue 9/2/23	jue 9/2/23
<b>Semana 5</b>	<b>4 días</b>	<b>vie 17/2/23</b>	<b>mié 22/2/23</b>
Clase #5 Asesoría Metodológica Cap4	1 día	lun 13/2/23	lun 13/2/23
Reunión Grupal #4 y asesoría #2 con el asesor temático	1 día	lun 13/2/23	lun 13/2/23
Continuación Cap. 4	1 día	mar 14/2/23	mar 14/2/23
Reunión Grupal #5	1 día	mié 15/2/23	mié 15/2/23
Reunión Grupal #6 y asesoría #3 con el asesor temático	1 día	vie 17/2/23	vie 17/2/23
<b>Semana 6</b>	<b>5 días</b>	<b>jue 23/2/23</b>	<b>mié 1/3/23</b>
Elaboración de especímenes con mezclas control y con 15% de ceniza volante	1 día	lun 20/2/23	lun 20/2/23
Desmolde de especímenes	1 día	mar 21/2/23	mar 21/2/23
Elaboración de especímenes con mezclas de 20% y 25% con ceniza volante	1 día	vie 24/2/23	vie 24/2/23
Desmolde de especímenes	1 día	mié 25/1/23	mié 25/1/23

### Continuación Tabla 13...

Presentación Tabla de Operacionalización	1 día	mar 21/2/23	mar 21/2/23
Reunión Grupal #7	1 día	mar 21/2/23	mar 21/2/23
Presentación #2 Cap. III y IV	1 día	mié 22/2/23	mié 22/2/23
Reunión Grupal #8	1 día	jue 23/2/23	jue 23/2/23
<b>Semana 7</b>	<b>4 días</b>	<b>jue 2/3/23</b>	<b>mar 7/3/23</b>
Elaboración de especímenes con mezclas de 30% y 10% con ceniza volante y rupturas de mezclas control y 15% con CV	1 día	lun 27/2/23	lun 27/2/23
Desmolde de especímenes	1 día	mar 28/2/23	mar 28/2/23
Reunión Grupal #9	1 día	mar 28/2/23	mar 28/2/23
Asesoría Temática #3	1 día	mar 28/2/23	mar 28/2/23
Reunión Grupal #10	1 día	mié 1/3/23	mié 1/3/23
Presentación # 2 del capítulo 1 al 4	2 días	mié 1/3/23	jue 2/3/23
Ruptura de especímenes de 7 días control y 15% con CV	1 día	vie 3/3/23	vie 3/3/23
<b>Semana 8</b>	<b>4 días</b>	<b>mié 8/3/23</b>	<b>lun 13/3/23</b>
Asesoría Temática #4 y ruptura de especímenes de 10% y 30% con CV 7 días y control y 15% con CV A 14 días	1 día	lun 6/3/23	lun 6/3/23
Presentación # 2-Cap I, II, III y IV	1 día	mié 8/3/23	mié 8/3/23
Reunión Grupal #11 (Correcciones)	1 día	jue 9/3/23	jue 9/3/23
Ruptura de especímenes de 14 días 20% y 25% con CV, asesoría temática #5	1 día	vie 10/3/23	vie 10/3/23
<b>Semana 9</b>	<b>5 días</b>	<b>mar 14/3/23</b>	<b>lun 20/3/23</b>
Ruptura de especímenes de 14 días 30% y 10% con CV	1 día	lun 13/3/23	lun 13/3/23
Reunión Grupal #12	1 día	vie 17/3/23	vie 17/3/23
Reunión Grupal #13	1 día	sáb 18/3/23	sáb 18/3/23
<b>Semana 10</b>	<b>5 días</b>	<b>mar 21/3/23</b>	<b>lun 27/3/23</b>
Reunión Grupal#20 y asertoria temática #6 rupturas de especímenes control y 15% con CV a los 28 días	1 día	lun 20/3/23	lun 20/3/23
Revisión del capítulo5(Asesor Metodológico)	1 día	mar 21/3/23	mar 21/3/23
Reunión Grupal #14	1 día	mié 22/3/23	mié 22/3/23
Reunión Grupal #15 rupturas de especímenes de 20% y 25% con CV a los 28 días	1 día	vie 24/3/23	vie 24/3/23
<b>Semana 11</b>	<b>5 días</b>	<b>mar 28/3/23</b>	<b>lun 3/4/23</b>
Reunión Grupal # 16 rupturas de especímenes de 10% y 30% con CV a 28 días	1 día	lun 27/3/23	lun 27/3/23
Sesión metodológica	1 día	mar 28/3/23	mar 28/3/23
Entrega de informe al asesor	1 día	vie 31/3/23	vie 31/3/23
Reunión Grupal #17	1 día	jue 30/3/23	jue 30/3/23
<b>Semana 12</b>	<b>5 días?</b>	<b>lun 17/4/23</b>	<b>vie 21/4/23</b>
Revisión del Informe al Asesor temático	7 días	sáb 1/4/23	sáb 8/4/23

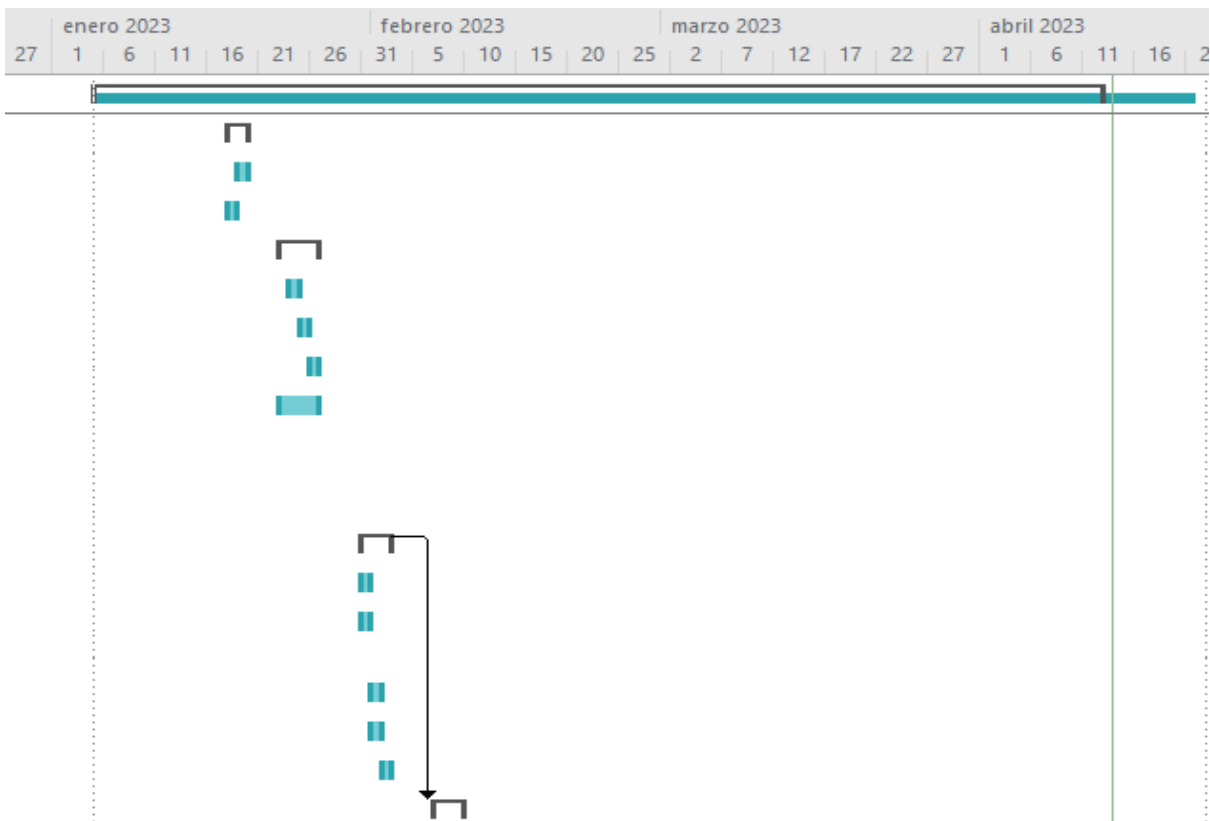


**Continuación Tabla 13...**

Sesión metodológica	5 días	mar 4/4/23	sáb 8/4/23
<b>Semana 13</b>	<b>6 días</b>	<b>jue 5/1/23</b>	<b>jue 12/1/23</b>
Cambios y correcciones	1 día	mié 12/4/23	mié 12/4/23
<b>Semana 14</b>	<b>Duración</b>	<b>lun 17/4/23</b>	<b>sab 22/4/23</b>
Entrega final	1 día	lun 17/4/23	lun 17/4/23

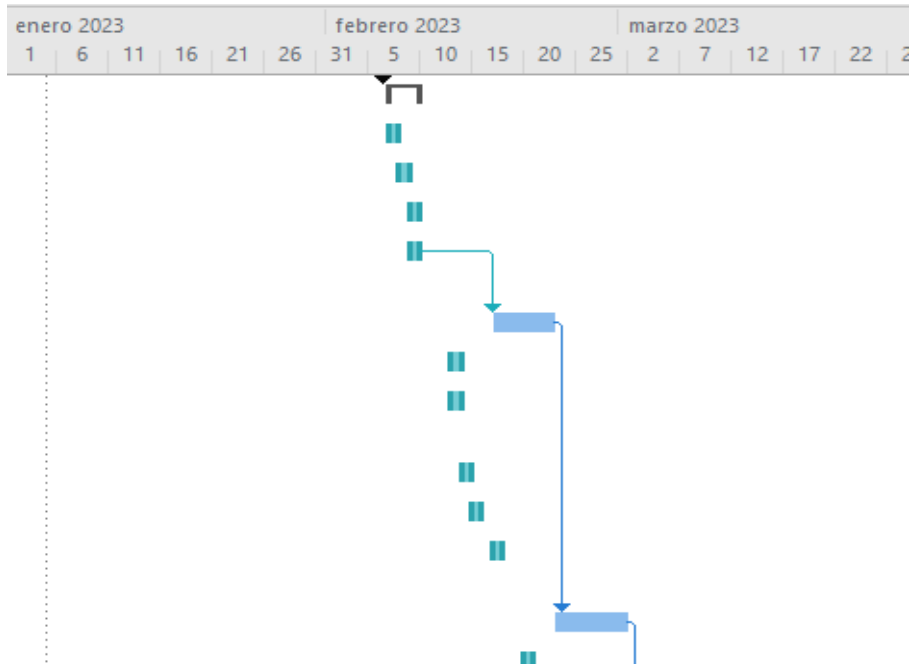
Fuente: Propia

En la **Tabla 13** se visualiza el periodo de estudio correspondiente a un tiempo de 14 semanas con fecha de inicio el 16 de enero de 2023 y fecha de finalización el 22 de abril de 2023. Durante este tiempo se identificó un listado de necesidades y requisitos a cumplir y las tareas necesarias para planificarlos de manera óptima.



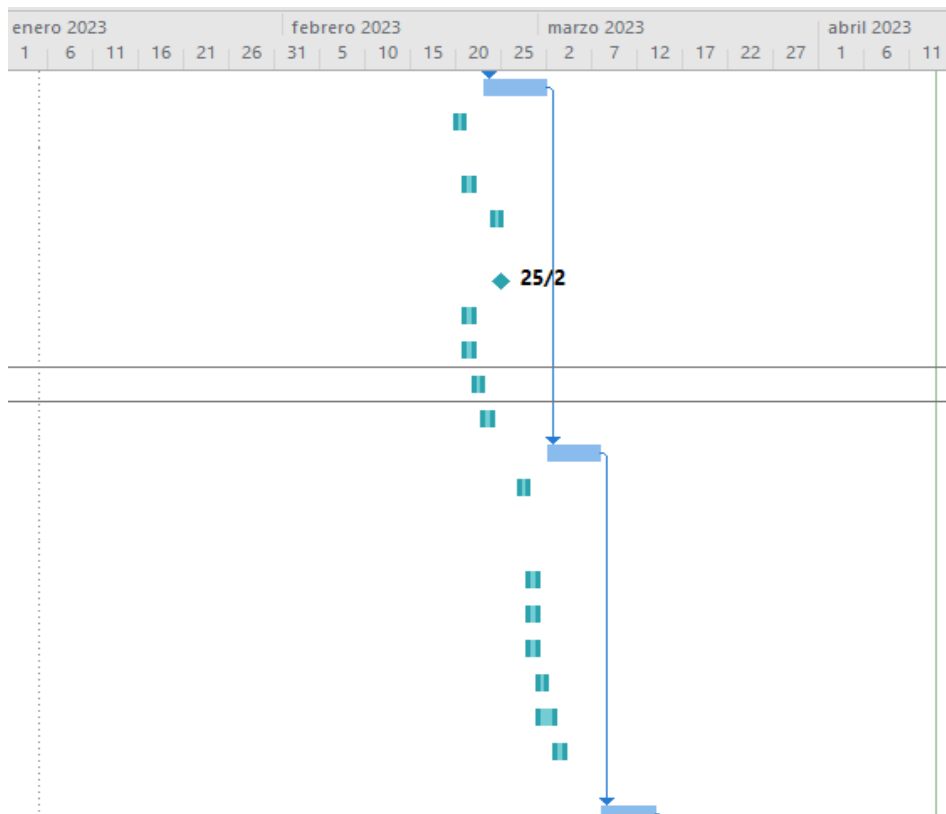
**Ilustración 32 – Diagrama de Gantt, parte I, semana 1 a semana 3**

Fuente: Propia



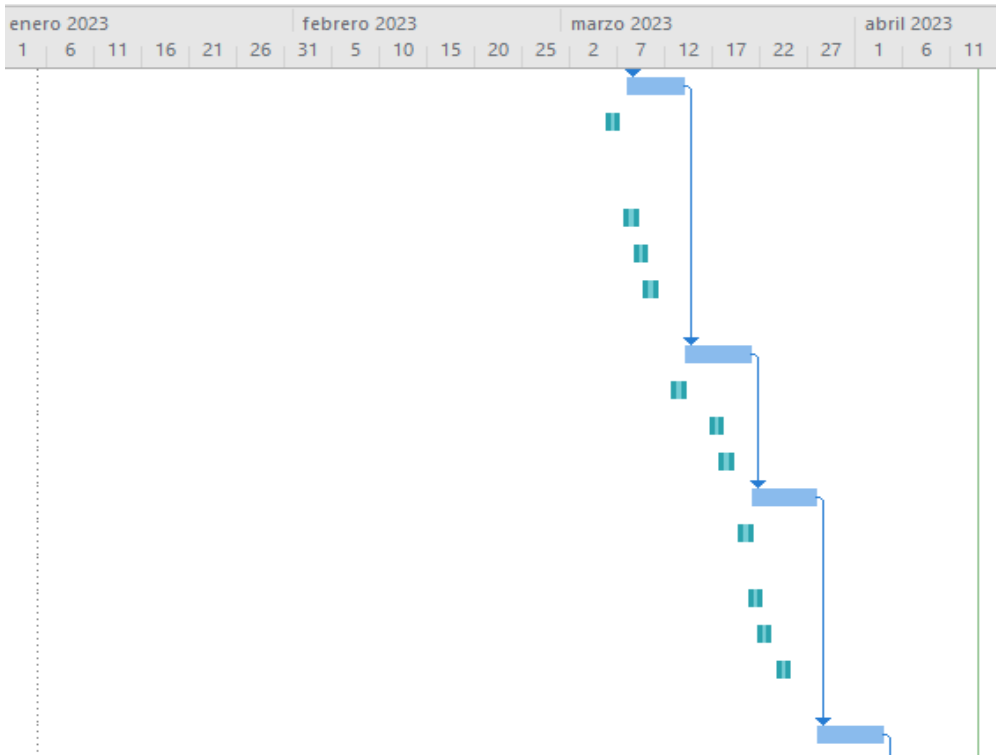
**Ilustración 33 – Diagrama de Gantt, parte II, semana 4 a semana 5**

Fuente: Propia



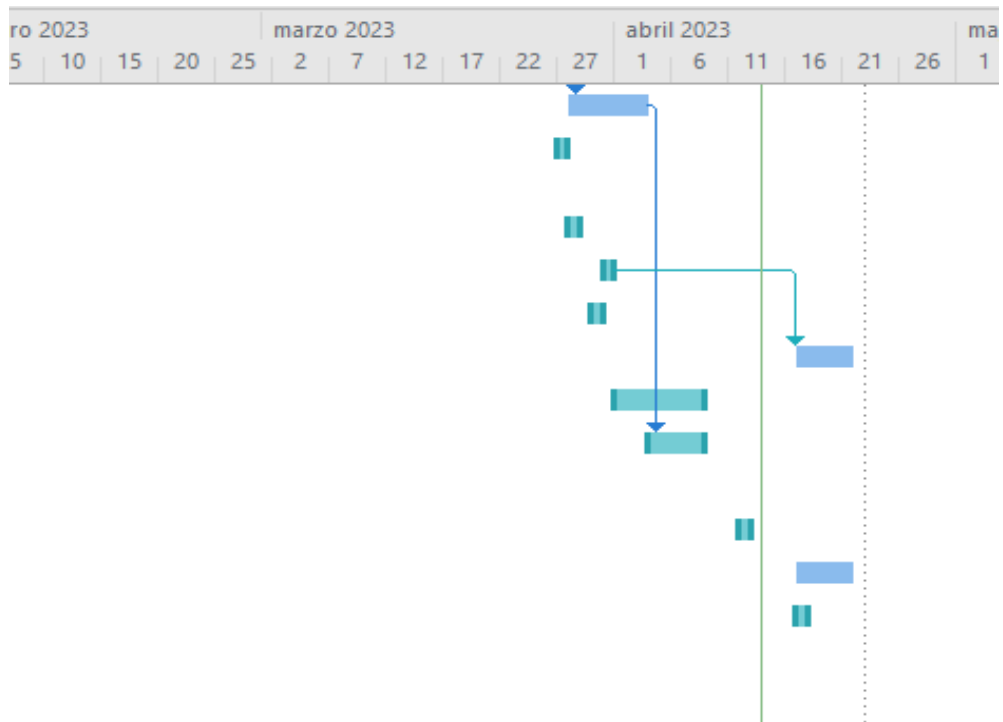
**Ilustración 34 – Diagrama de Gantt, parte III, semana 6 a semana 7**

Fuente: Propia



**Ilustración 35 – Diagrama de Gantt, parte IV, semana 8 a semana 10**

Fuente: Propia



**Ilustración 36 – Diagrama de Gantt, parte V, semana 11 a semana 14**

Fuente: Propia

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el capítulo a continuación se presentan los análisis realizados para llevar a cabo la investigación y así ver el comportamiento del concreto hidráulico teniendo como referencia una mezcla control y los cinco diseños de mezclas con los porcentajes propuestos.

### 5.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

A continuación, se exponen los resultados de los especímenes de mezcla control y con la sustitución de CV realizados para llevar a cabo dicha investigación siendo sometidos a compresión y flexión con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días. Estos testigos siendo diseñados para resistencia del concreto de 4000 psi conteniendo distintos porcentajes de sustitución desde 10% - 30% con el fin de encontrar el valor óptimo para que el concreto hidráulico obtenga las resistencias deseadas y mejor trabajabilidad. Para realizar el análisis y concluir el porcentaje óptimo se hará la comparación tomando los resultados de mezcla control y el porcentaje que ha alcanzado las resistencias de un concreto 4000 psi.

#### 5.1.1. GRANULOMETRÍA

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de granulometría según norma ASTM C33-07.

##### 5.1.1.1. *Análisis de Grava 1½"*

En la siguiente tabla se muestran los resultados al realizar el ensayo de granulometría de la grava 1½" por la norma ASTM C33-07.

**Tabla 14 - Granulometría de grava de 1 ½"**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1½"	38.10	171.30	171.30	5.13	5.13	94.87	90	-	100
1"	25.40	1360.10	1531.40	40.73	45.86	54.14	20	-	55
¾"	19.05	1324.90	2856.30	39.67	85.53	14.47	0	-	15
½"	12.70	446.80	3303.10	13.38	98.91	1.09			
⅜"	9.51	23.20	3326.30	0.69	99.60	0.40	0	-	5
# 4	4.76	6.00	3332.30	0.18	99.78	0.22			
# 8	2.38	1.50	3333.80	0.04	99.83	0.17			
# 16	1.19	1.50	3335.30	0.04	99.87	0.13			

**Continuación Tabla 13...**

# 30	0.595	1.30	3336.60	0.04	99.91	0.09			
# 50	0.297	1.20	3337.80	0.04	99.95	0.05			
# 100	0.149	0.90	3338.70	0.03	99.98	0.02			
Fondo		0.80	3339.50	0.02	100.00	0.00			
		3339.50							

Fuente: Propia.

En la **Tabla 14** se muestran los valores obtenidos al realizar la granulometría de la grava 1½".

Obteniendo un Tamaño Máximo de Árido (TMA)= 1½" (38.10mm).

Seguidamente se calculó el porcentaje de error para la grava de 1½", considerando un valor de 0.23%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07 como: %error ≤ 2%; por lo que si cumple.

$$\%error = 100 - \left( \frac{3339.5 \text{ gr}}{3347.1 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.23\%$$

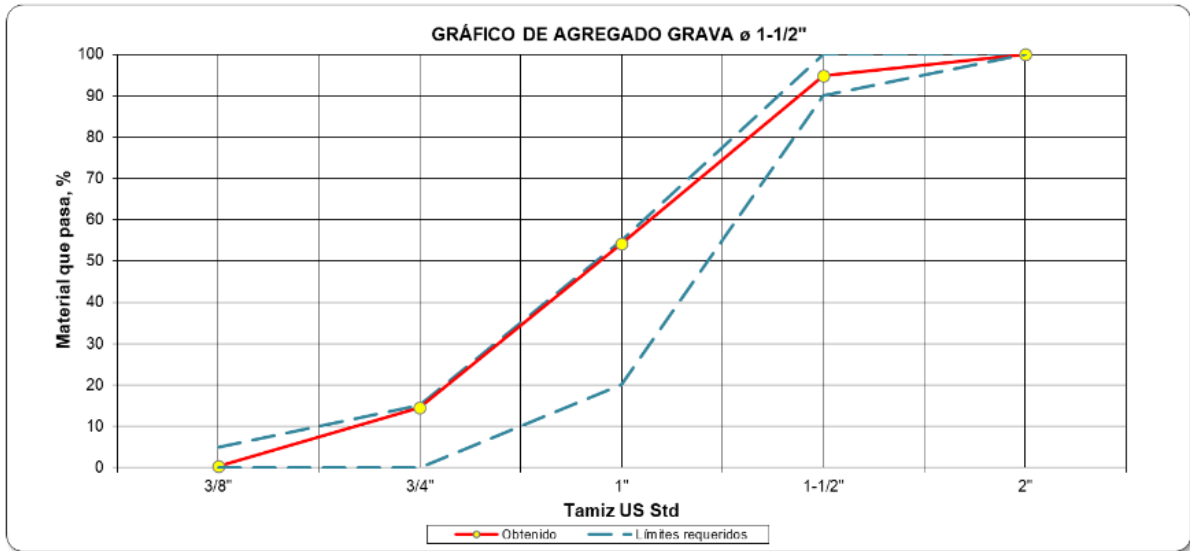
Continuando con el análisis granulométrico para la grava de 1½" según la norma ASTM C33-07 se establecen algunos parámetros del %pasado para algunos tamices que son los siguientes: (2", 1½", 1", ¾" y 3/8"); en donde los resultados obtenidos del análisis granulométrico se deben encontrar entre esos parámetros y ver el comportamiento de la curva granulométrica; por lo tanto, en la siguiente tabla e ilustración se muestra los parámetros y la curva granulométrica para la grava de 1½".

**Tabla 15 – Parámetros de grava de 1½"**

Tamiz	3/8"	3/4"	1"	1-1/2"	2"
<b>Máximo requerido</b>	5.00	15.00	55.00	100.00	100.00
<b>Obtenido</b>	0.40	14.47	54.14	94.87	100.00
<b>Mínimo Requerido</b>	0	0	20	90	100

Fuente: ASTM C33-07

Mediante el proceso del análisis granulométrico obtenido en la **Tabla 14** se procedió a verificar si los parametros del %pasado para la grava 1½" cumplían. Seguidamente se resumen los máximos-mínimos requeridos y los obtenidos del ensayo granulométrico en la **Tabla 15**, valores que permiten realizar la gráfica de la curva granulométrica, en donde se puede apreciar en la **Ilustración 37**; por lo que se establece el cumplimiento de este agregado según la norma ASTM C33-07.



**Ilustración 37 – Gráfica granulométrica para la grava 1½"**

Fuente: Propia

#### 5.1.1.2. Análisis de Grava ¾"

En la Tabla 16 se muestran los resultados al realizar el ensayo de granulometría de la grava ¾" por la norma ASTM C33-07.

**Tabla 16 - Granulometría de grava ¾"**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
¾"	19.05	52.20	52.20	2.05	2.05	97.95	90	-	100
½"	12.70	1085.70	1137.90	42.55	44.60	55.40			
⅜"	9.51	647.20	1785.10	25.37	69.97	30.03	20	-	55
# 4	4.76	732.00	2517.10	28.69	98.66	1.34	0	-	10
# 8	2.38	24.60	2541.70	0.96	99.62	0.38	0	-	5
# 16	1.19	4.00	2545.70	0.16	99.78	0.22			
# 30	0.595	1.80	2547.50	0.07	99.85	0.15			
# 50	0.297	1.30	2548.80	0.05	99.90	0.10			
# 100	0.149	1.00	2549.80	0.04	99.94	0.06			
# 200	0.075	0.00	2549.80	0.00	99.94	0.06			
Fondo		1.60	2551.40	0.06	100.00	0.00			
		2551.40							

Fuente: Propia

En la **Tabla 16** se muestran los valores obtenidos al realizar la granulometría para grava ¾".

Obteniendo un Tamaño Máximo de Árido (TMA)= ¾" (19.05mm).

Seguidamente se calculó como porcentaje de error para la grava de ¾", considerando un valor de 0.32%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07 como: %error ≤ 2%; por lo que si cumple.

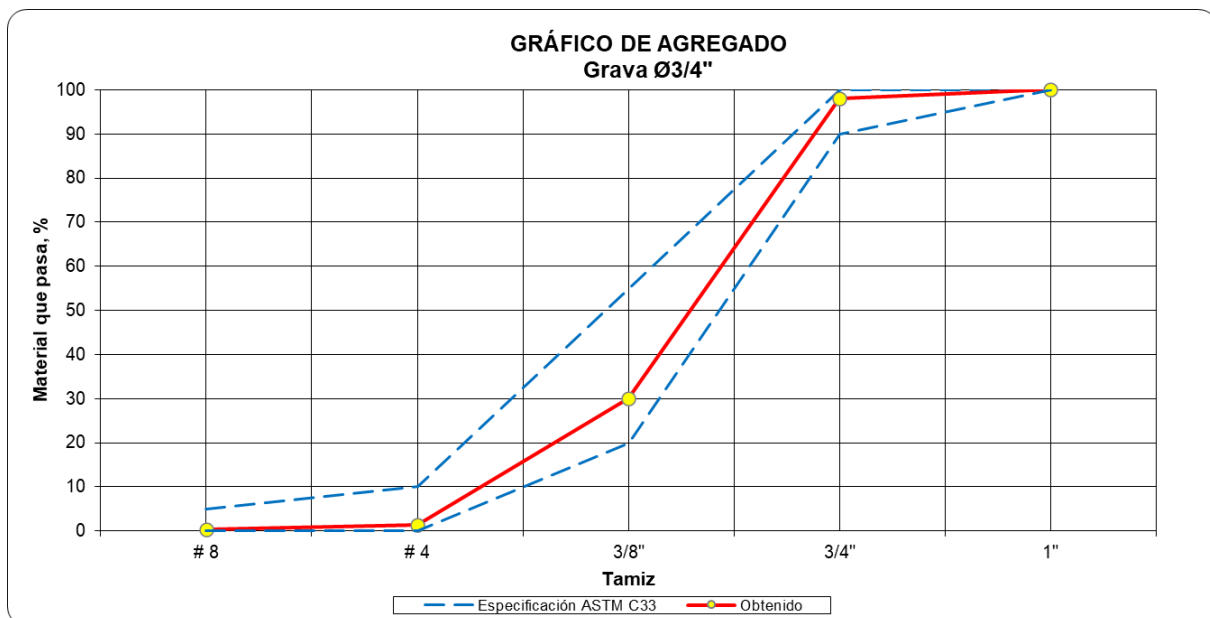
$$\%error = 100 - \left( \frac{2551.40 \text{ gr}}{2559.7 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.32\%$$

Continuando con el análisis granulométrico para la grava de ¾" según la norma ASTM C33-07 se establecen algunos parámetros del %pasado para algunos tamices que son los siguientes: (1", ¾" y 3/8"; #4, #8); en donde los resultados obtenidos del análisis granulométrico se deben encontrar entre esos parámetros y ver el comportamiento de la curva granulométrica. En la siguiente tabla e ilustración se muestra los parámetros y la curva granulométrica para la grava de ¾".

**Tabla 17 – Parámetros para la grava de ¾"**

Tamiz	# 8	# 4	3/8"	¾"	1"
Máximo requerido	5	10	55	100	100
Obtenido	0.38	1.34	30.03	97.95	100.00
Mínimo requerido	0	0	20	90	100

Fuente: ASTM C33-07



**Ilustración 38 - Gráfica granulométrica para la grava 3/4"**

Fuente: Propia

Mediante el proceso del análisis granulométrico obtenido en la **Tabla 16** se procedió a verificar si los parámetros del %pasado para la grava ¾" cumplían. Seguidamente se resumen los máximos y mínimos requeridos y los obtenidos del ensayo granulométrico en la **Tabla 17**, valores que permiten realizar la gráfica de la curva granulométrica, en donde se puede apreciar en la **Ilustración 38**, por lo que se establece el cumplimiento de este agregado según la norma ASTM C33-07.

### 5.1.1.3. Análisis de arena

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados del análisis granulométrico de la arena.

**Tabla 18 – Granulometría de la arena**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
¾"	9.51	0.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
# 4	4.76	102.1	102.10	7.85	7.85	92.15	90	-	100
# 8	2.38	139.9	242.00	10.76	18.62	81.38	80	-	100
# 16	1.19	239.1	481.10	18.39	37.01	62.99	50		85
# 30	0.595	296.7	777.80	22.82	59.84	40.16	25		60
# 50	0.297	288.2	1066.00	22.17	82.01	17.99	5		30
# 100	0.149	176.0	1242.00	13.54	95.55	4.45	0		10
Fondo		57.90	1299.90	4.45	100.00	0.00			
		1299.90							

Fuente: Propia

En la **Tabla 18** se muestran los valores obtenidos al realizar la granulometría para la arena.

Seguidamente se calculó como porcentaje de error para la arena, considerando un valor de 0.79%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07 como: %error ≤ 1%; por lo que si cumple.

$$\%error = 100 - \left( \frac{1299.90 \text{ gr}}{1310.3 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.79\%$$

### Módulo de finura arena

Para que la arena sea apta para la mezcla de concreto hidráulico el módulo de finura debe ser mayor a 2.3 y se calcula por medio de la siguiente fórmula en donde se realiza la sumatoria de los %PRA a excepción del tamiz #200 y se divide entre 100, como se muestra a continuación:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{7.85+18.62+37.01+59.84+82.01+95.55}{100} = 3.01$$



Podemos observar los límites de la arena en la tabla siguiente:

**Tabla 19 - Tipo de arena según módulo de finura**

TIPO DE ARENA	MÓDULO DE FINURA
Arena media	2.80 – 3.10
Arena fina	2.50 – 2.80
Arena muy fina	2.30 – 2.50

Fuente: ASTM C136-01

En la Tabla 19 se puede observar que nuestra arena resulta ser arena media, en donde el módulo de finura se especifica que no puede ser inferior a 2.2 ni superior a 3.2, obteniendo un valor de MF de 3.01. Por lo tanto, el agregado fino está dentro de los rangos aceptados de la norma ASTM C136-01.

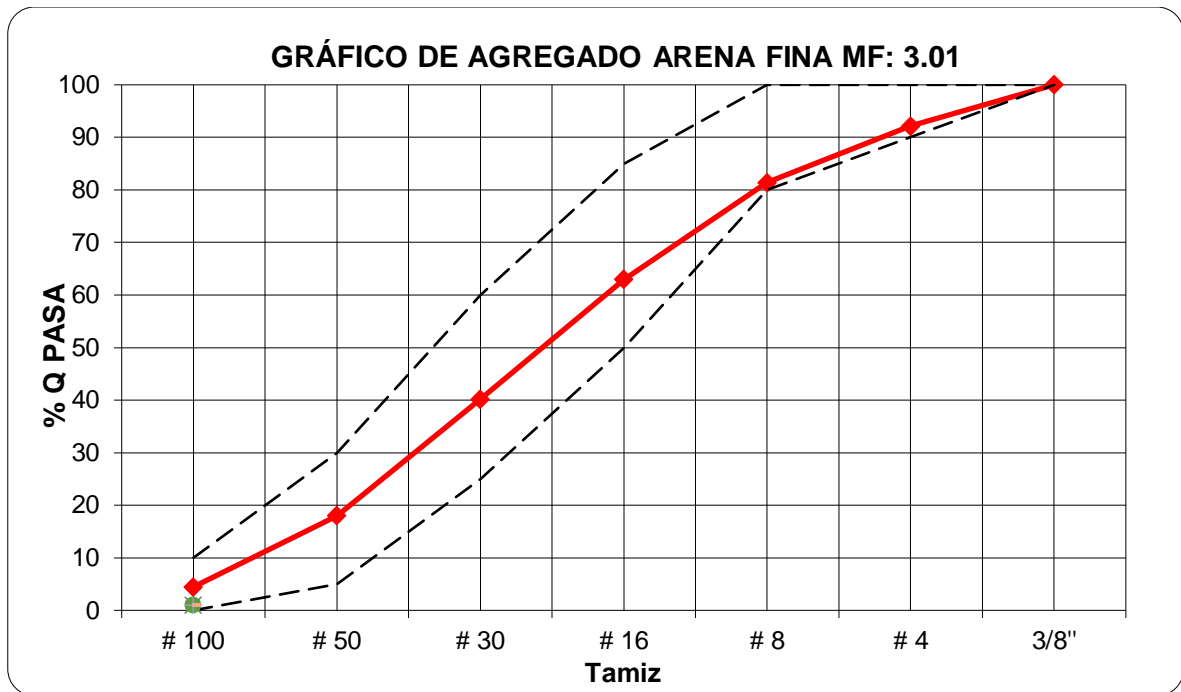
Continuando con el análisis granulométrico para la arena según la norma ASTM C33-07 se establecen algunos parámetros del porcentaje pasado para algunos tamices que son los siguientes: (3/8"; #4, #8, #16, #30, #50 y #100), en donde los resultados obtenidos del análisis granulométrico se deben encontrar entre esos parámetros y ver el comportamiento de la curva granulométrica. Por lo tanto, en la siguiente tabla e ilustración se muestra los parámetros y la curva granulométrica para la arena.

**Tabla 20 – Parámetros para la arena**

Tamiz	# 100	# 50	# 30	# 16	# 8	# 4	3/8"
<b>Max Requerido</b>	10	30	60	85	100	100	100
<b>Obtenido</b>	4.45	17.99	40.16	62.99	81.38	92.15	100.00
<b>Min Requerido</b>	0	5	25	50	80	90	100

Fuente: ASTM C33-07

Mediante el proceso del análisis granulométrico obtenido en la **Tabla 18** se procedió a verificar si los parámetros del porcentaje pasado de la arena cumplían. Seguidamente se resumen los máximos y mínimos requeridos y los obtenidos del ensayo granulométrico en la **Tabla 20**, valores que permiten realizar la gráfica de la curva granulométrica, en donde se puede apreciar en la **Ilustración 39**, por los que se establece el cumplimiento de este agregado según la norma ASTM C33-07.



**Ilustración 39 - Gráfica granulométrica para la arena**

Fuente: Propia

### 5.1.2. COLORIMETRÍA

Basándose en la norma ASTM C-40 se realiza la colorimetría de la arena para saber el grado de impurezas haciendo uso de la escala de colores Gardner que contiene 5 niveles de colores que representa desde el número 1 como el más libre de impureza, seguidamente del número 2 con el proceso de tener impurezas dentro del agregado y se muestra a continuación:



**Ilustración 40 - Ensayo de Colorimetría**

Fuente: Propia

Este ensayo se realiza para determinar cualitativamente la presencia de componentes orgánicos en la arena de estudio. Según la escala del colorímetro, la arena que se ha usado de Eterna S.A. para realizar las mezclas de concreto para la investigación presente demuestra ser No.1 como se aprecia en la Ilustración **40**, lo cual denota que es una arena óptima y libre de impurezas lo cual ayuda al esfuerzo a compresión, por lo que se establece el cumplimiento del agregado.

### 5.1.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA

A continuación, se presenta la tabla que resume los resultados de las gravedades específicas de los agregados usados para el diseño de mezcla para la realización de los testigos para la investigación presente. Se hace referencias a las normas ASTM C-127 para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos y ASTM C-128 para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos.

**Tabla 21 - Gravedades Específicas de los Agregados**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Gravedad Específica</b>	<b>Absorción (%)</b>	<b>Peso húmedo suelto (lb/ft<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso húmedo suelto (kg/m<sup>3</sup>) (1)</b>
Arena	2.60	2.16	90.32	1,446.61
Grava 3/4"	2.67	1.9	96.10	1,539.19
Grava 1-1/2"	2.67	1.74	95.92	1,536.30

(1) Factor usado para convertir a lb/ft<sup>3</sup> a kg/m<sup>3</sup>

Fuente: Propia

Se puede apreciar el valor de la gravedad específica en la **Tabla 21** para cada uno de los agregados usados para las mezclas de concreto hidráulico realizadas, de igual forma, el porcentaje de absorción y el peso húmedo suelto expresado en dos distintas unidades. Se establece el cumplimiento de los pesos húmedos sueltos de los agregados finos y gruesos, ya que la arena está por debajo del máximo de 1860kg/m<sup>3</sup>, para la grava ¾" y la grava de 1½" están por debajo del máximo de 1700 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.1.4. HUMEDADES

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los porcentajes de humedad de los agregados para la mezcla control y mezcla con 15% de ceniza volante:

**Tabla 22 - Resultados de %humedad de Mezcla control – 15% CV**

20/02/2023	Mezcla Control - 15% CV					
	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena	
	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)
	501.60 gr	492.60 gr	500.60 gr	490.55 gr	500.00 gr	465.20 gr
	% humedad					
1.83 %		2.05 %		7.48 %		

Fuente: Propia

En la **Tabla 22** se dan los resultados de los agregados para calcular los pesos para el diseño de mezcla para mezcla control y con 15% de CV y poder dosificar acorde a esas humedades.

En la siguiente tabla se observan los resultados de los porcentajes de humedad de los agregados para la mezcla 20% y 25% de ceniza volante:

**Tabla 23 – Resultados de %humedad de 20% CV – 25%CV**

24/02/2023	20% CV - 25% CV					
	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena	
	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)
	501.50 gr	495.10 gr	500.90 gr	490.40 gr	500.00 gr	483.50 gr
	% humedad					
1.29 %		2.14 %		3.41 %		

Fuente: Propia

En la **Tabla 23** se dan los resultados de los agregados para calcular los pesos para el diseño de mezcla para 20% y 25% de CV y diseñar acorde a esas humedades.

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los porcentajes de humedad de los agregados para la mezcla 30% y 10% de ceniza volante:

**Tabla 24 – Resultados de %humedad de 30% CV – 10%CV**

27/02/2023	30% CV - 10% CV Tabla 7. Resultados de %humedad de 30% CV – 10%CV					
	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena	
	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)	Peso antes (gr)	Peso después (gr)
	506.60 gr	498.30 gr	500.30 gr	490.70 gr	500.60 gr	463.30 gr
	% humedad					
1.67 %		1.96 %		8.05 %		

Fuente: Propia

En la **Tabla 24** se dan los resultados de los agregados para calcular los pesos para el diseño de mezcla para 10% y 30% de CV y diseñar acorde a esas humedades.

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los promedios de porcentajes de humedades de los agregados:

**Tabla 25 – Resultados promedios de % humedades de los agregados**

PROMEDIO % HUMEDADES		
Grava 1 1/2"	Grava 3/4"	Arena
1.60 %	2.05 %	6.31 %

Fuente: Propia

En la **Tabla 25** se aprecian los promedios de las humedades de los agregados obtenidas de los tres días en que se realizaron las mezclas de concreto hidráulico.

## 5.2. DISEÑO DE MEZCLA

Al tener los estudios de laboratorio previo a hacer el diseño de la mezcla, teniendo los datos de los agregados como ser la granulometría, las gravedades específicas, y demás se procede a calcular las humedades de los agregados y al obtener dichos valores se hace el cálculo de la dosificación para cada una de las mezclas a realizar por porcentajes estipulados. Se menciona nuevamente que el cemento a utilizar para los diseños de mezclas de concreto hidráulico es un cemento portland tipo I que también es conocido como estructural avanzado regido por la norma ASTM C-150 un cemento con procedencia de Cementos del Norte S.A., en donde se puede observar la presentación del cemento en el **Anexo 1**, como su ficha técnica en los **Anexo 18** y **Anexo 19**, de igual forma como el retardador y promotor de resistencia IMX RB-910, donde se puede ver su ficha técnica en los **Anexo 16** y **Anexo 17**. Todos los diseños de mezclas de concreto hidráulico se hicieron para 1m<sup>3</sup> de volumen, seguidamente se procede a realizar dos bachadas o batidas de mezclas para completar los 6 cilindros y 6 vigas con un volumen de 0.07m<sup>3</sup> cada una, en las siguientes tablas de diseño de mezclas representa 0.07m<sup>3</sup>.

El diseño de mezcla control es para un f'c de 4000 PSI en donde se presenta a continuación:

**Tabla 26 – Diseño mezcla control**

MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI		
	Peso (lb)	Peso (kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	47.60	21.59
Arena	118.50	53.74
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	128.30	58.19
Agua	21.40	9.71
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 26** se expresa la dosificación calculada para la mezcla control y ser esa a comparar posterior con los especímenes con las sustituciones que se ha planteado anteriormente.

El diseño de mezcla con 10% de ceniza volante para un  $f'c$  de 4000 PSI se presenta a continuación:

**Tabla 27 – Diseño mezcla con 10% CV**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lb)	Peso (kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	42.80	19.41
Ceniza Volante	4.80	2.18
Arena	118.50	53.74
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	128.30	58.19
Agua	21.40	9.71
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 27** se puede ver la dosificación con la sustitución del 10% de Cemento Estructural Advanced Tipo I con un peso en libras de 4.80 para ser sustituido con ceniza volante.

El diseño de mezcla con 15% de ceniza volante para resistencia 4000 PSI se presenta a continuación:

**Tabla 28 – Diseño mezcla con 15% CV**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lb)	Peso (kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	40.50	18.37
Ceniza Volante	7.10	3.22
Arena	118.50	53.74
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	128.30	58.19
Agua	21.40	9.71
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 28** se aprecia la dosificación con la sustitución del 15% de Cemento Estructural Advanced Tipo I con un peso en libras de 7.10 para ser sustituido con ceniza volante.

El diseño de mezcla con 20% de ceniza volante para resistencia 4000 PSI se presenta a continuación:

**Tabla 29 – Diseño mezcla con 20% CV**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lb)	Peso (Kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	38.10	17.28
Ceniza Volante	9.50	4.31
Arena	114.00	51.70
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	127.60	57.87
Agua	25.90	11.75
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 29** se plantea la dosificación con la sustitución del 20% de Cemento Estructural Advanced Tipo I con un peso en libras de 9.50 para ser sustituido con ceniza volante. El diseño de mezcla con 25% de ceniza volante para resistencia 4000 PSI se presenta a continuación:

**Tabla 30 – Diseño mezcla con 25% CV**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lb)	Peso (Kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	35.70	16.19
Ceniza Volante	11.90	5.40
Arena	114.00	51.70
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	127.60	57.87
Agua	25.90	11.75
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 30** se plantea la dosificación con la sustitución del 25% de Cemento Estructural Advanced Tipo I con un peso en libras de 11.90 para ser sustituido con ceniza volante. El diseño de mezcla con 30% de ceniza volante para resistencia 4000 PSI se presenta a continuación:

**Tabla 31 – Diseño mezcla con 30% CV**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600</b>		
	Peso (lb)	Peso (Kg)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	33.30	15.10
Ceniza Volante	14.30	6.49
Arena	118.50	53.74
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	128.30	58.19
Agua	21.40	9.71
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la **Tabla 31** se plantea la dosificación con la sustitución del 30% de Cemento Estructural Advanced Tipo I con un peso en libras de 14.30 para ser sustituido con ceniza volante.

En la tabla siguiente se dan a conocer en resumen los valores que fueron utilizados para los diseños de los diferentes tipos de mezclas:

**Tabla 32 – Resumen de porcentajes y pesos de ceniza utilizada**

Tipo de mezcla	% Ceniza volante	Peso de cemento (lb)	Peso de cemento (kg)	Peso Ceniza (lb)	Peso Ceniza (kg)
Mezcla Control	0%	47.60	21.59	0.00	0.00
Mezcla 1	10%	42.80	19.41	4.80	2.18
Mezcla 2	15%	40.50	18.37	7.10	3.22
Mezcla 3	20%	38.10	17.28	9.50	4.31
Mezcla 4	25%	35.70	16.19	11.90	5.40
Mezcla 5	30%	33.30	15.10	14.30	6.49

Fuente: Propia

Para ver los pesos de 1m<sup>3</sup> de cada diseño de mezcla ver los **Anexo 22** al **Anexo 27**.

### 5.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

En este apartado se estudia el concreto en su estado plástico, se especifican las pruebas realizadas al momento de estar realizando la mezcla del concreto hidráulico con los resultados de los agregados previamente obtenidos. Se presentan los ensayos de peso volumétrico del concreto, los revenimientos por mezcla y porcentajes de aire.

#### 5.3.1. PESO VOLUMÉTRICO Y CONTENIDO DE AIRE

En la siguiente tabla se observa los datos obtenidos de cada uno de los pesos volumétricos según cada diseño de mezcla.

**Tabla 33 – Propiedades del concreto en estado plástico**

Diseño de mezcla	Peso mezcla + tazón (lb)	Peso Tazón (lb)	Volumen Tazón (ft3)	Peso Volumétrico (lb/ft3)	Peso Volumétrico (kg/m3)
<b>Control</b>	90.13	13.75	0.50	152.76	2447.05
<b>10%</b>	87.47	13.75	0.50	147.44	2361.70
<b>15%</b>	89.24	13.75	0.50	150.99	2418.60
<b>20%</b>	88.80	13.75	0.50	150.10	2404.38
<b>25%</b>	88.80	13.75	0.50	150.10	2404.38
<b>30%</b>	87.91	13.75	0.50	148.32	2375.93

Fuente: Propia



En la tabla 32 se demuestran los valores de los pesos volumétricos de cada una de las mezclas según las dosificaciones que se realizaron en el sistema inglés (SI) como en el sistema métrico (SM). Se observa que las mezclas de concreto hidráulico con todas las sustituciones de CV es menos pesado que la mezcla control. Un concreto más liviano tiene las ventajas de ser más resistentes, de igual forma, puede prevenir la destrucción de las estructuras en un terremoto. Las mezclas más livianas vienen siendo las de 10% y 30% con CV como se observa en la Tabla 33, con 147.44 lb/ft<sup>3</sup> y 148.32 lb/ft<sup>3</sup>, respectivamente. Seguidamente, 20% y 25% con el mismo peso siendo de 150.10 lb/ft<sup>3</sup>. Luego, la de 15% obteniendo un valor de 150.99 lb/ft<sup>3</sup> y por último la mezcla control con un peso de 152.76 lb/ft<sup>3</sup>.

En la siguiente tabla se observa los datos obtenidos de cada uno de los revenimientos obtenidos y los % de aire que mostro cada diseño de mezcla.

**Tabla 34 - Resultados de revenimientos y % de Aire**

Tipo de Mezclas	Revenimiento	% de Aire
<b>Control</b>	6"	1.1
<b>10% con CV</b>	6.125"	1.6
<b>15% con CV</b>	6.625"	1.1
<b>20% con CV</b>	6.625"	1.1
<b>25% con CV</b>	6"	1.4
<b>30% con CV</b>	5.875"	1.5

Fuente: Propia

En la tabla 33 se muestran los valores de los revenimientos obtenidos con el cono de Abrams, se puede afirmar que la media de los revenimientos de las mezclas con de porcentaje es casi la misma que el revenimiento de la mezcla control, con valores de 5.975" y 6" para la media con porcentaje de CV y la mezcla control. Seguidamente el % de aire en las mezclas de diseño se realizó haciendo uso del medidor de contenido de aire tal y como se puede apreciar en la tabla 32. Por lo siguiente la mezcla control, 15% con CV, 20% con CV tiene el mismo porcentaje y el más bajo, y las mezclas de 25%, 30% y 10% con CV con variaciones de aumento del 0.1%. Según la ACI 211.1 el contenido de aire debe de ser de un máximo de 2% y la norma ASTM C-94 que son las especificaciones para el concreto fresco nos dice que puede ser 1 +/-0.10, por lo que concluimos que todos los % de aire están dentro de lo aceptable. Se observa en la **Ilustración 42** cuando ya se había alcanzado el valor para esa mezcla de concreto.



**Ilustración 41 - Peso de Concreto estado plástico**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 41** se realiza el pesaje del concreto en su estado plástico para realizar los pesos volumétricos posteriormente, en donde se consideraban 3 valores como lo es el peso (lb), el peso del tazón (lb) y el volumen del tazón (ft<sup>3</sup>).



**Ilustración 42 -Contenido de Aire**

Fuente: Propia

## 5.4. RESULTADOS A COMPRESIÓN

A continuación, se desglosará los resultados de esfuerzos a compresión en 3 edades diferentes, 7 días, 14 días, y 28 días.

### 6.4.1. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a compresión a los 7 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de diámetro y 12" de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un  $f'c=4000$  psi y un sobre diseño de 4500 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 20**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbf)	Res. Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	27/02/2023	7	30.10	127,600	4,514	4,600	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					29.90	132,810	4,698		
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	6/3/2023	7	29.80	76,084	2,692	2,650	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					29.60	73,836	2,612		
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	27/02/2023	7	29.90	112,020	3,963	3,900	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					30.20	108,710	3,846		
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	3/3/2023	7	30.60	64,830	2,294	2,450	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					30.20	74,130	2,623		
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	3/3/2023	7	29.90	58,700	2,077	2,110	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					30.10	60,820	2,152		
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	6/3/2023	7	30.40	51,715	1,830	1,800	M1
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 7 días					30.50	50,186	1,776		

**Ilustración 43 – Pruebas a compresión a los 7 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 43**, se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de compresión a 7 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV, así mismo, previamente al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes, se procedió a tomar el peso en libras de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, y colocación de los cabezales y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcular la carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 28.27 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en PSI.

De igual forma, se puede identificar que la mezcla de 15% con CV alcanzó un 97.50% a los 7 días obteniendo una resistencia a la compresión de 3900 PSI. Sin embargo, se observa que la mezcla del 10% de CV alcanzó una resistencia de aproximadamente de un 66.25% a los 7 días equivalente a 2650 PSI. Mientras la mezcla de 20% con CV alcanzó un 61.25%, y el 25% con CV una resistencia del 52.75% equivalente a 2110 psi y 30% con CV una resistencia de 45%, cumpliendo todas las mezclas el criterio de llegar entre el 40%-65% de resistencia de 4000 psi.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

#### 6.4.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a compresión a los 14 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de diámetro y 12" de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un  $f'c=4000$  psi y un sobre diseño de 4500 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 20**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbf)	Res. Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	6/3/2023	14	30.20	140,790	4,981	5,060	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.30	145,780	5,157		
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	13/03/2023	14	30.20	106,310	3,761	3,730	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.40	104,715	3,705		
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	6/3/2023	14	30.20	119,912	4,242	4,170	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.10	116,368	4,117		
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	10/3/2023	14	30.80	93,218	3,298	3,040	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.60	90,462	3,200		
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	10/3/2023	14	29.60	81,555	2,885	3,040	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.10	90,462	3,200		
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	13/03/2023	14	30.20	59,895	2,119	2,080	M2
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 14 días					30.40	58,125	2,057		

**Ilustración 44 - Pruebas a compresión a los 14 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 44** se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de compresión a 14 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV, así mismo, previamente al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes o testigos, se procedió a tomar el peso en libras de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, y colocación de los cabezales y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcular la carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 28.27 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en PSI.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la iteración del 15% de CV se observa que la mezcla alcanzó un 104.25% de resistencia a los 14 días con equivalente a 4170 PSI, superando la resistencia de diseño, y siendo inferior a la mezcla control. Sin embargo, se observa que la mezcla del 10% de CV logró superar el rango de 75%-90%, con un 93.25% de resistencia alcanzada a los 14 días equivalente a 3730 PSI. Para las mezclas de 20% y 25% con CV cumple con el criterio para los 14 días que se estable dentro de 65%-90%, con una resistencia de 76% equivalente a 3040 psi, mientras que la mezcla del 30% con CV no cumple el criterio ya que solo alcanza un 52% de resistencia a los 14 días.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

### 6.4.3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a compresión a los 28 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de diámetro y 12" de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un  $f'c=4000$  psi y un sobre diseño de 4500 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 20**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbf)	Res. Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	20/03/2023	28	30.20	153,823	5,442	5,360	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.20	149,277	5,281		
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	27/03/2023	28	30.30	70,989	2,512	3,760	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.10	68,891	2,437		
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	$F'c=4000$	20/02/2023	20/03/2023	28	30.10	136,944	4,845	4,770	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.20	132,896	4,701		
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	24/03/2023	28	30.00	90,940	3,217	3,810	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.40	124,460	4,403		
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	$F'c=4000$	24/02/2023	24/03/2023	28	30.00	90,290	3,194	3,820	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.40	126,000	4,458		
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	$F'c=4000$	27/02/2023	27/03/2023	28	30.30	70,989	2,512	2,470	M3
	C2	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.10	68,891	2,437		

**Ilustración 45 - Pruebas a compresión a los 28 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 45** se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de compresión a 28 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV, así mismo, previamente al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes o testigos, se procedió a tomar el peso (lb) de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, y colocación de los cabezales y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcular la carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 28.27 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en psi.

Seguidamente en la ilustración 45 se puede observar que para la mezcla control ha superado el 100% de resistencia a los 28 días por tercera vez con el que se diseñó la mezcla de concreto, obteniendo un 134% de resistencia equivalente a 5360 PSI. Se puede identificar que la mezcla de 15% con CV alcanzó un 119.25% de resistencia a los 28 días resultando 4770 PSI. De igual forma se observa que la mezcla del 25% de CV logró alcanzar una resistencia de 95.50% que equivale a 3820 PSI. Para la mezcla de 20% con CV, con una resistencia del 95.25% equivalente a 3810 PSI. Seguidamente la mezcla de 10% con CV con un 94% de resistencia alcanzada a los 28 días equivalente a 3760 PSI, y por último la mezcla 30% con CV, con resistencia a los 28 días de 2470 PSI, equivalente al 61.75% de la resistencia de concreto de diseño siendo el único porcentaje que no cumplió el criterio a los 14 y 28 días.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

#### 6.4.4. ANÁLISIS A COMPRESIÓN

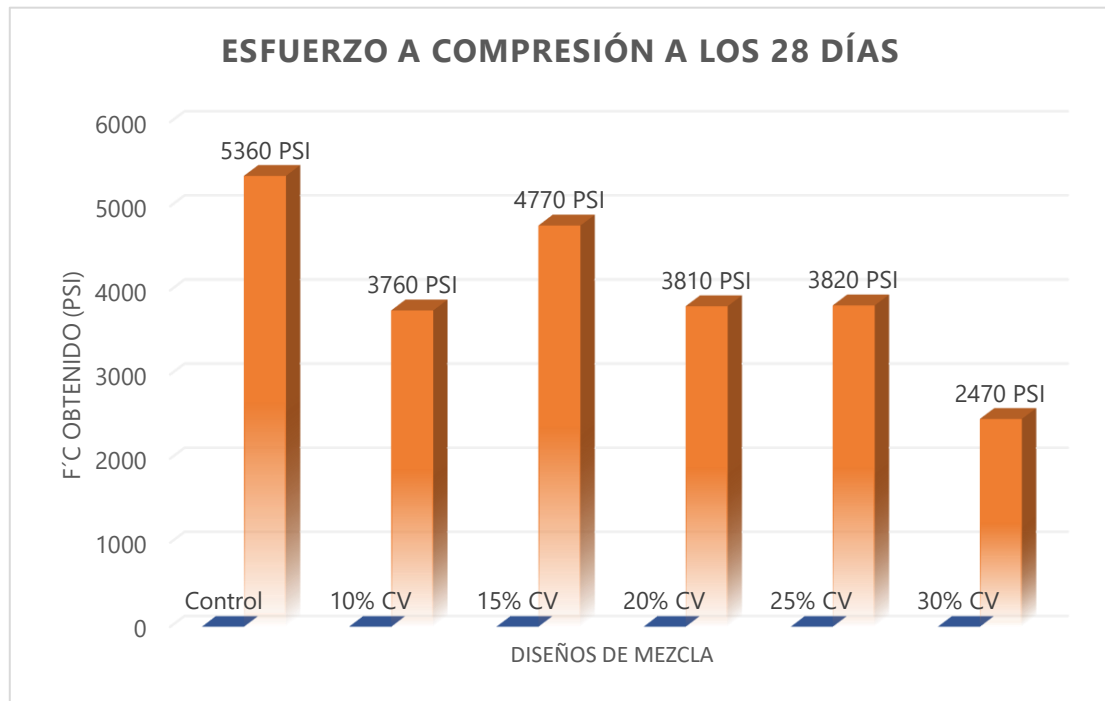
**Tabla 35 – Resultados a compresión de los diseños de mezclas**

	<b>0 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
Control	0 psi	4600 psi	5060 psi	5360 psi
10%	0 psi	2650 psi	3730 psi	3730 psi
15%	0 psi	3900 psi	4170 psi	4770 psi
20%	0 psi	2450 psi	3040 psi	3810 psi
25%	0 psi	2110 psi	3040 psi	3820 psi
30%	0 psi	1800 psi	2080 psi	2470 psi



Fuente: Propia

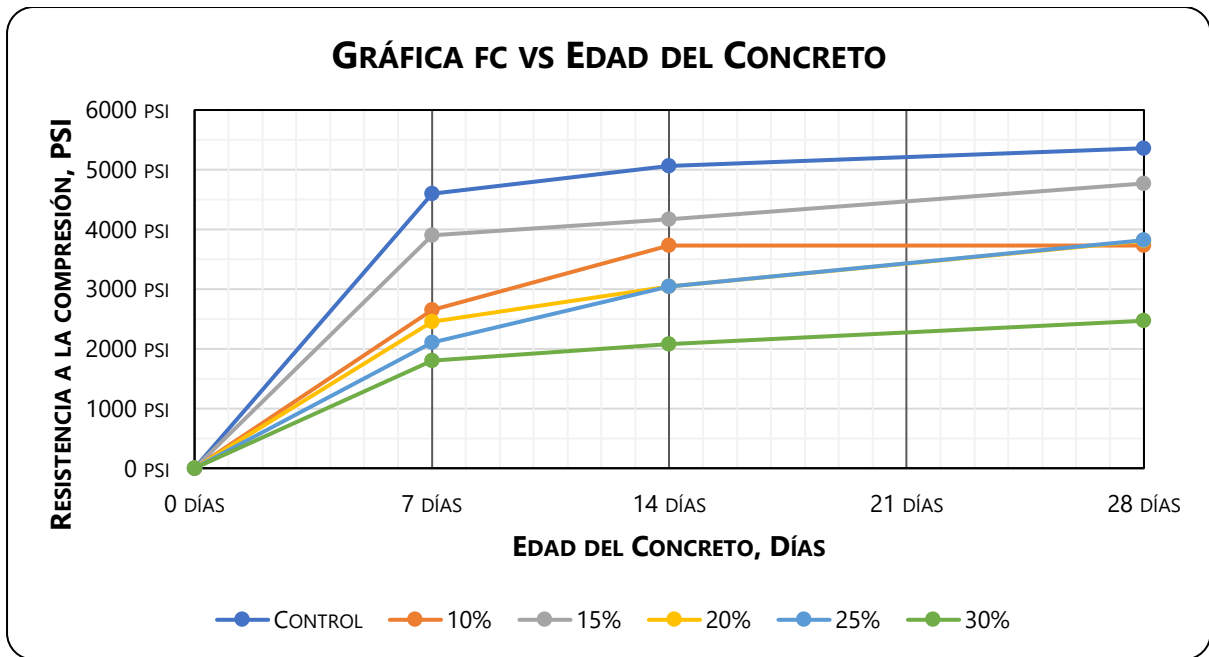
En la tabla anterior se resumen todas las resistencias del concreto en edades de 7,14 y 28 días y en base a 6 diseños de mezcla como lo es: control, 10% con CV, 15% con CV, 20% con CV, 25% con CV, 30% con CV.



**Ilustración 46 - Gráfico a Compresión 28 días**

Fuente: Propia

Para el diagrama de barras de  $F'c$  vs Edad del Concreto en el análisis de esfuerzo a compresión, se demuestran como es la comparación tomando como referencia la mezcla control. Se analiza que para fuerzas a compresión el porcentaje que resulta óptimo es de 15% superando los 4000 psi que ha sido la resistencia propuesta de diseño.



**Ilustración 47 -  $f'_c$  vs Edad del Concreto a Compresión**

Fuente: Propia

Obteniendo el diagrama de columna y la gráfica lineal, permite verificar qué diseños de mezclas cumplieron, y lograron alcanzar las resistencias deseadas, por lo que solo dos diseños cumplieron el cual son la mezcla control y la mezcla de 15% con CV. Se declara que la mezcla de 20% y 25% con CV no alcanzaron la resistencia para la que fueron diseñadas ya que obtuvieron 95.25% y 95.50% de resistencia máxima a los 28 días. Por ende, se puede establecer que en pruebas de 56 días de rupturas puedan alcanzar los 4000 psi. Mediante la gráfica se puede observar que la mezcla de 10% con CV a los 28 días tuvo un pequeño aumento en su resistencia de 3730 psi a 3760 psi, por lo que, de igual forma, no alcanza la resistencia para la que fue diseñada. La mezcla de 15% con CV cumple el siguiente criterio:

$f'_c$  obtenido  $\geq f'_c$  de diseño

4770 psi  $\geq$  4000 psi

## 5.5. RESULTADOS A FLEXIÓN

A continuación, se desglosará los resultados de esfuerzos a flexión en 3 edades diferentes, 7 días, 14 días, y 28 días.

### 5.5.1. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a flexión a los 7 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de ancho, 6" de alto y 24" de largo con un área transversal de 12 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un MR – 600psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 21**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Área testigo (in <sup>2</sup> )	Res. Obtenida (PSI)	̄ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	27/02/2023	7	66.10	7150	12	596	600	M1
	V2	PSI G_1 1/2" 7 días					65.90	7290	12	608		
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	6/3/2023	7	66.20	6480	12	540	570	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días					66.60	7300	12	609		
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	27/02/2023	7	65.80	6720	12	560	570	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días					65.40	7182	12	599		
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	3/3/2023	7	65.90	5460	12	455	470	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días					66.30	5830	12	486		
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	3/3/2023	7	66.10	4140	12	345	350	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días					65.80	4360	12	364		
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	6/3/2023	7	65.20	5720	12	477	440	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días					65.40	4910	12	410		

**Ilustración 48 - Pruebas a flexión a los 7 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 48**, se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de flexión a 7 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Así mismo, previamente al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes, se procedió a tomar el peso en libras de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, marcación de las vigas a los tercios de su longitud, colocación de sus apoyos en donde será colocado y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcular la carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 12 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en psi.

De igual forma, se puede observar que para la mezcla control ha alcanzado el 100% a los 7 días, obteniendo un 100% de módulo de ruptura (M.R.) equivalente a 600 PSI. Se puede identificar que las mezclas de 10% y 15% con CV alcanzaron un 95% a los 7 días equivalente a 570 PSI. Se observa que la mezcla del 20% de CV logró un 78.33% de M.R. alcanzado a los 7 días equivalente a 470 PSI. Mientras la mezcla de 30% con CV alcanzo un 73.33% equivalente a un M.R. de 440 psi, y por último la mezcla de 25% con CV alcanzando un 58.33% de M.R. equivalente a 350 psi.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

### 5.5.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a flexión a los 14 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de ancho, 6" de alto y 24" de largo con un área transversal de 12 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un MR – 600psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 21**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Área testigo (in <sup>2</sup> )	Res. Obtenida (PSI)	̄ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	6/3/2023	14	66.20	7846	12	654	640	M2
	V2	PSI G_1 1/2" 14 días					65.90	7614	12	635		
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	13/03/2023	14	65.40	7620	12	635	590	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días					65.60	6610	12	551		
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	6/3/2023	14	65.40	7582	12	632	600	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días					65.30	6957	12	580		
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	10/3/2023	14	66.40	7424	12	619	590	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días					66.20	6816	12	568		
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	10/3/2023	14	65.80	7610	12	635	600	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días					66.10	6975	12	582		
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	13/03/2023	14	66.20	5770	12	481	450	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días					65.00	5180	12	432		

**Ilustración 49 – Pruebas a flexión a los 14 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 49**, se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de flexión a 14 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% C, así mismo, al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes, se procedió a tomar el peso (lb) de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, marcación de las vigas a los tercios de su longitud, colocación de sus apoyos en donde será colocado y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcularla carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 12 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en psi.

Seguidamente en la ilustración 49 se puede observar que para la mezcla control continúa arriba del 100% de resistencia a los 14 días obteniendo un 106.67% M.R. equivalente a 640 PSI. Se identifica que la mezcla de 15% y 25% con CV alcanzaron los mismo M.R., con una muy buena elevación ganada con equivalentes al 100% a los 14 días a 600 PSI. De igual forma, se observa que la mezcla del 10% y 20% de CV logran alcanzar el 98.33%, de M.R. a los 14 días equivalente a 590 PSI. Para la mezcla de 30% con CV se obtiene un 75% de M.R. equivalente a 450 psi.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

### 5.5.3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a flexión a los 28 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de ancho, 6" de alto y 24" de largo con un área transversal de 12 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un MR – 600psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI); si se desea observar los resultados en el Sistema Métrico ver el **Anexo 21**.

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Área testigo (in <sup>2</sup> )	Res. Obtenida (PSI)	̄ Resistencias (PSI)	No. De muestra
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	20/03/2023	28	66.20	8140	12	679	660	M3
	V2	PSI G_1 1/2" 28 días					66.10	7900	12	659		
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	27/03/2023	28	65.25	7840	12	654	630	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días					65.45	7300	12	609		
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	20/03/2023	28	65.90	8105	12	676	660	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días					66.10	7854	12	655		
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	24/03/2023	28	66.00	8710	12	726	660	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días					65.40	7130	12	595		
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	24/03/2023	28	65.00	8670	12	723	650	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días					65.20	7090	12	591		
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	27/03/2023	28	66.20	5880	12	490	490	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días					65.10	5880	12	490		

**Ilustración 50 – Pruebas a flexión a los 28 días**

Fuente: Propia

En la **Ilustración 50**, se muestran todos los datos obtenidos para las pruebas a esfuerzos de flexión a 28 días de las mezclas control, 10% CV, 15% CV, 20% CV, 25% CV y 30% CV, así mismo, previamente al obtener el promedio de la resistencia de los especímenes o testigos, se procedió a tomar el peso (lb) de cada uno, seguidamente se procedió al secado de los mismo, marcación de las vigas a los tercios de su longitud, colocación de sus apoyos en donde será colocado y ubicación en la maquina universal de esfuerzos a compresión y flexión, instrumento que nos permite calcular la carga última de los elementos sometidos a prueba, en donde con el área transversal de 12 in<sup>2</sup> se calculó la resistencia obtenida, seguidamente se procedió a realizar el promedio de la pareja de testigos y obtener el primer promedio en psi.

Seguidamente en la ilustración 47 se puede observar casi el mismo comportamiento en los diseños de mezclas, donde (control, 15% con CV, 20% con CV) continua arriba del 100% de resistencia a los 28 días nuevamente con el que se diseñó la mezcla de concreto, obteniendo un 110% M.R. equivalente a 660 PSI en los tres diseños. Se puede identificar que la mezcla de 25% con CV alcanzo un M.R. de 650 psi, equivalente a un 108.33% alcanzado siendo el segundo M.R. más alto. Consecutivamente se observa que la mezcla del 10% con CV logra alcanzar el tercer lugar más alto del M.R. con un 105%, alcanzado equivalente a 630 psi a los 28 días. Para la mezcla de 30% con CV se obtiene un 81.67% de M.R. equivalente a 490 psi.

- M1= Corresponde para los especímenes de 7 días
- M2= Corresponde para los especímenes de 14 días
- M3= Corresponde para los especímenes de 28 días
- Testigos= Especímenes

#### 5.5.4. ANÁLISIS A FLEXIÓN

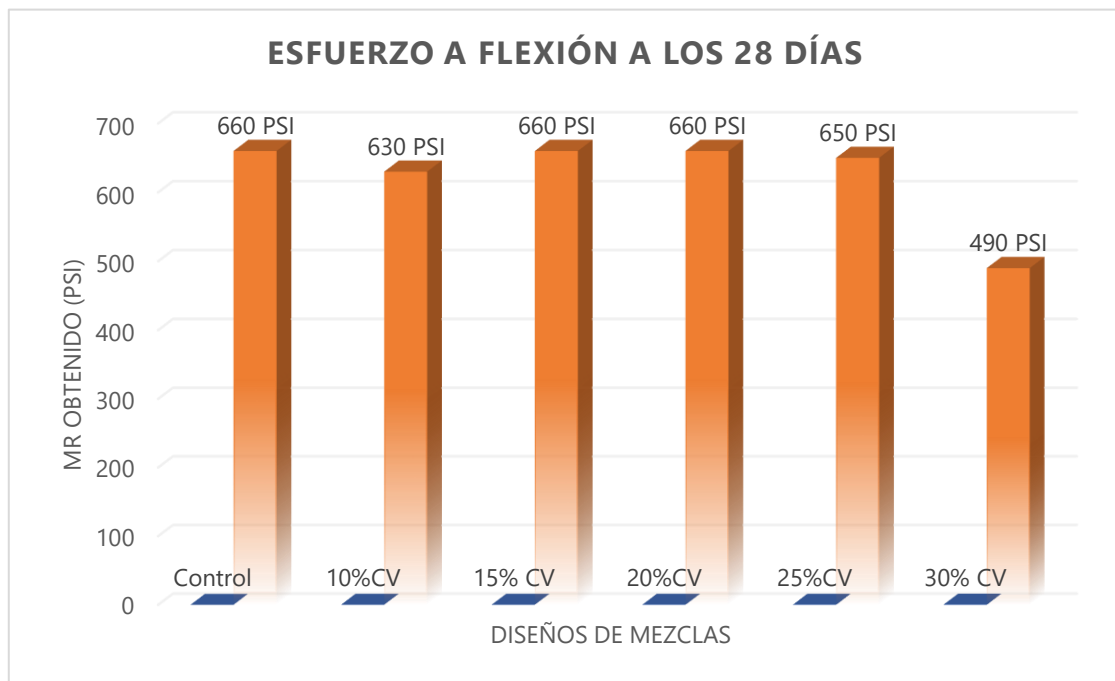
**Tabla 36 – Resultados a flexión de los diseños de mezclas**

	<b>0 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
Control	0 psi	600 psi	640 psi	660 psi
10%	0 psi	570 psi	590 psi	630 psi
15%	0 psi	570 psi	600 psi	660 psi
20%	0 psi	470 psi	590 psi	660 psi
25%	0 psi	350 psi	600 psi	650 psi
30%	0 psi	440 psi	450 psi	490 psi

Fuente: Propia



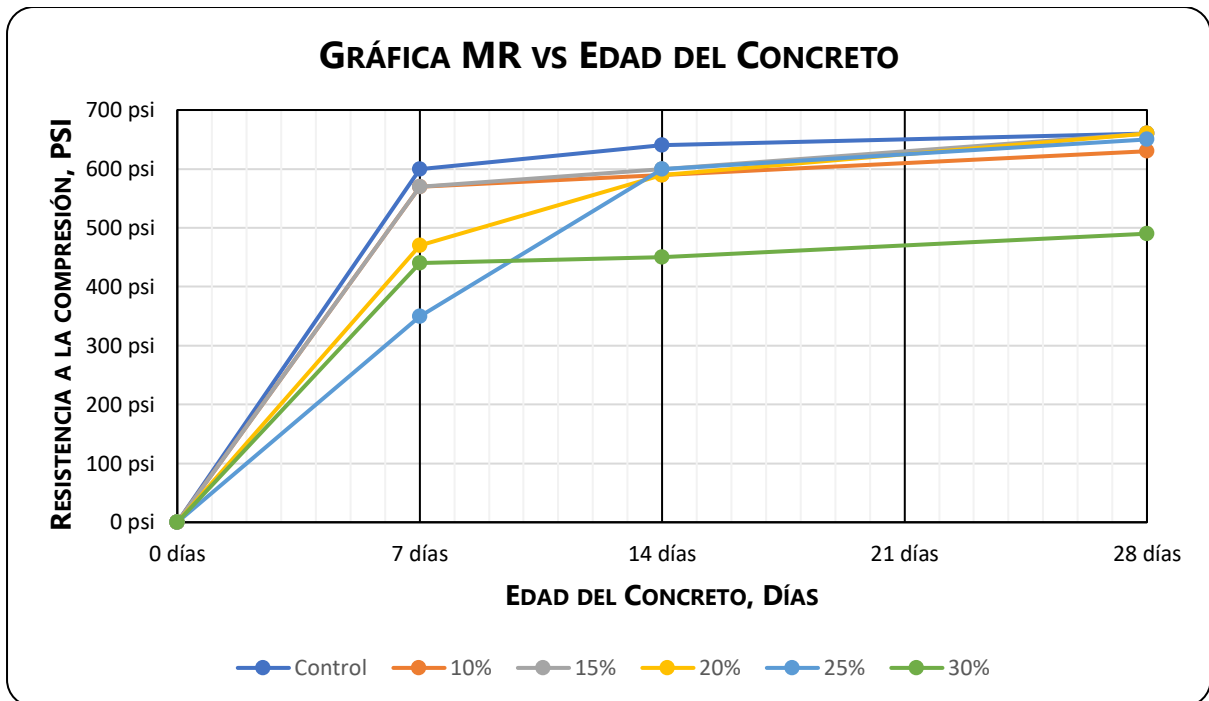
En la tabla anterior se resumen todos los módulos de ruptura del concreto en edades de 7,14 y 28 días y en base a 6 diseños de mezcla como lo es control, 10% con CV, 15% con CV, 20% con CV, 25% con CV, 30% con CV,



**Ilustración 51 - Gráfico a Flexión 28 días**

Fuente: Propia

Para el diagrama de barras de  $F'c$  vs Edad del Concreto en el análisis de esfuerzo a flexión, se demuestran como es la comparación tomando como referencia la mezcla control. Se analiza que para fuerzas a flexión el porcentaje que resulta óptimo es de 10%, 15%, 20% y 25% superando los 600 psi para la cual ha sido la resistencia propuesta de diseño.



**Ilustración 52 – Gráfica MR vs Edad del concreto**

Fuente: Propia

En el diagrama lineal y de barra, estos permiten verificar que diseños de mezclas cumplieron, y lograrán alcanzar el módulo de ruptura o inclusive más, por lo que en esfuerzo de flexión 5 diseños de mezclas cumplieron el cual son la mezcla control y la mezcla de 10%, 15%, 20% y 25% con CV, superando en más del 100%, caso contrario, la mezcla de 30% con CV, no alcanzó la resistencia que se esperaba tener por lo que se descarta. Por ende, se puede determinar que el valor óptimo en flexión son los mencionados anteriormente, pero para el caso que cumplan ambos esfuerzos tanto compresión y flexión, se sigue tomando el 15% con CV.

La mezcla de 15% con CV cumplen ambos esfuerzos de compresión y flexión cumpliendo el siguiente criterio para el M.R., al igual que la mezcla control.

MR obtenido  $\geq$  MR de diseño

660 psi  $\geq$  600 psi

## 5.6. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

A continuación, se muestra una gráfica exponencial en donde se observan las resistencias alcanzadas en función a los días para validar las hipótesis de investigación.

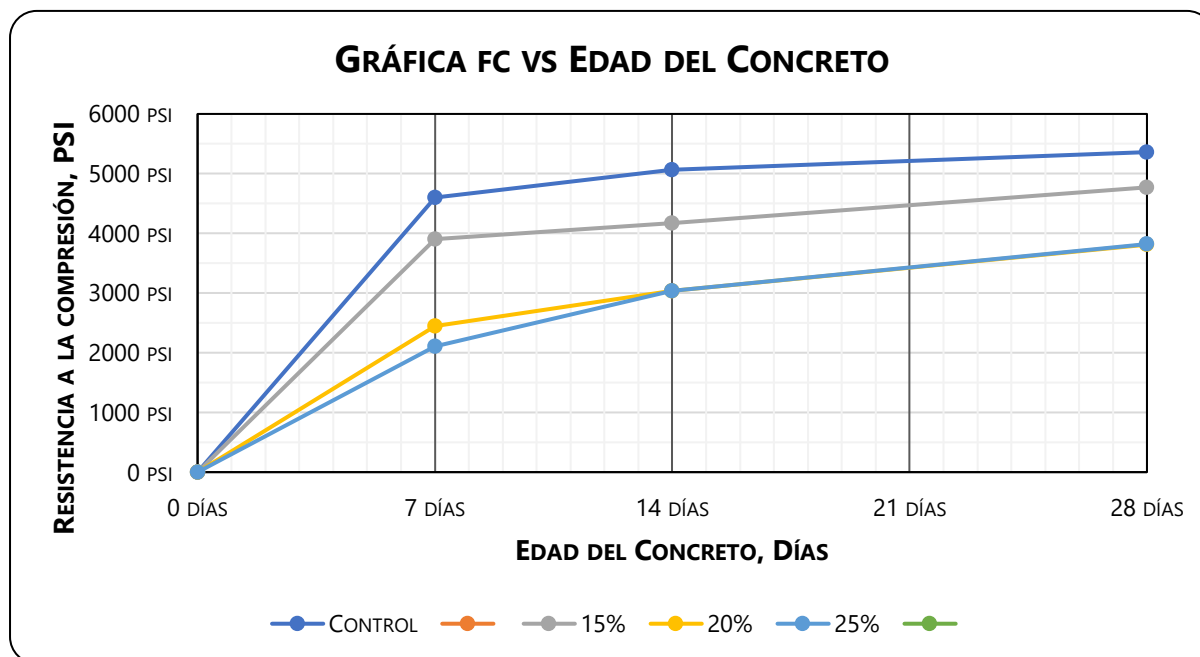


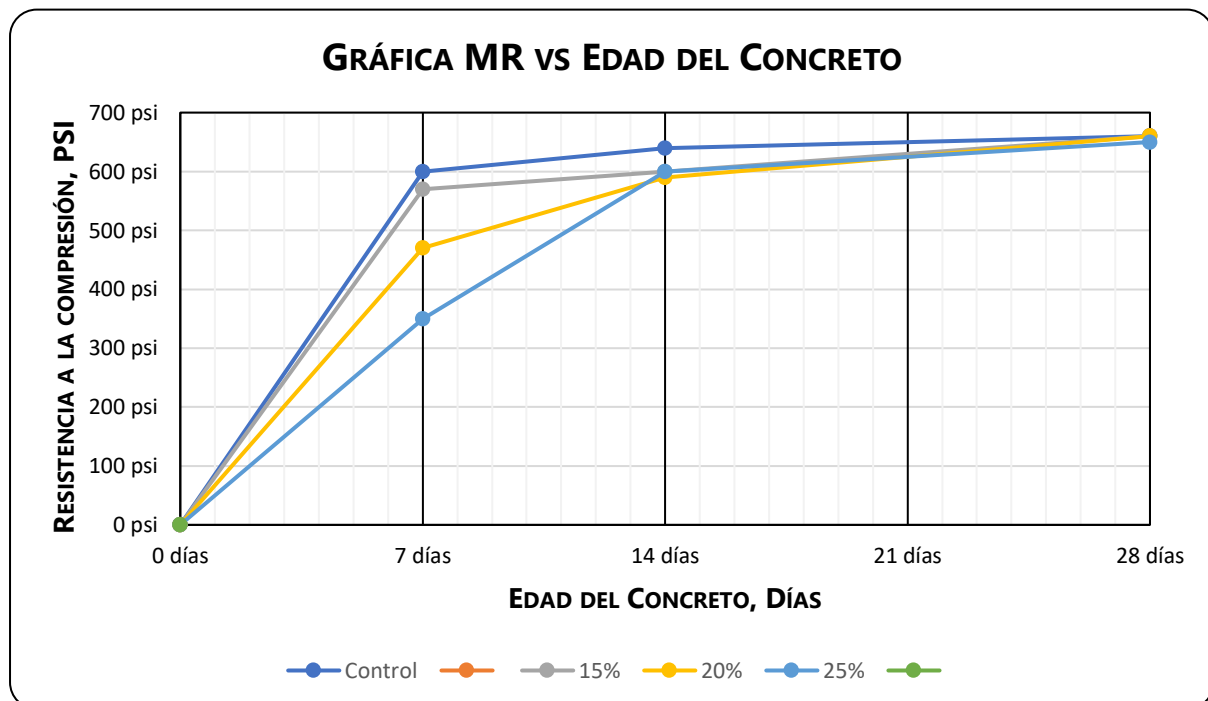
Ilustración 53 - F'c vs Días para validación de hipótesis

Fuente: Propia

La resistencia a compresión a los 28 días con una sustitución del 10% de ceniza volante alcanza 3760 PSI, con una sustitución del 15% se obtiene una resistencia de 4770 PSI, a su vez la sustitución del 25% logra una resistencia de 3820 PSI. Tomando como referencia la mezcla control, se consigue una resistencia de 5360 PSI, por lo que ninguna de las resistencias extraídas que se llevaron a cabo en dicha investigación igualan la resistencia que presenta la mezcla control, sin embargo, la iteración del 15% de sustitución parcial de ceniza volante supera los 4000 PSI que se definieron como resistencia mínima a obtener en los resultados, resultando únicamente una diferencia de un 11% entre ambas iteraciones.

De acuerdo con lo previamente mencionado se puede denotar que la hipótesis inicial se confirma, ya que una de las iteraciones propuestas logra superar la resistencia que se había definido al principio de la investigación, por lo que se acepta la hipótesis H1 el cual fue definida de la siguiente manera:

H1: La resistencia a la compresión del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02)  $f'_c=4000$  psi G\_1 1/2" 28 días" con "x" porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es mayor o igual a un concreto  $f'_c=4000$  psi.



**Ilustración 54 - MR vs Días para validación de hipótesis**

Fuente: Propia

La resistencia a la flexión a los 28 días con una sustitución de 15% ha alcanzado una resistencia de 660 PSI, al igual que la sustitución del 20% y con 25% logró resistencias de 650 PSI. Tomando como referencia la mezcla control, se consigue una resistencia de 660 PSI, por lo que se nota que con 15% y 20% se obtienen las mismas resistencias que mezcla control, y las 3 que se toman como referencia (15%, 20% y 25%) es mayor a un MR-600.

De acuerdo con lo previamente mencionado se puede denotar que la hipótesis H1.2 se confirma, ya que, más de tres iteraciones propuestas superan la resistencia que se había definido al principio de la investigación, por lo que se acepta la hipótesis H1.2 la cual fue definida de la siguiente manera:

H1.2: El módulo de rotura del concreto hidráulico a los 28 días "20/02/2023 C/CV 15% (01-02) MR-600PSI G\_1 1/2" 28 días" con x porcentaje de sustitución del cemento Portland estructural advanced por ceniza volante es mayor o igual a un concreto MR-600.

**Tabla 37 - Revenimiento para validación de hipótesis**

<b>Tipos de mezclas</b>	<b>Prueba del Slump</b>
<b>Control</b>	6"
<b>10%</b>	6.125"
<b>15%</b>	6.625"
<b>20%</b>	6.625"
<b>25%</b>	6"
<b>30%</b>	5.875"

Fuente: Propia

La trabajabilidad del concreto es la propiedad que hace al concreto fácil de manejar sin un riesgo apreciable de segregación. Se puede observar en la tabla 36 que ciertamente, los valores de revenimiento superan a los de la mezcla control a excepción del 25% que iguala el valor. Para razones del diseño se buscaba un revenimiento de 6" y la tolerancia según ASTM C94 debe de ser +/- 1/2. Por lo que podemos afirmar H1.3 en donde podemos confirmar que el concreto con ceniza volante tiene mejor trabajabilidad que la mezcla control.

## VI.FASE II

En el capítulo a continuación se presenta los análisis realizados para llevar a cabo la investigación de la fase II, en donde se verá nuevamente el comportamiento a esfuerzos de compresión y flexión en el concreto hidráulico partiendo como referencia una mezcla control y dos mezclas con diferentes porcentajes propuestos.

### 6.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

A continuación, se demuestran los resultados obtenidos al realizar las pruebas de los agregados en el laboratorio como ser la granulometría, colorimetría, humedades, entre otros para comprobar si dos de los porcentajes escogidos alcanzan o superan las resistencias para un concreto de 4000 psi y MR-600.

#### 6.1.1. GRANULOMETRÍA

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de granulometría según norma ASTM C33-07.

##### 6.1.1.1. Análisis de Grava de 1 ½"

En la siguiente tabla se muestran los resultados al realizar el ensayo de granulometría de la grava 1½" por la norma ASTM C33-07.

**Tabla 38 - Granulometría de grava de 1 ½" - fase II**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
2"	50.80	0.0	0.0	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1½"	38.10	190.6	190.6	5.51	5.51	94.49	90	-	100
1"	25.40	1371.5	1562.1	39.65	45.16	54.84	20	-	55
¾"	19.05	1389.6	2951.7	40.17	85.33	14.67	0	-	15
½"	12.70	456.9	3408.6	13.21	98.54	1.46			
⅜"	9.51	33.6	3442.2	0.97	99.51	0.49	0	-	5
# 4	4.76	9.0	3451.2	0.26	99.77	0.23			
# 8	2.38	1.9	3453.1	0.05	99.82	0.18			
# 16	1.19	1.4	3454.5	0.04	99.86	0.14			
# 30	0.595	1.6	3456.1	0.05	99.91	0.09			
# 50	0.297	1.5	3457.6	0.04	99.95	0.05			
# 100	0.149	0.9	3458.5	0.03	99.98	0.02			
Fondo		0.7	3459.2	0.02	100.00	0.00			
		3459.2							

Fuente: Propia

En la **Tabla 38** se muestran los valores obtenidos al realizar granulometría de la grava de 1 ½". Se ha obtenido un Tamaño Máximo de Árido (TMA)= 1 ½" (38.10mm). Seguidamente se obtuvo el porcentaje de error con un valor de 0.43%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07. %error ≤ 2%; por lo que si cumple.

$$\%error = 100 - \left( \frac{3459.2 \text{ gr}}{3474.2 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.43\%$$

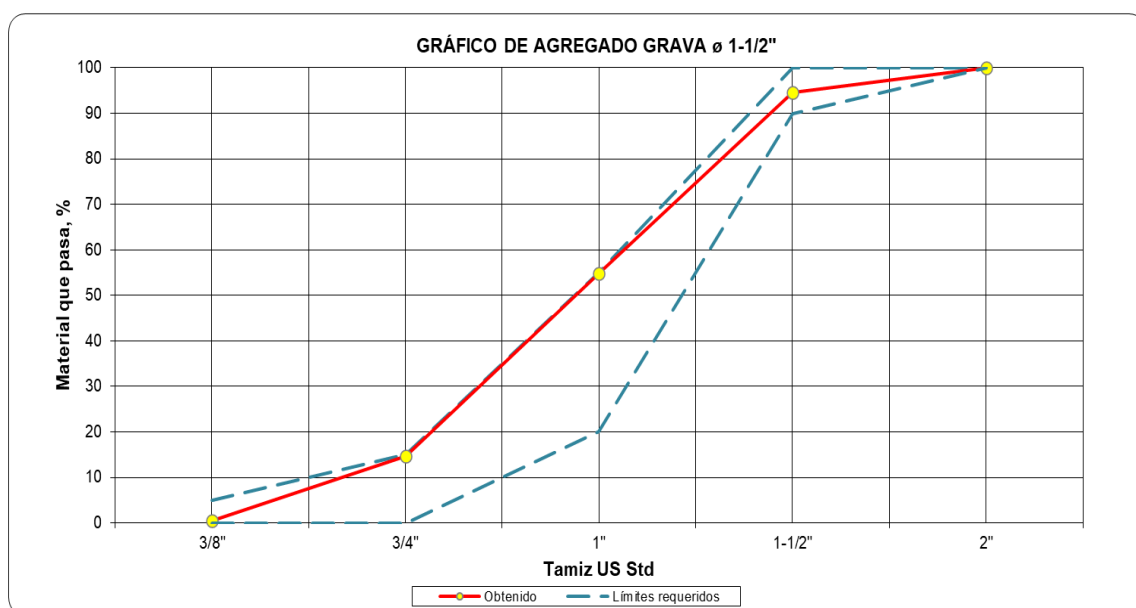
A continuación, se muestran los parámetros establecidos para la grava de 1 ½" y su curva granulométrica.

**Tabla 39 - Parámetros de grava de 1½" – fase II**

Tamiz	3/8"	3/4"	1"	1-1/2"	2"
<b>Máximo requerido</b>	5.00	15.00	55.00	100.00	100.00
<b>Obtenido</b>	0.49	14.67	54.84	94.49	100.00
<b>Mínimo Requerido</b>	0	0	20	90	100

Fuente: Propia

Mediante el análisis granulométrico, los parámetros establecidos y los obtenidos, se estable el cumplimiento de este agregado para la fase II, según la norma ASTM C33-07.



**Ilustración 55 - Gráfica granulométrica para la grava 1½" – fase II**

Fuente: Propia

### 6.1.1.2. Análisis de Grava de ¾"

En la siguiente tabla se muestran los resultados al realizar el ensayo de granulometría de la grava ¾" por la norma ASTM C33-07.

**Tabla 40 - Granulometría de grava ¾" – fase II**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
1"	25.40	0.0	0.0	0	0	100	100	-	100
¾"	19.05	62.2	62.2	2.38	2.38	97.62	90	-	100
½"	12.70	1095.7	1157.9	41.90	44.28	55.72			
⅜"	9.51	657.2	1815.1	25.13	69.41	30.59	20	-	55
# 4	4.76	742.6	2557.7	28.40	97.81	2.19	0	-	10
# 8	2.38	34.8	2592.5	1.33	99.14	0.86	0	-	5
# 16	1.19	14.1	2606.6	0.54	99.68	0.32			
# 30	0.595	2.8	2609.4	0.11	99.79	0.21			
# 50	0.297	2.3	2611.7	0.09	99.88	0.12			
# 100	0.149	1.9	2613.6	0.07	99.95	0.05			
# 200	0.075	0.0	2613.6	0.00	99.95	0.05			
Fondo		1.3	2614.9	0.05	100.00	0.00			
		2614.9							

Fuente: Propia

En la **Tabla 40** se muestran los valores obtenidos al realizar granulometría de la grava de ¾". Se ha obtenido un Tamaño Máximo de Árido (TMA) = ¾" (19.05mm). Seguidamente se obtuvo el porcentaje de error con un valor de 0.385%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07. %error ≤ 2%; por lo que si cumple.

$$\%error = 100 - \left( \frac{2614.9 \text{ gr}}{2625 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.39\%$$

A continuación, se muestran los parámetros establecidos para la grava de ¾" y su curva granulométrica.

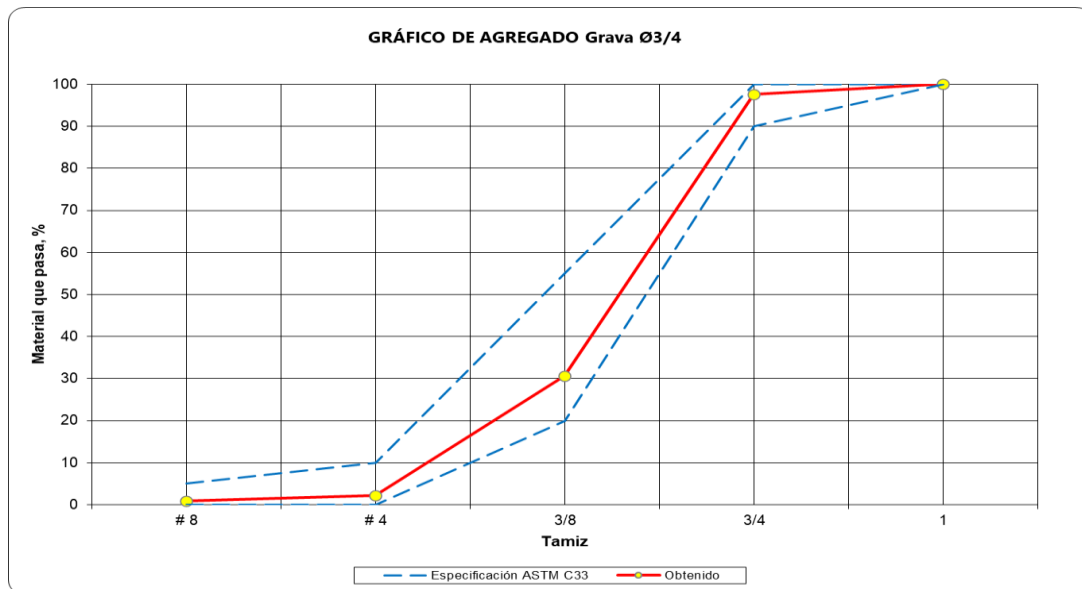
**Tabla 41 - Parámetros de grava ¾" – fase II**

Tamiz	# 8	# 4	3/8"	¾"	1"
<b>Máximo requerido</b>	5	10	55	100	100
<b>Obtenido</b>	0.86	2.19	30.59	97.62	100.00
<b>Mínimo requerido</b>	0	0	20	90	100

Fuente: Propia

Mediante el análisis granulométrico, los parámetros establecidos y los obtenidos, se estable el cumplimiento de este agregado para la fase II, según la norma ASTM C33-07.





**Ilustración 56 - Gráfica granulométrica de grava ¾" – fase II**

Fuente: Propia

### 6.1.1.3. Análisis de la arena

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados del análisis granulométrico de la arena.

**Tabla 42 - Análisis granulométrico de la arena – fase II**

Tamiz	Equiv... (mm)	(P.R.I.)	(P.R.A.)	(%P.R.I.)	(%P.R.A.)	%pasado	Parámetro		
¾"	9.51	0.0	0.0	0.00	0.00	100	100	-	100
# 4	4.76	90.4	90.4	7.72	7.72	92.28	90	-	100
# 8	2.38	94.8	185.2	8.10	15.82	84.18	80	-	100
# 16	1.19	338.4	523.6	28.90	44.72	55.28	50		85
# 30	0.595	260.0	783.6	22.21	66.93	33.07	25		60
# 50	0.297	244.7	1028.3	20.90	87.83	12.17	5		30
# 100	0.149	93.6	1121.9	7.99	95.82	4.18	0		10
Fondo		48.9	1170.8	4.18	100.00	0.00			
		1170.8							

Fuente: Propia

En la **Tabla 42** se muestran los valores obtenidos al realizar la granulometría para la arena.

Seguidamente se calculó como porcentaje de error para la arena, considerando un valor de 0.84%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07 como: %error ≤ 1%; por lo que si cumple.

$$\%error = 100 - \left( \frac{1170.8 \text{ gr}}{1180.7 \text{ gr}} * 100 \right) = 0.84\%$$

### Módulo de finura arena

Para que la arena sea apta para la mezcla de concreto hidráulico el módulo de finura debe ser mayor a 2.3 y se calcula por medio de la siguiente fórmula en donde se realiza la sumatoria de los %PRA a excepción del tamiz #200 y se divide entre 100, como se muestra a continuación:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{7.22+15.82+44.72+66.93+87.83+95.82}{100} = 3.05$$

Según la **Tabla 19** estable los rangos del módulo de finura por lo que este agregado es una arena media y es aceptable dentro de la norma ASTM C136-01

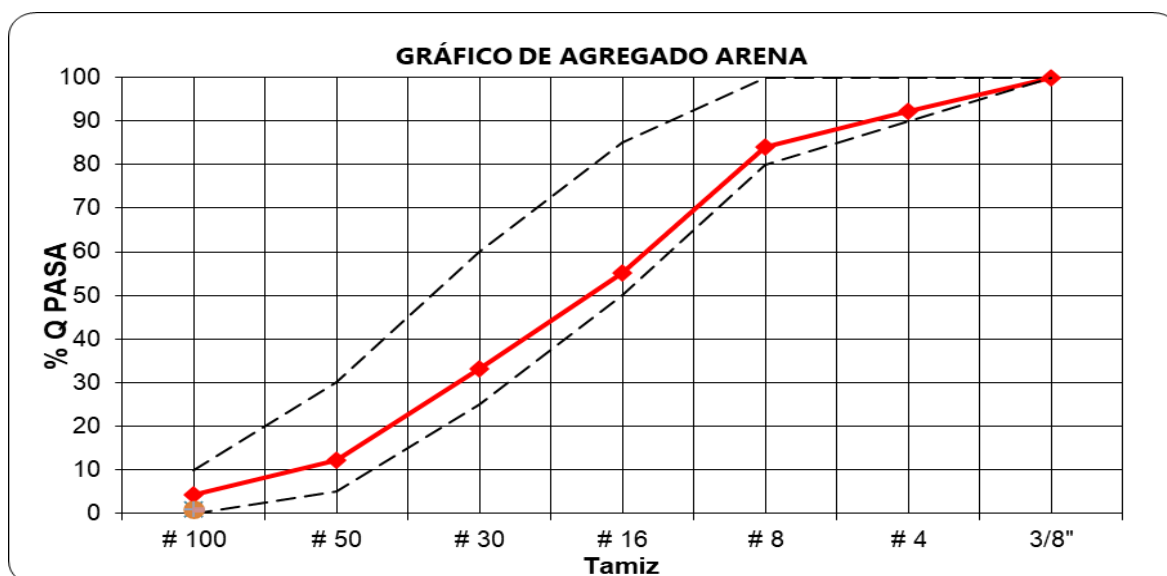
A continuación, se muestran los parámetros establecidos para la arena y su curva granulométrica.

**Tabla 43 - Parámetros para la arena – fase II**

Tamiz	# 100	# 50	# 30	# 16	# 8	# 4	3/8"
<b>Max Requerido</b>	10	30	60	85	100	100	100
<b>Obtenido</b>	4.18	12.17	33.07	55.28	84.18	92.28	100.00
<b>Min Requerido</b>	0	5	25	50	80	90	100

Fuente: Propia

Mediante el análisis granulométrico, los parámetros establecidos y los obtenidos, se estable el cumplimiento de este agregado para la fase II, según la norma ASTM C33-07.



**Ilustración 57 - Gráfica granulométrica de la arena – fase II**

Fuente: Propia

### 6.1.2. COLORIMETRÍA

Basándose en la norma ASTM C-40 se realiza la colorimetría de la arena para saber el grado de impurezas haciendo uso de la escala de colores Gardner.

Este ensayo se realizó para determinar cualitativamente la presencia de componentes orgánicos en la arena de estudio para la fase II. Según la escala del colorímetro, la arena que se ha usado de Eterna S.A. para realizar las mezclas de concreto para la investigación presente demuestra ser No.1 como se aprecia en la **Ilustración 58**, lo cual denota que es una arena óptima y libre de impurezas lo cual ayuda al esfuerzo a compresión, por lo que se establece el cumplimiento del agregado.



**Ilustración 58 – Colorimetría – fase II**

Fuente: Propia

### 6.1.3. HUMEDADES

Los datos de las tablas a continuación se realizaron para hacer correcciones por humedades y luego por absorciones y obtener el peso de los agregados y el peso real del agua.

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los porcentajes de humedad de los agregados para la mezcla control y para mezcla con 20% de ceniza volante.

**Tabla 44 - Resultados de %humedad de Mezcla control – 20% CV de fase II**

26/04/2023	Mezcla Control - 20% CV					
	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena	
	Peso Antes (gr)	Peso Después (gr)	Peso Antes (gr)	Peso Antes (gr)	Peso Después (gr)	Peso Antes (gr)
	511.50 gr	504.30 gr	502.70 gr	511.50 gr	504.30 gr	502.70 gr
% humedad						
1.43 %		1.39 %		5.22 %		

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los porcentajes de humedad de los agregados para mezcla con 25% de ceniza volante.

**Tabla 45 - Resultados de %humedad de 25% CV de fase II**

10/05/2023	25% CV					
	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena	
	Peso Después (gr)	Peso Antes (gr)	Peso Después (gr)	Peso Después (gr)	Peso Antes (gr)	Peso Después (gr)
	496.30 gr	407.20 gr	394.40 gr	496.30 gr	407.20 gr	394.40 gr
	% humedad					
	1.67 %		3.25 %		3.68 %	

Fuente: Propia

**Tabla 46 - Resultados promedios de % humedades de los agregados – fase II**

PROMEDIO % HUMEDADES		
Grava 1 1/2"	Grava 3/4"	Arena
1.55%	2.32 %	4.45 %

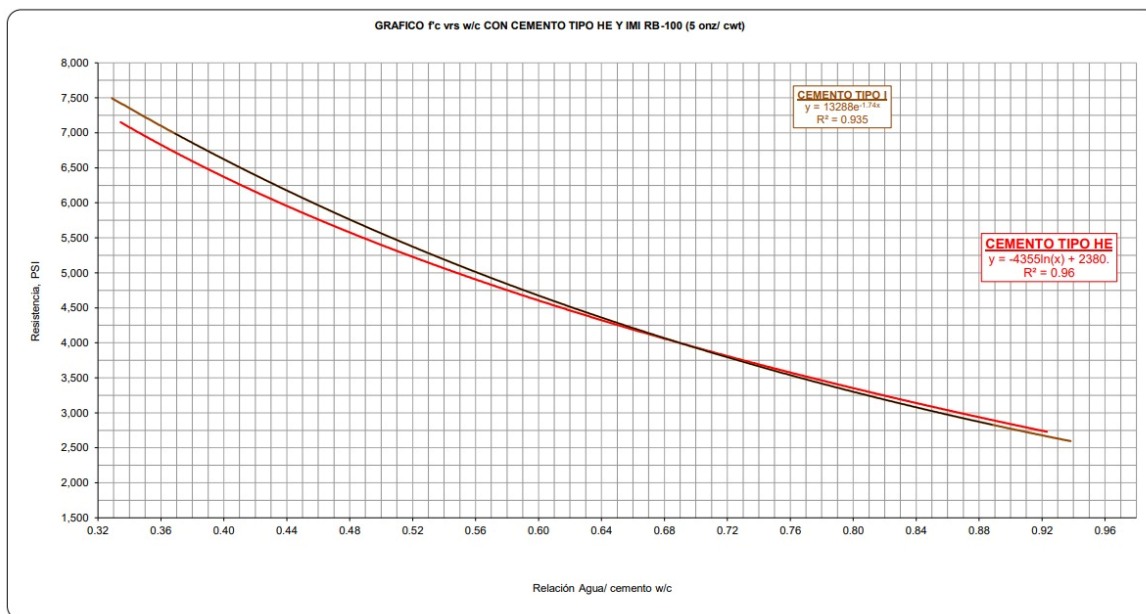
Fuente: Propia

En la tabla anterior se aprecian los promedios de humedades de los agregados para los tres diseños de mezclas que se realizaron.

## 6.2. DISEÑO DE MEZCLA

En base a las humedades obtenidas, se procedió a calcular los pesos para las mezclas de concreto para mezcla control, con 20% y 25% de sustitución por ceniza volante.

A continuación, mediante asesorías y discusiones, y por falta de suministro del cemento tipo I Advanced Estructural, el Ing. Héctor Bustillo un gran profesional y con amplio conocimiento en el tema de diseños de mezclas de concreto hidráulico, recomendó utilizar cemento HE, ya que posteriormente el realizo pruebas e hizo la comparación del cemento (Tipo I vs HE ) en mezclas control y los resultados obtenidos fueron muy similares para un  $f'c=4000$  psi, por lo que se optó el uso de este cemento HE en donde se puede ver su ficha técnica en el **Anexo 29**. En la siguiente ilustración se muestra el comportamiento del cemento tipo I y el cemento HE.



**Ilustración 59 - Gráfico "f'c vs w/a" con cemento Tipo I, HE**

Fuente: Ing. Héctor Bustillo

Todos los diseños se realizaron para mezclas de 1m<sup>3</sup> y no cambian sus pesos a excepción del tipo de cemento, por lo que se realizaron batchadas de 0.07m<sup>3</sup> de cada una y se muestran en las siguientes tablas:

El diseño de la mezcla control es para un f'c de 4000 PSI y MR-600PSI.

**Tabla 47 - Diseño mezcla control – fase II**

MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI		
	Peso (lb)	Peso (kg)
Cemento HE	47.60	21.59
Arena	116.00	52.61
Grava ¾"	53.2	24.13
Grava 1½"	127.8	57.96
Agua	24	10.88
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la tabla anterior se muestran los pesos en libras y su equivalencia en kilogramos.

El diseño de la mezcla con 20% de ceniza volante es para un f'c de 4000 PSI y MR-600PSI

**Tabla 48 - Diseño mezcla 20% CV – fase II**

MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI		
	Peso (lb)	Peso (Kg)
Cemento HE	38.10	17.28
Ceniza Volante	9.50	4.31

**Continuación de la Tabla 48...**

Arena	116.00	52.61
Grava ¾"	53.20	24.13
Grava 1½"	127.80	57.96
Agua	24	10.88
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la tabla anterior se muestran los pesos en libras y su equivalencia en kilogramos.

El diseño de la mezcla con 25% de ceniza volante es para un f'c de 4000 PSI y MR-600PSI

**Tabla 49 - Diseño de mezcla 25% CV – fase II**

<b>MEZCLA DE CONCRETO MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lb)	Peso (Kg)
Cemento HE	35.70	16.19
Ceniza Volante	11.90	5.40
Arena	114.00	51.70
Grava ¾"	53.60	24.31
Grava 1½"	127.60	57.87
Agua	25.90	11.75
IMIX RB-910	85 mL	85 mL

Fuente: Propia

En la tabla anterior se muestran los pesos en libras y su equivalencia en kilogramos.

A continuación, se presentan un resumen de los pesos para el cemento y la ceniza volante de los diseños realizados para la fase II:

**Tabla 50 - Resumen de porcentajes y pesos de ceniza volante utilizada – fase II**

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>% Ceniza volante</b>	<b>Peso de cemento (lb)</b>	<b>Peso de cemento (kg)</b>	<b>Peso Ceniza (lb)</b>	<b>Peso de ceniza (kg)</b>
Mezcla Control	0%	47.60	21.59	0.00	0.00
Mezcla 1	20%	38.08	17.27	9.52	4.32
Mezcla 2	25%	35.70	16.19	11.90	5.40

Fuente: Propia

Para ver los pesos de 1m<sup>3</sup> de cada diseño de mezcla ver los anexos 22, Anexo 25, Anexo 26, con la diferencia del tipo de cemento.

### **6.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO**

En este apartado se estudia el concreto es su estado plástico, se especifican las pruebas realizadas al momento de estar realizando la mezcla del concreto hidráulico con los resultados

de los agregados previamente obtenidos. Se presentan los ensayos de peso volumétrico del concreto, los revenimientos por mezcla y porcentajes de aire.

### 6.3.1. PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO

En la siguiente tabla se observa los datos obtenidos de cada uno de los pesos volumétricos según cada diseño de mezcla. Ver **Anexo 35, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., Anexo 36** para notar el incremento y comparación del Peso unitario plástico VS Peso unitario endurecido.

**Tabla 51 - Propiedades del concreto en estado plástico – fase II**

Diseño de mezcla	Peso mezcla + tazón (lb)	Peso Tazón (lb)	Volumen Tazón (ft3)	Peso Volumétrico (lb/ft3)	Peso Volumétrico (kg/m3)
<b>Control</b>	45.50	7.80	0.25	150.80	2415.59
<b>20%</b>	44.85	7.80	0.25	148.20	2373.94
<b>25%</b>	44.05	7.80	0.25	145.00	2322.68

Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla anterior en donde se dan los resultados de los pesos volumétricos de cada mezcla de concreto, se demuestra que el peso con la sustitución del 20% resulta menor al peso de la mezcla control y la de 25% de sustitución es menor a la de 20%, podemos afirmar acá, como en Fase I, que la ceniza volante mejora en este aspecto el concreto en este estado, y esto puede traer varias mejorías en la en el rendimiento y contenido del aire del concreto.

### 6.3.2. REVENIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE

En la siguiente tabla se observa los datos obtenidos de cada uno de los revenimientos obtenidos y los % de aire que mostro cada diseño de mezcla. Se menciona que el diseño de mezcla se realizó con un revenimiento de 6" +/-1.5", los % aire se encuentran dentro del rango.

**Tabla 52 - Resultados de revenimientos y % de Aire – fase II**

Diseño de mezcla	Revenimiento (in)	% de Aire
<b>Control</b>	7.50	1.50
<b>20%</b>	6.75	1.40
<b>25%</b>	6.875	1.00

Fuente: Propia

#### 6.4. RESULTADOS A COMPRESIÓN

A continuación, se desglosará los resultados a compresión en 2 edades diferentes 28 días y 66 días

##### 6.5.1. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a compresión a los 28 días de las mezclas control, 20% CV, 25% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de diámetro y 12" de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un  $f'c=4000$  psi y un sobre diseño de 4500 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI).

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Resistencia Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ de Resistencias (PSI)	No. De muestra
Control	C1-01	26/04/2023 CVB (01-02)	$F'c=4000$	26/4/2023	24/5/2023	28	30.60	90,340	3196	3550	M1
	C2-02	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.20	110,490	3909		
20% CV	C1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02)	$F'c=4000$	26/4/2023	24/5/2023	28	30.60	100,920	3570	3290	M1
	C2-02	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.40	85,180	3014		
25% CV	C1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02)	$F'c=4000$	10/5/2023	7/6/2023	28	30.20	75,050	2655	2750	M1
	C2-02	$F'c=4000$ PSI G_1 1/2" 28 días					30.40	80,640	2853		

**Ilustración 60 - Resultados a compresión a los 28 días – fase II**

Fuente: Propia

Según el tipo de cemento HE, se estima que alcanzaría resistencia temprana para una mezcla control, por lo que a los 28 días la mezcla control ganó una resistencia de 3550 psi equivalente al 88.75%; la mezcla del 20% CV ganó una resistencia de 3290 psi equivalente a 82.25% y la mezcla del 25% CV ganó una resistencia de 2750 psi equivalente al 68.75%. Observando el resultado de la mezcla control y la mezcla del 20% con CV, muestran un comportamiento de baja calor de hidratación.



### 6.5.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 66 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a compresión a los 66 días de las mezclas control, 20% CV, 25% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de diámetro y 12" de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un  $f'c=4000$  psi y un sobre diseño de 4500 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI).

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Resistencia Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ de Resistencias (PSI)	No. De muestra
Control	C1-01	26/04/2023 CVB (01-02)	$F'c=4000$	26/4/2023	1/7/2023	66	30.60	120,680	4269	4450	M2
	C2-02	F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días					30.75	131,050	4636		
20% CV	C1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02)	$F'c=4000$	26/4/2023	1/7/2023	66	30.50	108,220	3829	3880	M2
	C2-02	F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días					30.85	111,520	3945		
25% CV	C1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02)	$F'c=4000$	10/5/2023	15/7/2023	66	30.30	77,620	2746	2630	M2
	C2-02	F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días					30.05	71,500	2530		

**Ilustración 61 - Resultados a compresión a los 66 días – fase II**

Fuente: Propia

Tomando como referencia los datos a 28 días y los de 66 días y según el tipo de cemento HE con y sin la sustitución de la ceniza, se estima que alcanzaría resistencias tardías para una mezcla control, por lo que a los 66 días la mezcla control ganó una resistencia de 4450 psi equivalente al 111.25%; la mezcla del 20% CV ganó una resistencia de 3880 psi equivalente a 97% y la mezcla del 25% CV ganó una resistencia de 2630 psi equivalente al 65.75% siendo esta última más baja a los 28 días

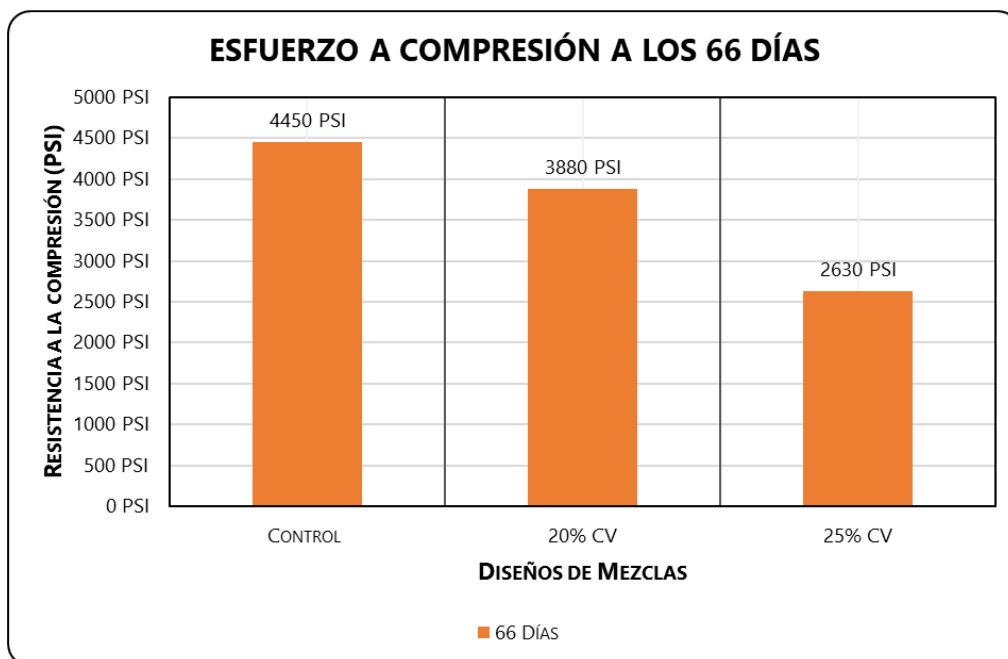
### 6.5.3. ANÁLISIS A COMPRESIÓN

**Tabla 53 - Resultados a compresión de los diseños de mezcla – fase II**

	<b>0 días</b>	<b>28 días</b>	<b>66 días</b>
<b>Control</b>	0 psi	3550 psi	4450 psi
<b>20%</b>	0 psi	3290 psi	3880 psi
<b>25%</b>	0 psi	2750 psi	2630 psi

Fuente: Propia

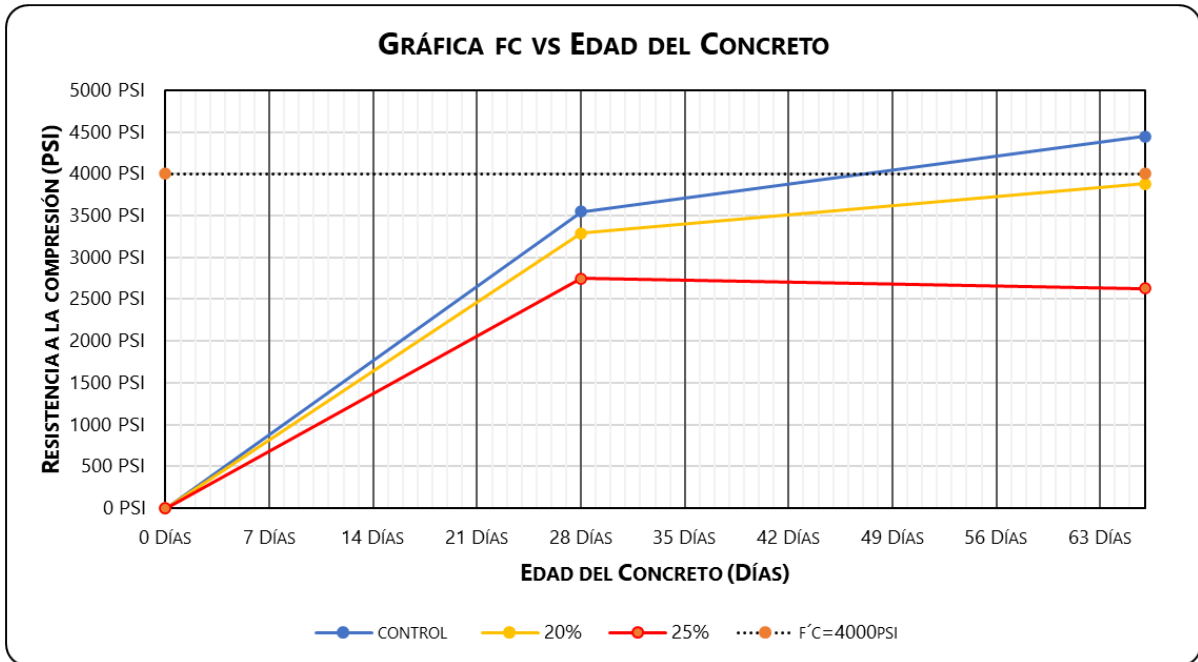
En la tabla anterior se resumen todas las resistencias del concreto en edades de 28 días y 66 días y en base a 3 diseños de mezcla como lo es: control, 20% con CV, 25% con CV.



**Ilustración 62 - Gráfico a compresión 66 días – fase II**

Fuente: Propia

Para el diagrama de barras de  $F_c$  vs Edad del Concreto en el análisis de esfuerzo a compresión, se demuestran como es la comparación tomando como referencia la mezcla control. Se analiza que para esfuerzos a compresión el porcentaje del 20% con CV puede resultar óptimo ya que alcanza una resistencia 3880 psi. Observando el resultado de la mezcla control está alcanzando su resistencia de diseño y la mezcla del 20% con CV no lo alcanza por un margen del 3%, aunque se estima que posiblemente a los 72 días o 120 días alcance su resistencia; mientras que la mezcla del 25% con CV no alcanzará la resistencia.



**Ilustración 63 - F'c vs Edad del concreto a Compresión a los 66 días – fase II**

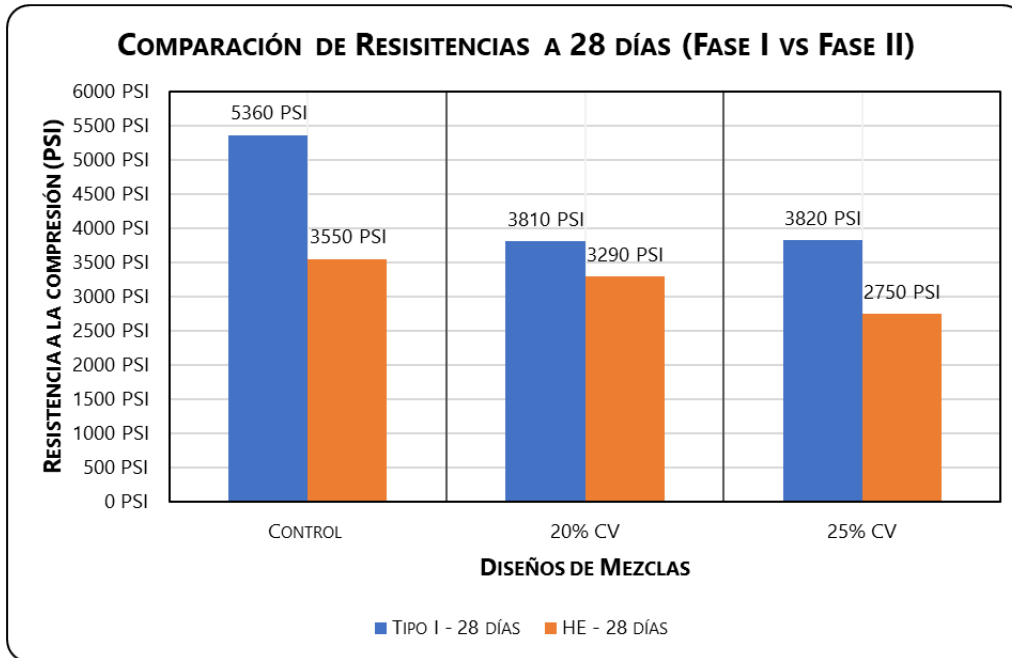
Fuente: Propia

Observando el diagrama de la gráfica exponencial, la mezcla control alcanzó su diseño, mientras que la mezcla del 20% con CV alcanzó un 97% de resistencia máxima a los 66 días, por lo tanto, se puede establecer que en pruebas de 72 días a 120 días alcance su resistencia, hasta el momento no se puede demostrar, debido a que aun requiere de tiempo para las rupturas de los testigos a 120 días, partiendo de los resultados a los 120 días se podrá concluir si el 20% con CV alcanza su resistencia; mientras que la mezcla del 25% con CV se descarga ya que de los 28 días a los 66 días tuvo una pérdida de resistencia de 120 psi.

#### 6.5.4. ANÁLISIS A COMPRESIÓN - FASE I VS FASE II

##### 6.4.4.1. Cemento tipo I – 28 días vs Cemento HE – 28 días

Resultados a compresión con cemento tipo I a 28 días con ceniza volante y cemento HE a 28 días con ceniza volante.



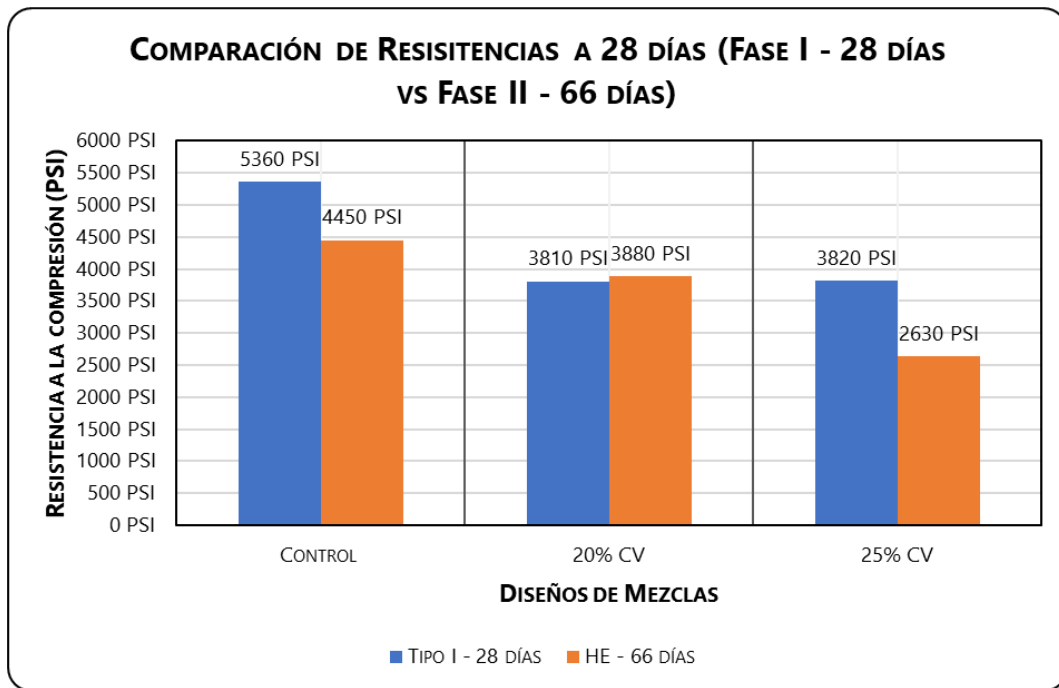
**Ilustración 64 - Comparación de Resistencia a 28 días (Fase I vs Fase II)**

Fuente propia

Observando el gráfico de barras anterior se puede observar que la mezcla control con cemento tipo I alcanzó su resistencia a los 28 días con 5360 psi, mientras que la mezcla control con cemento HE no la alcanzó y obteniendo una resistencia a los 28 días de 3550 psi mostrando una ganancia de resistencia tardía o un comportamiento de baja calor de hidratación que hace que no muestre gran ganancia de resistencia temprana; por otro lado las mezclas con 20 % de CV con ambos cementos, el tipo I con 20% CV presentó una ganancia de 3810 psi equivalente al 95.25% de resistencia a los 28 días, por lo que se estima que a edades de 56 días a 72 días logró alcanzar su resistencia, mientras tanto la mezcla con cemento HE con 20% CV ganó una resistencia de 3290 psi a los 28 días equivalente al 82.25% de resistencia máxima, por lo que se estima que a edades de 72 días a 120 días logró alcanzar su resistencia. Seguidamente la mezcla de cemento tipo I con 25% CV alcanzó 3820 psi equivalente a 95.5% de resistencia máxima por lo que se estima que a edades de 56 días a 72 días alcance su resistencia, mientras que la mezcla con cemento HE y con 25% CV se descarta ya que su resistencia a 28 días es muy baja.

#### 6.4.4.2. *Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 66 días*

Resultados a compresión con cemento tipo I a 28 días con ceniza volante y cemento HE a 66 días con ceniza volante.



**Ilustración 65 - Comparación de resistencias (Fase I - 28 días vs Fase II - 66 días)**

Fuente: Propia

Observando el grafico de barras anterior se puede observar que la mezcla control con cemento tipo I alcanzó su resistencia a los 28 días con 5360 psi, mientras que la mezcla control con cemento HE alcanzo una resistencia a los 66 días de 4450 psi mostrando una ganancia de resistencia tardía o un comportamiento de baja calor de hidratación que hace que no muestre gran ganancia de resistencia temprana; por otro lado las mezclas con 20 % de CV con ambos cementos, el tipo I con 20% CV presento una ganancia de 3810 psi equivalente al 95.25% de resistencia a los 28 días, por lo que se estima que a edades de 56 días a 72 días logré alcanzar su resistencias, mientras tanto la mezcla con cemento HE con 20% CV gano una resistencia de 3880 psi a los 66 días equivalente al 97% de resistencia máxima, por lo que se estima que a edades de 72 días a 120 días logré alcanzar su resistencia. Seguidamente la mezcla de cemento tipo I con 25% CV alcanzo 3820 psi equivalente a 95.5% de resistencia máxima por lo que se estima que a edades de 56 días a 72 días alcance su resistencia, mientras que la mezcla con cemento HE y con 25% CV a los 66 días disminuyo su resistencia en comparación a la de los 28 días por lo que se descarta ya que su resistencia 66 días disminuye.

## 6.5. RESULTADOS A FLEXIÓN

A continuación, se desglosará los resultados a flexión en edades de 66 días

### 6.5.1. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a flexión a los 28 días de las mezclas control, 20% CV, 25% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de ancho, 6" de alto y 24" de largo con un área transversal de 12 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un MR – 600 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI).

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Resistencia Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ de Resistencias (PSI)	No. De muestra
Control	V1-01	26/04/2023 CVB (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	24/5/2023	28	67.35	4,735	395	360	M1
	V2-02						66.95	4,010	335		
20% CV	V1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	24/5/2023	28	66.75	4,540	379	340	M1
	V2-02						65.85	3,790	316		
25% CV	V1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	10/5/2023	7/6/2023	28	65.55	3,650	305	270	M1
	V2-02						66.10	3,015	252		

**Ilustración 66 - Resultados a flexión de 28 días - fase II**

Fuente: Propia

Según el tipo de cemento HE la mezcla control ganó un módulo de ruptura de 660 psi equivalente al 110%; la mezcla del 20% CV ganó un módulo de ruptura de 610 psi equivalente a 101.67% y la mezcla del 25% CV ganó un módulo de ruptura de 370 psi equivalente al 61.67%, por lo que se descarta la mezcla del 25% con CV y cemento HE. Observando el resultado de la mezcla control y la mezcla del 20% con CV, alcanzaron el MR de diseño

## 6.5.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 66 DÍAS

En la siguiente ilustración se observan los resultados obtenidos para las pruebas a flexión a los 66 días de las mezclas control, 20% CV, 25% CV. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6" de ancho, 6" de alto y 24" de largo con un área transversal de 12 in<sup>2</sup>; mezcla diseñada para un MR – 600 psi. Estos resultados están reflejados en el Sistema Ingles (SI).

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Resistencia Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ de Resistencias (PSI)	No. De muestra
Control	V1-01	26/04/2023 CVB (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	1/7/2023	66	67.10	7,760	647	660	M2
							67.20	8,300	692		
20% CV	V1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	1/7/2023	66	66.35	7,750	646	610	M2
							65.35	7,010	585		
25% CV	V1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	10/5/2023	15/7/2023	66	64.45	4,760	397	370	M2
							65.90	4,170	348		

**Ilustración 67 - Resultados a flexión de 66 días – fase II**

Fuente: Propia

Según el tipo de cemento HE la mezcla control ganó un módulo de ruptura de 660 psi equivalente al 110%; la mezcla del 20% CV ganó un módulo de ruptura de 610 psi equivalente a 101.67% y la mezcla del 25% CV ganó un módulo de ruptura de 370 psi equivalente al 61.67%, por lo que se descarta la mezcla del 25% con CV y cemento HE. Observando el resultado de la mezcla control y la mezcla del 20% con CV, alcanzaron el MR de diseño.

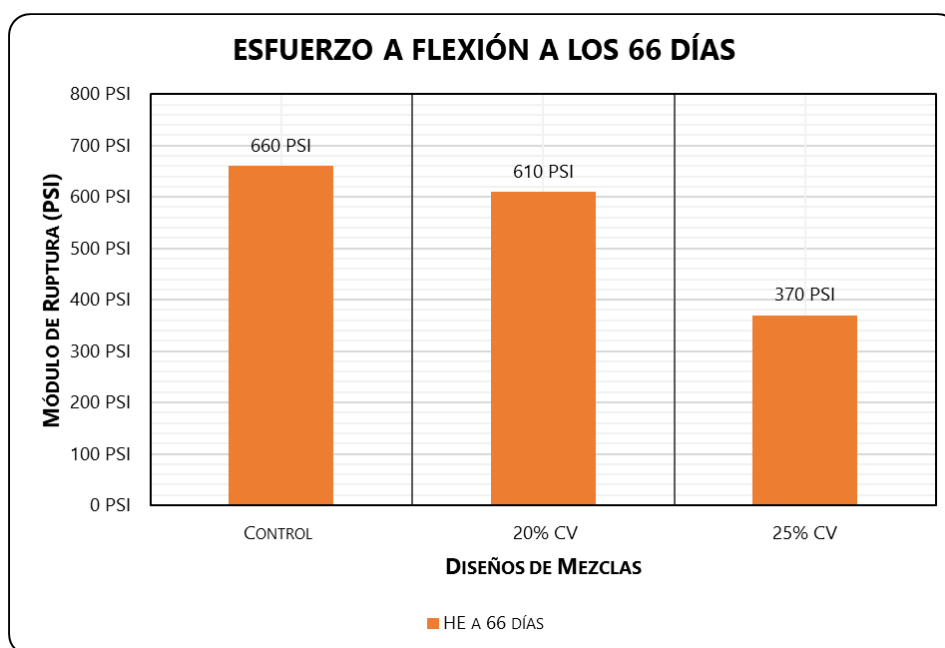
### 6.5.3. ANÁLISIS A FLEXIÓN

**Tabla 54 - Resultados a flexión de los resultados de mezclas**

	<b>0 días</b>	<b>28 días</b>	<b>66 días</b>
<b>Control</b>	0 psi	360 psi	660 psi
<b>20%</b>	0 psi	340 psi	610 psi
<b>25%</b>	0 psi	270 psi	370 psi

Fuente: Propia

En la tabla anterior se resumen todos los módulos de ruptura del concreto en edades de 28 y 66 días y en base a 3 diseños de mezcla como lo es: control, 20% con CV, 25% con CV con cemento HE. Sin embargo, a 28 días presenta poca ganancia de resistencia al módulo de ruptura.



**Ilustración 68 - Esfuerzo a flexión a los 66 días**

Fuente: Propia

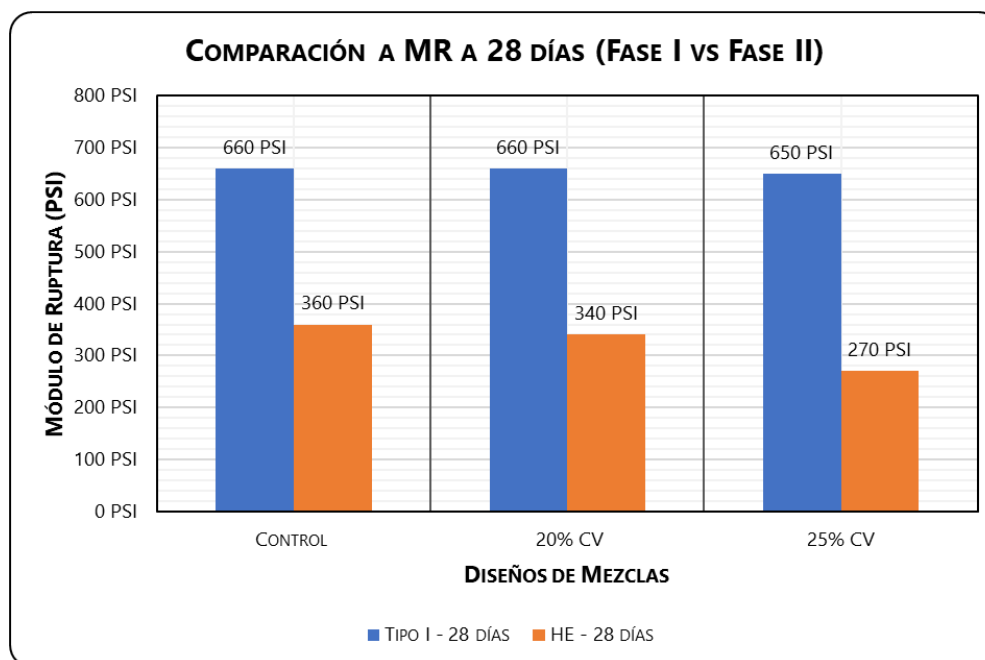
Para el diagrama de barras de MR vs Edad del Concreto en el análisis de esfuerzo a flexión, se demuestran como es la comparación tomando como referencia la mezcla control. Se analiza que para esfuerzos a flexión el porcentaje del 20% con CV resultó óptimo ya que alcanzó una MR de 610 psi. Observando el resultado de la mezcla control está alcanzando su MR de diseño, mientras tanto la mezcla del 25% con CV no alcanzará el MR de diseño.



#### 6.5.4. ANÁLISIS A FLEXIÓN - FASE I VS FASE II

##### 6.5.3.1. Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 28 días

Resultados a flexión con cemento tipo I a 28 días con ceniza volante y cemento HE a 28 días con ceniza volante.



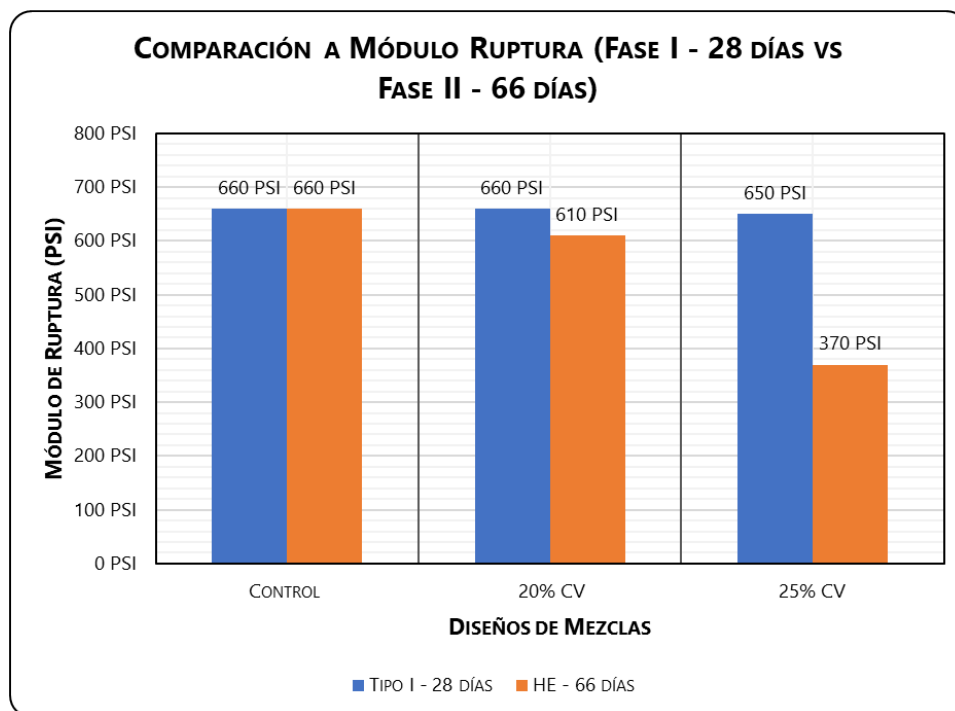
**Ilustración 69 - Comparación de Módulo de Ruptura a 28 días (Fase I vs Fase II)**

Fuente: Propia

Observando el gráfico de barras anterior se puede observar que la mezcla control con cemento tipo I alcanzó su MR a los 28 días con 660 psi, mientras que la mezcla control con cemento HE no la alcanzó y obteniendo un MR a los 28 días de 360 psi mostrando una ganancia de resistencia tardía o un comportamiento de baja calor de hidratación que hace que no muestre gran ganancia de resistencia temprana; por otro lado las mezclas cemento tipo I con 20% CV presento mismo MR que la mezcla control de 660 psi, mientras tanto la mezcla con cemento HE con 20% CV gano un MR de 340 psi a los 28 días equivalente al 56.67% de resistencia máxima, por lo que se estima que a edades de 72 días a 120 días logré alcanzar su resistencia. Seguidamente la mezcla de cemento tipo I con 25% CV alcanzo un MR 650 psi equivalente a 108.8% de resistencia máxima, mientras que la mezcla con cemento HE y con 25% CV alcanzo un MR de 270 psi 28 días que es muy bajo.

### 6.5.3.2. Cemento tipo I - 28 días vs Cemento HE - 66 días

Resultados a flexión con cemento tipo I a 28 días con ceniza volante y cemento HE a 66 días con ceniza volante.



**Ilustración 70 - Comparación de MR (Fase I - 28 días vs Fase II - 66 días)**

Fuente: Propia

Observando el gráfico de barras anterior se puede observar que la mezcla control con cemento tipo I alcanzó su MR a los 28 días con 660 psi, mientras que la mezcla control con cemento HE alcanzó MR igual a los 66 días de 660 psi; por otro lado las mezclas con 20 % de CV con ambos cementos, el tipo I con 20% CV presentó un MR de 660 psi equivalente al 110% de resistencia a los 28 días, mientras tanto la mezcla con cemento HE con 20% CV ganó un MR de 610 psi a los 66 días equivalente al 101.67% de MR máximo. Seguidamente la mezcla de cemento tipo I con 25% CV alcanzó un MR de 650 psi equivalente a 108.33% de resistencia, mientras que la mezcla con cemento HE y con 25% CV a los 66 días se obtuvo un MR de 370 psi por lo que se descarta la mezcla de 25% con CV y con cemento HE.

## VII. COSTOS

Mediante distintas cotizaciones en compañías como CENOSA, ETERNA, ASP, CONHSA PAYSА se establecieron los precios para 1m<sup>3</sup> de concreto a fabricar y cabe mencionar que estos pueden variar según el cambio de moneda, la demanda y entre otros factores.

### 7.1. PRECIOS

Se estimó Lps. 1500.00 de flete para el transporte del cemento y Lps. 1450.00 para el transporte de la ceniza volante, por lo que los precios ya involucran el costo del flete. Con 21 toneladas por viaje.

El precio para la ceniza volante se estimó de 53\$/ton, el cual este incluye su transporte, el dato fue obtenido mediante aproximaciones reales de precios y brindado por el Ingeniero Héctor Bustillo director de Ingeniería en Eterna S.A.

Para el cemento tipo I y HE se realizó una cotización mediante la constructora Eterna S.A. de igual manera para los agregados se estimaron precios con respecto a los que Eterna S.A. ofrece y del RB-910. Ver **Anexo 41** y **Anexo 42**.

EL costo del agua se extrajo de Agua de San Pedro como lo pueden visualizar en el **Anexo 28**.

En los precios de los cementos y de la ceniza volante tomar en cuenta el cambio de divisa, por lo que tomara el cambio de moneda del 6 de agosto del 2023 como cambio oficial para las fichas de costo.

A continuación, se presenta la lista de los materiales y sus respectivos precios.

**Tabla 55 - Precios de materiales**

Producto	Costos	Rendimientos
Cemento Tipo, I Advance Estructural	4.34 lps/kg	308.39 kg/m <sup>3</sup>
Cemento HE	4.32 lps/kg	308.39 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante:	1.29 lps/kg	Depende el %
Arena:	350 lps/m <sup>3</sup>	714.29 kg/m <sup>3</sup>
Grava 3/4":	320 lps/m <sup>3</sup>	340.14 kg/m <sup>3</sup>
Grava 1 1/2":	300 lps/m <sup>3</sup>	816.33 kg/m <sup>3</sup>
Agua:	77 lps/m <sup>3</sup>	47 gal
RB-910:	5614.30 lps/barril de 42 gal	6 onz/cwt

Fuente: Propia

Mediante ciertas cotizaciones de CONHSA PAYSА, se brindan los precios de la mano de obra al igual que el equipos y herramientas, así como sus rendimientos en mismas cotizaciones. Ver **Anexo 43** y **Anexo 44**. La cotizaciones son válidas por 15 días.

**Tabla 56 - Costos de Mano de Obra y Rendimientos**

Operadores	Costo	Rendimientos
Dosificador	75 lps/hr	60m <sup>3</sup> /hr
Operador de Cargadora	72 lps/hr	100m <sup>3</sup> /hr
Motorista del Mixer	70 lps/hr	8.5m <sup>3</sup> /hr

Fuente: Propia

**Tabla 57 - Costos de Equipos y Herramientas y Rendimientos**

Equipo y Herramientas	Costo	Rendimientos
Dosificadora	2,500 lps/hr	60m <sup>3</sup> /hr
Cargadora Volvo L120	1,537 lps/hr	100m <sup>3</sup> /hr
Camión Mixer	2,000 lps/hr	8.5m <sup>3</sup> /hr
Bomba de Agua 10 HP	1,500 lps/hr	150lt/min

Fuente: Propia

## 7.2. FICHAS DE COSTO

### 7.2.1. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CONTROL CON CEMENTO TIPO I

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA CONTROL F´C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento Tipo I)**

Sustentado por: Jurgen Martínez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio	06/08/2023
USD/HNL	24.41

Items 1

Cantidad= 1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento Tipo I Estructural Advanced	kg	308.39	2%	4.34 Lps/kg	L. 1,366.75
1.02	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.03	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.04	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.05	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.06	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 43.034
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 2,047.32</b>
2.00	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
3.00	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora DF-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,516.52</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 3,019.83</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 3,019.83</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,472.80</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,566.92</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 71 - Ficha de costo de Mezcla control con cemento Tipo I**

Fuente: Propia

## 7.2.2. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 15% CV CON CEMENTO TIPO I

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 15% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento Tipo I)**

Sustentado por: Jurgén Martínez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio 06/08/2023
USD/HNL 24.41

Items 1

Cantidad= 1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento Tipo I Estructural Advanced	kg	262.13	2%	4.34 Lps/kg	L. 1,161.74
1.02	Ceniza Volante	kg	46.26	2%	1.29 Lps/kg	L. 61.04
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 36.579
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,896.90</b>
2.00	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
3.00	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,366.10</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,839.32</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,839.32</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,265.22</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,359.34</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 72 - Ficha de Costo de Mezcla con 15% de CV con cemento Tipo I**

Fuente: Propia

### 7.2.3. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 20% CV CON CEMENTO TIPO I

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 20% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento Tipo I)**

Sustentado por: Jurgén Martínez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio 06/08/2023
USD/HNL 24.41

**Items 1**

Cantidad= 1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento Tipo I Estructural Advanced	kg	246.71	2%	4.34 Lps/kg	L. 1,093.40
1.02	Ceniza Volante	kg	61.68	2%	1.29 Lps/kg	L. 81.39
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 34.427
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,846.76</b>
2.00	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
3.00	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,315.96</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,779.15</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,779.15</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,196.02</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,290.14</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

### Ilustración 73 - Ficha de Costo de Mezcla con 20% de CV con cemento Tipo I

Fuente: Propia

## 7.2.4. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 25% CV CON CEMENTO TIPO I

### DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 25% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento Tipo I)

Sustentado por: Jurgen Martinez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio 06/08/2023
USD/HNL 24.41

#### Items 1

					Cantidad=	1 m3
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento Tipo I Estructural Advanced	kg	231.29	2%	4.34 Lps/kg	L. 1,025.06
1.02	Ceniza Volante	kg	77.10	2%	1.29 Lps/kg	L. 101.74
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 32.276
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,796.61</b>
2.00	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
3.00	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora DF-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,265.82</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,718.98</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,718.98</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,126.83</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,220.94</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 74 - Ficha de Costo de Mezcla con 25% de CV con cemento Tipo I**

Fuente: Propia



## 7.2.5. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CONTROL CON CEMENTO HE

### DESCRIPCIÓN: MEZCLA CONTROL F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento HE)

Sustentado por: Jurgen Martinez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio	06/08/2023
USD/HNL	24.41

#### Items 1

Cantidad=

1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento HE	kg	308.39	2%	4.32 Lps/kg	L. 1,359.07
1.02	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.03	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.04	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.05	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.06	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 43.034
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 2,039.64</b>
<b>2.00</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
<b>3.00</b>	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,508.85</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 3,010.62</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 3,010.62</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,462.21</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,556.33</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 75 - Fichas de Costo de Mezcla control con cemento HE**

Fuente: Propia

## 7.2.6. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 15% CV CON CEMENTO HE

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 15% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento HE)**

Sustentado por: Jurgen Martinez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio	06/08/2023
USD/HNL	24.41

Items 1

Cantidad=

1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento HE	kg	262.13	2%	4.32 Lps/kg	L. 1,155.21
1.02	Ceniza Volante	kg	46.26	2%	1.29 Lps/kg	L. 61.04
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 36.579
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,890.37</b>
2.00	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
3.00	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,359.57</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,831.49</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,831.49</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,256.21</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,350.33</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 76 - Ficha de Costo de Mezcla con 15% de CV con cemento HE**

Fuente: Propia

### 7.2.7. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 20% CV CON CEMENTO HE

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 20% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento HE)**

Sustentado por: Jurgen Martinez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio 06/08/2023
USD/HNL 24.41

Items 1						
					Cantidad=	1 m3
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento HE	kg	246.71	2%	4.32 Lps/kg	L. 1,087.26
1.02	Ceniza Volante	kg	61.68	2%	1.29 Lps/kg	L. 81.39
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 34.427
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,840.61</b>
<b>2.00</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
<b>3.00</b>	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,309.82</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,771.78</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,771.78</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,187.55</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,281.66</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 77 - Ficha de Costo de Mezcla con 20% de CV con cemento HE**

Fuente: Propia

## 7.2.8. FICHA DE COSTO DE MEZCLA CON 25% CV CON CEMENTO HE

**DESCRIPCIÓN: MEZCLA DEL 25% CV F'C=4000 PSI - MR-600PSI (Cemento HE)**

Sustentado por: Jurgen Martinez

Isabella Bustillo

Fecha: 7/8/2023

Aprobó:

Tipo de Cambio	06/08/2023
USD/HNL	24.41

### Items 1

Cantidad= 1 m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. / RENDIMIENTO	DESPERDICIO	P.U.	SUBTOTAL
1.00	<b>Materiales</b>					
1.01	Cemento HE	kg	231.29	2%	4.32 Lps/kg	L. 1,019.30
1.02	Ceniza Volante	kg	77.10	2%	1.29 Lps/kg	L. 101.74
1.03	Arena	kg	714.29	5%	555.00 Lps/m3	L. 287.98
1.04	Grava 3/4"	kg	340.14	5%	425.00 Lps/m3	L. 98.69
1.05	Grava 1-1/2"	kg	816.33	5%	415.00 Lps/m3	L. 231.73
1.06	Agua	galones	47	40%	76.85 Lps/m3	L. 19.14
1.07	RB-910 (Retardante)	onz/ctw	6	1%	5614.30 Lps/barril	L. 32.276
<b>Subtotal Mat</b>						<b>L. 1,790.86</b>
<b>2.00</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total Horas</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
2.01	1 Dosificador	hr	0.01667	1.00	L. 75.00 /hr	L. 1.25
2.02	1 Operador de Cargadora	hr	0.01000	1.00	L. 72.00 /hr	L. 0.72
2.03	1 Motorista Mixer	hr	0.11765	1.00	L. 70.00 /hr	L. 8.24
<b>Subtotal M.O.</b>						<b>L. 10.21</b>
<b>3.00</b>	<b>Herramientas y Equipos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total/und</b>	<b>Precio/und</b>	<b>Sub Total</b>
3.01	Dosificadora Df-02	m3/hr	0.017	1.0	L. 2,500.00 /hr	L. 41.67
3.02	Bomba de agua 10 hp FLUX12-103234	m3/hr	0.111	1.0	L. 1,500.00 /hr	L. 166.67
3.03	Cargadora Volva L120e (157.07)	m3/hr	0.010	1.0	L. 1,537.00 /hr	L. 15.37
3.04	Mixer	m3/hr	0.118	1.0	L. 2,000.00 /hr	L. 235.29
<b>Subtotal H.E.</b>						<b>L. 459.00</b>
<b>Costo Directo Total</b>						<b>L. 2,260.06</b>
<b>% Indirectos</b>						<b>20.00%</b>
<b>Costo Final</b>						<b>L. 2,712.07</b>
<b>Costo Unitario Final Sin I.S.V</b>						<b>L. 2,712.07</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V</b>						<b>L. 3,118.88</b>
<b>Costo Unitario Final Con I.S.V + Flete</b>						<b>L. 3,213.00</b>

\*El costo del flete es para una distancia de 13 km

\*No Incluye servicio de bombeo

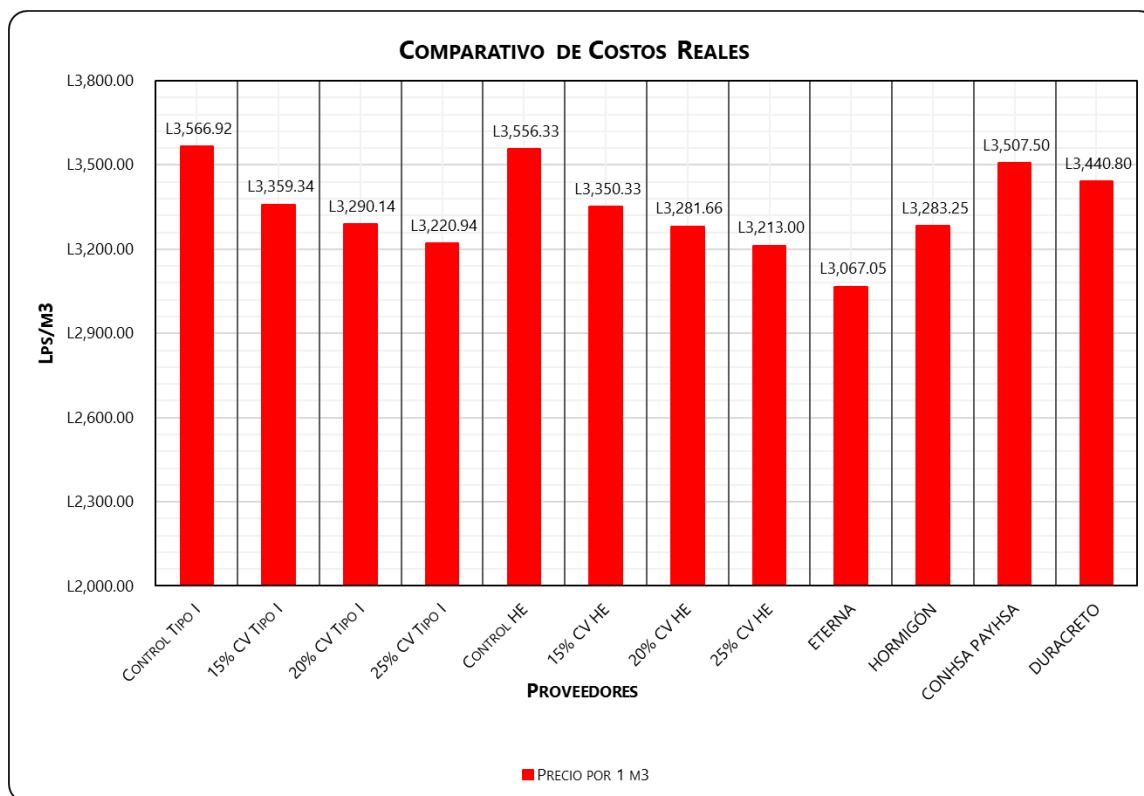
\*No incluye control de temperatura

\*No incluye colocación ni acabado del concreto

**Ilustración 78 - Ficha de Costo de Mezcla con 25% de CV con cemento HE**

Fuente: Propia

## 7.2.9. COMPARACIÓN DE COSTOS



**Ilustración 79 - Gráfico comparativos de costos de proveedores que suministran concreto premezclado**

Fuente: Propia

En el gráfico comparativo se pueden observar precios reales por  $1\text{m}^3$  de concreto  $f'c=4000$  psi, y un MR-600 psi con agregados de  $\frac{3}{4}$ " y  $1\frac{1}{2}$ ", adicionalmente las mezclas con sustitución de ceniza volante del 20% y 25% partiendo de una mezcla control. Las mezclas Control JK, 15% CV JK, 20% CV JK, 25% CV JK, estas mezclas están diseñadas con cemento tipo I Advanced Estructural; mientras tanto ETERNA, Hormigón, CONHSA PAYHSA y DURACRETO, por temas de confidencialidad no se menciona con qué tipo de cemento están diseñados.

Ver cotizaciones en los **Anexo 37, Anexo 38, Anexo 39 y Anexo 40.**

## VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y que se han mostrado en el capítulo V y con relación a los objetivos planteados al principio de la investigación, se concluye lo siguiente:

1) Se señala que los agregados finos y gruesos de Eterna S.A. cumplen con los requisitos necesarios para su utilización de esta investigación de acuerdo con las normas ASTM C-94 para la fabricación del concreto y ASTM C-33 para las pruebas de laboratorio para los agregados, se exponen los parámetros de los agregados utilizados para los diseños de mezcla: Porcentajes de error de la arena de 0.79%, grava  $\frac{3}{4}$  de 0.32% y grava 1  $\frac{1}{2}$  de 0.23%, de igual forma, el módulo de finura cumplir con los rangos según norma en donde ha dado un resultado de 3.01 y el ensayo de colorimetría procurar que la arena sea libre de cualquier residuo y que entre de 1-2 de la escala de colores. Ahora bien, las gravedades específicas, obteniendo resultados de 2.60 para la arena, y 2.67 para grava  $\frac{3}{4}$  y 1  $\frac{1}{2}$ . Por último, las humedades para posteriormente calcular los pesos para la mezcla de concreto hidráulico se exponen los promedios de los siguiente de la arena resultando de 6.31%, grava  $\frac{3}{4}$  de 2.05 y grava 1  $\frac{1}{2}$  de 1.60. Los resultados de la parte investigativa para corroborar si dos de los porcentajes podían cumplir con las resistencias deseadas, se realizaron las mismas pruebas a los agregados, en donde los resultados dieron similar a las características de los agregados utilizados para la realización de fase I, en donde los porcentajes de error de la grava  $\frac{3}{4}$  igual a 0.385%, grava de 1  $\frac{1}{2}$  de 0.43% y la arena de 0.84%, de igual forma, el módulo de finura resultó de 3.05 y el ensayo de colorimetría, es una arena libre de impurezas, porque según la escala de Gardner, pertenece a la escala 1.

2) Se comprobó que la sustitución de ceniza volante en un determinado porcentaje ayuda al concreto hidráulico a tener una mejor trabajabilidad y resistencia a compresión y flexión. Se concluye que para la trabajabilidad del concreto fresco la sustitución de la ceniza entre rangos de 10%-25% resulta una mejor trabajabilidad del concreto hidráulico obteniendo revenimientos de hasta de 6.5". Para la obtención de mejores resistencias a compresión la dosificación óptima con ceniza volante es con la sustitución del 15% en donde los pesos para 0.070 m<sup>3</sup> es la siguiente: cemento estructural advanced tipo I con 40.50 lbs, ceniza volante con 7.70 lbs, arena con 118.50 lbs, grava  $\frac{3}{4}$  con 53.60 lbs, grava 1  $\frac{1}{2}$  con 128.30 lbs, agua con 21.40 lbs y el aditivo que se ha implementado IMIX RB-910 igual a 85 ml, obteniendo resistencia promedio a la compresión de 4770 psi a los 28 días. La dosificación para resultados óptimos

a flexión se han encontrado 4 porcentajes en donde superan las resistencias para la cual fue diseñada, que son de 10% en donde los pesos son los siguiente: cemento estructural advanced tipo I igual a 42.80 lb, ceniza volante con 4.80 lb, arena con 118.50 lb, grava  $\frac{3}{4}$  con 53.60 lb, grava 1  $\frac{1}{2}$  con 128.30 lb, agua 21.40 lb y aditivo IMIX RB-910 igual a 85 mL obteniendo resistencias de 630 psi, para el 15% y 20% con CV y mezcla control a flexión se alcanzó una resistencia de 660 psi, en donde los pesos de los agregados, agua y IMIX RB-910 del 20% y 25% con ceniza volante son iguales, así como los pesos de cemento estructural advanced tipo I de 38.10 lb y ceniza volante de 9.50 lb para el 20% con CV, y 35.70 lb de cemento estructural advanced tipo I y 11.90 lb de ceniza volante para el 25% con CV. Así mismo, el objetivo de que la trabajabilidad fuese excelente en las mezclas del concreto con la ceniza volante se ha logrado, ya que para el 20% se ha conseguido un revenimiento de 6.75" y para un 25% de 6.875", y la mezcla control supera con 7.50", y para razones de esta investigación se esperaba un revenimiento de 6"-7.5". La dosificación adecuada dependerá del porcentaje que se decida sustituir, pero para cumplimiento de resistencia a la flexión sería para un 20% en donde los pesos en libras serían: cemento HE de 38.10 lb, ceniza volante de 9.50 lb, arena de 116.0 lb, grava  $\frac{3}{4}$  de 53.20 lb, grava 1  $\frac{1}{2}$  de 127.80 lb, agua de 24 lb y al aditivo IMIX RB-910 de 85 mL.

3) Las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico sometidas a esfuerzos de compresión sin adición alguna de ceniza volante nos resulta como resistencia a la compresión igual a 5360 psi, el 10% con CV obtenemos un valor de 3760 psi, seguido del 15% con esfuerzos máximos de 4770 psi, con el 20% resultando resistencia máxima de 3810 psi, 25% alcanzando resistencias de 3820 psi y última iteración con 30% obteniendo resultados de 2470 psi, se puede observar que los resultados con la adición óptima de ceniza volante influye significativamente, para el ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, el mejor esfuerzo alcanzando obteniendo una resistencia de 4770 psi fue el 15% con CV; con la dosificación empleada anteriormente y las especificaciones de los agregados gruesos y finos de la empresa Eterna S.A. Por otro lado, el peso del concreto en su estado fresco es de 150.99 lbs/ft<sup>3</sup>, menor al peso de la mezcla control que fue de 152.76 lbs/ft<sup>3</sup>, al igual que el revenimiento del concreto, resultando de 6.625" con ceniza volante del 15%, resultando mayor a 6" de la mezcla control. Para la continuación de las pruebas para los porcentajes de 20% y 25%, a una edad de curado de 66 días, lastimosamente no se alcanzaron las resistencias deseadas, obteniendo resultados de 3880 psi para 20%, y 25% de 2630 psi.

4) Las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico sometidas a esfuerzos de flexión para mezcla control hemos obtenido una resistencia de 660 psi a 28 días, para un 10% de sustitución un esfuerzo máximo de 630 psi, 15% resistencia máxima de 660 psi, para un 20% obteniendo mismas resistencias de 600 psi, para un 25% teniendo un valor cercano de 650 psi y por último para un 30% obteniendo resistencia máxima de 490 psi, teniendo estos valores, se demuestra que el concreto hidráulico con una sustitución óptima de ceniza volante influye significativamente de manera positiva, viendo así, que con porcentajes de 15%-25% obtenemos resistencias iguales a las de la mezcla control, además de revenimientos mayores que la mezcla control, 6.625" contra 6". De igual forma, los pesos volumétricos con ceniza volante, el concreto es menos pesado que la mezcla control, resultando pesos de 147.4s lbs/ft<sup>3</sup> con 10% de sustitución de ceniza volante a comparación de 152.76 lbs/ft<sup>3</sup> de la mezcla control. De igual manera, los resultados a flexión para las siguientes pruebas para corroborar si con 20% y 25% llegaban a las resistencias alcanzadas no son lo que se esperaba, sin embargo, a la edad de curado de 66 días se alcanzó una resistencia de 610 psi y la de 25% una resistencia máxima a la flexión de 370 psi. Por lo tanto, podemos concluir que para esfuerzos sometidos a flexión podemos utilizar un concreto con una sustitución del 20%.

5) Se observa con facilidad que los costos de fabricación haciendo la sustitución del cemento por ceniza volante si es significativa y conviene, en donde se muestran los costos comparativos de varias empresas de un concreto 4000 psi y los costos de fabricación con las sustituciones respectivas. Se muestran los valores de L.3,067.05 de la empresa Eterna S.A., L3,283.25 de la empresa Hormigón, L.3,507.50 de Cohnsa Payhsa y L.3440.80 de Duracreto, haciendo la comparación, un concreto de 4000 psi haciendo la sustitución de 20% el precio es de L.3030.23, por lo tanto, el objetivo planteado al inicio de esta investigación cumple con los requisitos y expectativas de dicha investigación.



## IX. RECOMENDACIONES

Recomendaciones según objetivos:

1) Realizar investigaciones futuras con el uso de la Ceniza Volante como sustitución porcentual del cemento Portland en el Concreto Hidráulico proveniente de otros sitios que no sea Caracol Knits, para obtener una mejor análisis del uso de ceniza volante, debido a que las propiedades químicas pueden cambiar según el sitio de obtención y verificar si los datos obtenidos con el uso de ceniza volante proveniente de otro sitio pueda ser menor, igual o mayor, en comparación a la ceniza volante de Caracol Knits; considerando utilizar los mismo agregados de Eterna S.A., ya que estos cumplieron con todos los parámetros y rangos solicitados por las normas aplicadas.

2) De acuerdo a las dosificaciones que cumplieron con los esfuerzos de compresión y flexión todas las mezclas tienen muy buena trabajabilidad y consistencias para sus uso, sin embargo, en compresión se observó que ciertos diseños con CV no alcanzaron su resistencia máxima a los 28 días; por lo que se recomienda establecer una edad mucho mayor de 56 días para realizar rupturas de los especímenes que estuvieron muy cerca del 100% de resistencia alcanzada, y poder identificar si algún porcentaje mayor del 15% con CV cumple su máxima resistencia.

3) Mediante las normas utilizadas en la investigación se establece que se debe tener un mínimo de 2 especímenes de prueba; pero, para futuras investigaciones se recomienda utilizar 3 especímenes para esfuerzos a compresión para obtener una mejor desviación estándar al momento de realizar un análisis estadístico, utilizando los agregados de Eterna S.A. y la ceniza volante de caracol Knits, Potrerillos.

Otras recomendaciones:

4) Considerando el porcentaje óptimo obtenido de 15% en la investigación se recomienda intentar realizar pruebas a esfuerzo de compresión y flexión con una resistencia del concreto de  $f'c = 5000$  psi en el rango de 15%-25% con CV con un edades de curado de 56 a 72 días y utilizar combinación granulométrica con grava  $1\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " basándose en la norma ACI-325-19.

5) Debido a falta de recursos de un laboratorio químico especializado se recomienda realizar un análisis químico de las cenizas volantes de la empresa Caracol Knits, en los laboratorios de Cementos del Norte S.A.

- 6) Se recomienda el estudio del análisis de durabilidad del concreto hidráulico con adición de ceniza volante cuando está sometido a esfuerzos de compresión y flexión en elementos funcionales, donde se pueda observar el tránsito vehicular, ya que este genera cargas en el concreto hidráulico, en donde se analizan, la fuerza del arrastre, contracciones del concreto y tipos de fisuras ante los esfuerzos ejercidos.
- 7) Estudiar el concreto con sustitución y el fisuramiento que este pueda presentar cuando es sometido a esfuerzo de flexión para ver si la ceniza volante influye de alguna manera positiva o negativa.
- 8) Actualmente no se puede estimar un porcentaje de contaminación que ocasionan las cenizas volantes, por lo que se recomienda seguir indagando el uso de la ceniza volante en mezclas de concreto hidráulico hasta tener una conclusión final e identificar si el uso de las cenizas volantes mantiene los valores que se desean al momento de diseñar la mezcla, por lo que si se obtienen conclusiones meramente favorables, se iniciaría un plan de comercialización de la ceniza volante y poder evitar a que estas sean desperdicios y estén aglomeradas o amontonadas al aire libre permitiéndoles de manera más fácil la contaminación ambiental tanto del aire, como del suelo, y consecutivamente con algún cauce de un río, ya que la comercialización evitaría y se empezaría a disminuir el impacto ambiental.
- 9) Utilizar herramientas y equipos certificados como ser juegos de tamices ASTM, Beaker, medidor de contenido de aire, cono de Abrams, escala de colores Gardner y máquina universal de compresión y flexión, entre otros.
- 10) Para futuras iteraciones, realizar diseños de mezclas de concreto hidráulico para un  $f'c=5000$  psi, pero con el mismo porcentaje de sustitución de ceniza volante y cemento Tipo I (AE).
- 11) Realizar estudio estadístico para graficar " $f'c$  vs Probabilidad", para obtener una mezcla de concreto hidráulico confiable. Debe ser  $\Rightarrow 30$  muestras según el ACI 214R-9 en la tabla 4.1 y 4.2.
- 12) Realizar la curva de " $A/C$  vs  $f'c$ " mediante el estudio mencionado anteriormente, para lo cual se necesitarían resistencias de concreto entre (2000-8000) psi.
- 13) Dado a que en fase II se realizaron las pruebas con distinto cemento (cemento HE), a pesar que se tenía un respaldo del comportamiento de ambos cementos en comparación, se recomienda realizar los diseños con 20 y 25% con cemento tipo I y ver el comportamiento que este presenta.

## **X. APLICABILIDAD**

En base a las conclusiones alcanzadas, se deben considerar los puntos prácticos en los que se puede utilizar este tipo de material constructivo. Dado que se trata de un análisis exploratorio, los datos obtenidos a través de las pruebas realizadas pueden ofrecer una variedad de usos.

Uno de los usos de esta investigación podría ser como base para estudios similares utilizando cualquier tipo ceniza volante proveniente de otro sitio, en comparación a la ceniza volante que se utilizó para él estudio en esta investigación, proveniente de Caracol Knits, Potrerillos, Cortés, Honduras, así como lo son los agregados utilizados donde su procedencia Eterna S.A. Km 1 Carretera Occidente, Chamelecón, San Pedro Sula, considerando combinación granulométrica de agregados gruesos de grava de 1½" y ¾". Actualmente no existen empresas en la ciudad de San Pedro Sula, Honduras que implementan el uso de ceniza volante en el concreto hidráulico, por lo que esta investigación podría ser de gran estudio.

Todos aquellos datos obtenidos que presenten relevancias de igualdad o superiores son de gran valor para las empresas productoras de concreto hidráulico, ya que este generaría cambios en las dosificaciones, sustituyendo cierto porcentaje de cemento portland por la ceniza volante y poder realizar correlaciones entre los concretos de baja y alta resistencia.

Para la aplicabilidad del concreto hidráulico con sustitución de ceniza volante se puede diseñar para una resistencia de 3000 psi para elementos estructurales como ser cimentaciones superficiales, estacionamientos, aceras, entre otros, y diseñar para un concreto 4000 psi para todos aquellos elementos tales como columnas, vigas, zapatas, losas de piso entre otros, dado que según la finalidad que se ocupe el concreto, se puede diseñar para la resistencia deseada, y por resultados obtenidos, se puede diseñar hasta para un concreto 4000 con ceniza volante, La presente investigación es dirigida a la comunidad de Ingeniería Civil, empresas productoras de concreto hidráulico, constructoras y empresas dedicadas a la supervisión de obras civiles.

## BIBLIOGRAFÍA

- (MITECO), E. M. (01 de 07 de 2021). *Las emisiones de CO2 en 2020 descienden por primera vez por debajo del nivel de 1990 a causa del aumento de la generación eléctrica renovable, la caída del carbón y las limitaciones de actividad y movilidad por la pandemia*. Obtenido de [https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones\\_co2.aspx#:~:text=Por%20sectores%2C%20el%20transporte%20sigue,sectores%20residencial%2C%20comercial%20e%20institucional%20](https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx#:~:text=Por%20sectores%2C%20el%20transporte%20sigue,sectores%20residencial%2C%20comercial%20e%20institucional%20)
- 138, A. (2020). *PESO UNITARIO, RENDIMIENTO, Y CONTENIDO DE AIRE*. Obtenido de <file:///C:/Users/saint/Downloads/peso-unitario%20met%20gravimetrico%20.pdf>
- AALE, A. A. (2010). Recuperado el 2023, de <https://www.asale.org/damer/charola>
- Agudelo Moreno, A. A., & Espinosa Torres, B. G. (2017). *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE DE TERMOPAIPA*. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/66e3d85c-7bb9-4dca-9a58-caaa2491de3d/content>
- Arbeláez, G. (2020). *IMPORTANCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO*. Cementos Argos.
- Cáceres, S. H., & Quispe, G. B. (2018). *Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento*. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366>
- Cementos del Norte S.A. (s.f.). Obtenido de <https://cenosa.hn/>
- Chuquihuaraca Concha, C., & Crisostomo Paucar, J. (2020). Sustitución de cemento por ceniza volante y su efecto en la permeabilidad del concreto 280 kg/cm<sup>2</sup> para estructuras hidráulicas, Lima – 2020. *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57335>
- Concrete Admixtures and Fiber. (s.f.). Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static1.squarespace.com/static>

/5a4d0294e9bfdf090049f338/t/5a50fe1e24a694bca820ec9f/1515257374523/ESP+15+IMIX-RB+910.pdf

CONHSA PAYHSA. (s.f.). Obtenido de <https://www.conhsapayhsa.com/new/>

Construcción, D. d. (2023). *Definición de cono de Abrams y conceptos relacionados*. Recuperado el 2023, de <https://www.parro.com.ar/definicion-de-cono+de+Abrams>

Cromtek. (2022). *AGITADOR DE TAMIZ: CÓMO ELEGIR EL MÁS ADECUADO*. Recuperado el 2023, de <https://www.cromtek.cl/2020/11/20/agitador-de-tamiz-como-elegir-el-mas-adeecuado/>

Cruz, F., Martínez, D., & Enamorado, A. (2019). *MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS*. Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-honduras/materiales-de-construccion-ii/materiales-cementantes-suplementarios-2/5559626>

DIMACRO. (2023). *CONJUNTO PARA TOMA DE MUESTRA*. Recuperado el 2023, de <https://dimacro.com.co/portafolio/laboratorio-concreto-suelos/conjunto-toma-muestras/>

DIMACRO. (2023). *Preparacion de cilindros de concreto en campo*. Recuperado el 2023, de <https://dimacro.com.co/portafolio/laboratorio-concreto-suelos/molde-cilindrico-prueba-de-concreto/#:~:text=El%20molde%20cil%C3%ADndrico%20se%20utiliza,y%20para%20determinar%20su%20calidad.>

Duarte, A. J. (2018). *"ESPECIFICACIONES TÉCNICAS" PARA LA PAVIMENTACION DE LA 27 CALLE S.E. DESDE EL SEGUNDO ANILLO DE CIRCUNVALACION HASTA EL BOULEVARD DEL ESTE, SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS*. CICH, San Pedro Sula, Honduras. Obtenido de <http://h1.honducompras.gob.hn/Docs/Lic578MSPS-GI-02-20181402-AnexosalPliego.pdf>

DURACRETO . (s.f.). Obtenido de <https://duracretohn.com/>

EcuRed. (2016). *Mezcladora de Cemento*. Recuperado el 2023, de [https://www.ecured.cu/Mezcladora\\_de\\_Cemento](https://www.ecured.cu/Mezcladora_de_Cemento)

Eterna S.A. (s.f.). Obtenido de <https://www.grupoeterna.com/>

- EUROLAB. (2022). *Método de prueba estándar ASTM C39 para resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto*. Obtenido de <https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-c39-silindirik-beton-numunelerinin-basinc-dayanimi-icin-standart-test-yontemi/>
- Eyco, L. (2020). *La escala Color Gardner se utiliza en materiales y sustancias transparentes como aceites, barnices o resinas*. Recuperado el 2023, de <https://www.laboratorioseyco.com/color-gardner/#:~:text=La%20escala%20de%20Color%20Gardner,claro%20hasta%20el%20marr%C3%B3n%20oscuro.>
- FEMTO. (2022). *Balanza digital | FEMTO*. Obtenido de <https://femto.es/balanza-digital/#:~:text=Las%20balanzas%20digitales%20son%20instrumentos,deposita%20el%20objeto%20a%20pesar.>
- Fiber, C. A. (s.f.). *IMIX RB-910 International Materials Industries LLC*. Recuperado el 07 de mayo de 2023, de <https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static1.squarespace.com/static/5a4d0294e9bdf090049f338/t/5a50fe1e24a694bca820ec9f/1515257374523/ESP+15+IMIX-RB+910.pdf>
- González Arias, E. (2012). Nueva técnica de dosificación de hormigones reciclados: Método del volumen de Mortero Equivalente. *Facultad de Ingeniería de la Construcción*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad nacional de Colombia.
- Guzmán Reyes, A. R., Zambrano Gómez, M. V., & Zavala de Gómez, M. (2014). ANÁLISIS DE CALIDAD FÍSICO Y MECÁNICO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO, DE LOS PRINCIPALES BANCOS DE MATERIALES DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR. (FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL). UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6274/1/50107996.pdf>
- HORMIGÓN S. DE R.L. (s.f.).

- ICPA. (2014). *Diseño Racional de mezclas de hormigón*. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/dosifica.pdf>
- Ing. Héctor Bustilo. (s.f.). Obtenido de <https://www.grupoeterna.com/>
- Jaen, U. d. (2023). *METODOLOGIA CUALITATIVA*. Obtenido de [http://www.ujaen.es/investiga/tics\\_tfg/enfo\\_cuali.html](http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/enfo_cuali.html)
- Juárez, C. A., Rivera, J. M., Durán, A., & Valdez, P. L. (2007). Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante. *Ciencia UANL*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. doi:ISSN (Versión impresa): 1405-9177
- Knits, C. (13 de febrero de 2023). (I. H. Bustillo, Entrevistador)
- Languages, O. (s.f.). *Definicion de Palas*. Obtenido de [https://www.google.com/search?q=definicion+de+palas+&sxsrf=AJOqlzUpzW6VfQHPTidmLgMHktRXDeZu3A%3A1679413140423&ei=IM8ZZIW4GeijqtsP5eWK2Ao&ved=0ahUKEwiF0qm9re39AhXokWoFHeWyAqsQ4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+palas+&gs\\_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQaziGCAAQFhAeMgg](https://www.google.com/search?q=definicion+de+palas+&sxsrf=AJOqlzUpzW6VfQHPTidmLgMHktRXDeZu3A%3A1679413140423&ei=IM8ZZIW4GeijqtsP5eWK2Ao&ved=0ahUKEwiF0qm9re39AhXokWoFHeWyAqsQ4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+palas+&gs_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQaziGCAAQFhAeMgg)
- Languages, Oxford. (2017). *DEFINICIÓN DE CARRETILLA*. Recuperado el 2023, de [https://www.google.com/search?q=definicion+de+carretilla&bih=746&biw=1536&hl=es-419&sxsrf=AJOqlzW2TQqPNy9Hdmo5jvWLsgwLMOpowQ%3A1679416091122&ei=G9sZZOiLB8CvqtsPhr-1-Ak&ved=0ahUKEwiohaq8uO39AhXAI2oFHYZfDZ8Q4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+carretilla&gs\\_lcp=](https://www.google.com/search?q=definicion+de+carretilla&bih=746&biw=1536&hl=es-419&sxsrf=AJOqlzW2TQqPNy9Hdmo5jvWLsgwLMOpowQ%3A1679416091122&ei=G9sZZOiLB8CvqtsPhr-1-Ak&ved=0ahUKEwiohaq8uO39AhXAI2oFHYZfDZ8Q4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+carretilla&gs_lcp=)
- Lazarus, E. (2020). *Decifrando la norma de aditivos de concreto, ASTM C494*. Universidad de Texas en Austin. Obtenido de <https://www.grupolazarus.com/decifrando-norma-aditivos-de-concreto/>
- Lorca Aranda, P. (2014). EFECTO DE LA ADICIÓN DE HIDRÓXIDO CÁLCICO SOBRE MEZCLAS CON ALTA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CENIZA VOLANTE. (*Tesis doctoral*). Universidad politecnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39340/Lorca%20->

%20EFECTO%20DE%20LA%20ADICIÓN%20DE%20HIDRÓXIDO%20C%  
C3%81LCICO%20SOBRE%20MEZCLAS%20CON%20ALTA%20SUSTITUCIÓN%  
20DE%20CEMENTO%20P....pdf?sequence=1

Ma-Tay Pinel, D. E. (2014). Valorización de cenizas de bagazo procedente de Honduras: Posibilidades de uso en matrices de cemento Pórtlan. *INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, Valencia, España. doi:330505, 331202, 331208, 331209, 331212

Molinari, J. (2004). *Reportes y artículos de la AMCI - referentes al tema concretos con cenizas volantes* -. (asociación mexicana de concretos independientes. Obtenido de <https://docplayer.es/amp/211433566-Analisis-del-comportamiento-mecanico-de-muestras-de-concreto-adicionadas-con-ceniza-volante-sometidas-a-la-exposicion-de-sulfatos.html>

Narvaez, M. (2023). *Tipos de investigación cuantitativa: Cuáles son y ejemplos*. Recuperado el 10 de febrero de 2023, de <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-investigacion-cuantitativa/>

Neville, A. (1999). *Tecnología de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. doi:ISBN: 9684640927

Niño Hernández, J. G. (2003). Durabilidad del Concreto. *Facultad de Ingeniería*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Osorio, J. (2022). *REACCIÓN ÁLCALI AGREGADO: UN ENSAYO IMPORTANTE EN LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. Colombia. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/reaccion-alkali-agregado/>

Oxford Languages. (2019). *Definición de cubetas*. Recuperado el 2023, de [https://www.google.com/search?q=definicion+de+cubetas&bih=746&biw=1536&hl=es-419&sxsrf=AJOqlzXJ7WLxoSuayaQ1jr7a0UZ0-rRVw%3A1679416360268&ei=KNwZZJaCEKtqtsPuqCFqA8&ved=0ahUKEwiWttW8ue39AhWglmoFHTpQAfUQ4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+cubetas&gs\\_lcp=Cgxnd3](https://www.google.com/search?q=definicion+de+cubetas&bih=746&biw=1536&hl=es-419&sxsrf=AJOqlzXJ7WLxoSuayaQ1jr7a0UZ0-rRVw%3A1679416360268&ei=KNwZZJaCEKtqtsPuqCFqA8&ved=0ahUKEwiWttW8ue39AhWglmoFHTpQAfUQ4dUDCA8&uact=5&oq=definicion+de+cubetas&gs_lcp=Cgxnd3)



- Pelman Osorio, E. E., Morales Ortiz, J. E., & Zavala Castellanos, K. N. (2018). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y FLEXION DE CONCRETO CON FIBRA PET. (*TESIS DE PREGRADO*). UNITEC, San Pedro Sula, Honduras.
- Pinto, A. (2012). *¿Que son las maquinas universales?* Recuperado el 2023, de <https://ingenieriareal.com/tipos-de-maquinas-universales-de-tension-y-compresion/>
- Salgado, J. (2018). *Especificaciones del ASTM C136*. Obtenido de <https://www.geniolandia.com/13091783/cuales-son-los-codigos-de-color-para-marcar-tuberia>
- Sampieri, R. (2006). *Enfoque cualitativo y cuantitativo, según Hernández Sampieri*. Recuperado el 2023, de <https://portaprodti.wordpress.com/enfoque-cualitativo-y-cuantitativo-segun-hernandez-sampieri/>
- Siemeon Cañas, J. (2020). *ASTM C 143-00*. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA, El Salvador.
- Siglo XXI, I. U. (05 de marzo de 2023). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, ADMINISTRACIÓN, FINANCIAMIENTO, MANTENIMIENTO Y TRANSFERENCIA DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y MEJORAMIENTO DE LA RED VIAL DE SAN PEDRO SULA*. Obtenido de <https://sapp.gob.hn/services/infraestructura-urbana/siglo-xxi/>
- Simeon Cañas, J. (2017). (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. *MATERIALES DE CONSTRUCCION*. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA.
- SINGEI 2018, I. N. (s.f.). *REPORTE NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMATICO*. Mi Ambiente. Recuperado el 10 de febrero de 2023, de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Inventario%20Nacional%20de%20Gases%20de%20Efecto%20Invernadero.pdf>
- Sollutia. (Diciembre de 2011). *CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN Y CENIZAS DE HOGAR O ESCORIAS*. Recuperado el 2023, de Centro de Recursos y Experimentaciones de Obras Públicas CEDEX: [https://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es\\_CENIZASVOLANTESDECARBONYCENIZASDEHOGAROESCORIASDIC2011.pdf](https://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_CENIZASVOLANTESDECARBONYCENIZASDEHOGAROESCORIASDIC2011.pdf)

- SurveyMonkey. (s.f.). *¿Qué es la investigación experimental?* Recuperado el 10 de febrero de 2023, de <https://es.surveymonkey.com/mp/que-es-la-investigacion-experimental/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20experimental%20se%20divide,dise%C3%B1o%20preexperimental%2C%20puro%20y%20cuasiexperimental.>
- TEO, T. d. (2021). *Beaker de laboratorio*. Recuperado el 2023, de <https://www.instrumentodelaboratorio.info/beaker-de-laboratorio/>
- UMANZOR, I. C., GUARDADO, S. O., & BODDEN, B. J. (2017). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON FIBRA DE .*
- UTEST. (2021). *Pruebas de Concreto Fresco Contenido de Aire*. Recuperado el 2023, de <https://www.utest.com.tr/es/25964/Contenido-de-Aire#:~:text=El%20UTC%2D0650%20Medidor%20de,bomba%20de%20aire%20y%20v%C3%A1lvulas.>
- Valarezco, M. (2011). *Contenido de aire del concreto fresco, método volumétrico (resumen ASTM C 173)*. UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA. Obtenido de [https://civilgeeks.com/2011/04/02/contenido-de-aire-del-concreto-fresco-metodo-volumetrico-resumen-astm-c-173/#:~:text=\)%20%7C%20CivilGeeks.com-,Contenido%20de%20aire%20del%20concreto%20fresco,volum%C3%A9trico%20\(resumen%20ASTM%20C%20173\)&text=Este%20m%C3](https://civilgeeks.com/2011/04/02/contenido-de-aire-del-concreto-fresco-metodo-volumetrico-resumen-astm-c-173/#:~:text=)%20%7C%20CivilGeeks.com-,Contenido%20de%20aire%20del%20concreto%20fresco,volum%C3%A9trico%20(resumen%20ASTM%20C%20173)&text=Este%20m%C3)
- Valdez Rodríguez, C. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCRETO LIVIANO, EN UNA FÁBRICA DE LA ZONA METROPOLITANA*.
- Valdez, P. (2007). *Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante*. Nueva León, México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/402/40210112.pdf>
- Varela, M., & Cardona, J. (25 de febrero de 2023). *¿Cuanto ha sido el el consumo de cemento que ha hecho durante un semana?* (J. Martinez, Entrevistador) Villanueva, Cortes. Recuperado el 2023
- Velázquez, A. (2023). *¿Qué es la Investigación Exploratoria?* Recuperado el 12 de febrero de 2023, de <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion->

exploratoria/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20exploratoria%20es%20un,pero%20sin%20proporcionar%20resultados%20concluyentes.

Vergara, F. (2013). *Cemento y sus especificaciones en las normas ASTM*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/download/328/pdf/>

## ANEXOS

A continuación, se muestran imágenes de los procesos realizados en la investigación.



### Anexo 1 – Nueva Presentación del Cemento Portland Estructural Advanced tipo I

Fuente: Cementos del Norte S.A.



### Anexo 2 - Mezcla de concreto con 15% de CV

Fuente: Propia



**Anexo 3 - Elaboración de testigos**

Fuente: Propia



**Anexo 4 - Prueba de revenimiento 6.25'' con 15% de CV**

Fuente: Propia



**Anexo 5 – Peso de concreto en estado fresco**

Fuente: Propia



**Anexo 6 - Especímenes en proceso de secado**

Fuente: Propia



**Anexo 7 - Pila de curado**

Fuente: Propia



**Anexo 8 - Secado de testigos**

Fuente: Propia



**Anexo 9 - Pruebas de resistencias en máquina de compresión y flexión**

Fuente: Propia



**Anexo 10 - Ruptura de viga con 15% de CV**

Fuente: Propia





**Anexo 11 - Ruptura de cilindro con 15% de CV**

Fuente: Propia



**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Ø 1-1/2" Ubicación : TRITURACIÓN **LAB-FOR-006**

**Ver. 3**

Fecha : 26-ene.-23 Hora : 8:30 AM

<b>DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)</b>			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
3347.1	3339.5	7.6	0.23

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
					100	-	100
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1½	171.3	5.13	5.13	94.87	90	-	100
1	1360.1	40.73	45.86	54.14	20	-	55
¾	1324.9	39.67	85.53	14.47	0	-	15
½	446.8	13.38	98.91	1.09			
⅜	23.2	0.69	99.60	0.40	0	-	5
# 4	6.0	0.18	99.78	0.22			
# 8	1.5	0.04	99.83	0.17			
# 16	1.5	0.04	99.87	0.13			
# 30	1.3	0.04	99.91	0.09			
# 50	1.2	0.04	99.95	0.05			
# 100	0.9	0.03	99.98	0.02			
Fondo	0.8	0.02	100.00	0.00			
Totales =	3339.5						

<b>RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)</b>									
Color 1	✘	Color 2		Color 3		Color 4		Color 5	

Observaciones : \_\_\_\_\_



**DANIEL VALLE**

Elaborado por

Revisado y aprobado por

**Anexo 12 - Hoja de laboratorio de granulometría grava 1½" - fase I**

Fuente: Ingeniero Héctor Bustillo



**ETERN A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Ø3/4 Ubicación : trituradora **LAB-FOR-006**  
**Ver. 1**  
 Fecha : 26-Jan-23 Hora : 08:30:00

DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
2559.7	2551.4	8.3	0.32

ANÁLISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2							
1½							
1	0.0	0	0	100	100	-	100
¾	52.2	2.05	2.05	97.95	90	-	100
½	1085.7	42.55	44.60	55.40			
⅜	647.2	25.37	69.97	30.03	20	-	55
# 4	732.0	28.69	98.66	1.34	0	-	10
# 8	24.6	0.96	99.62	0.38	0	-	5
# 16	4.0	0.16	99.78	0.22			
# 30	1.8	0.07	99.85	0.15			
# 50	1.3	0.05	99.90	0.10			
# 100	1.0	0.04	99.94	0.06			
# 200	0.0	0.00	99.94	0.06			
Fondo	1.6	0.06	100.00	0.00			
Totales =	2551.4	MF =	6.68				

RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)							
Color 1	✘	Color 2		Color 3		Color 4	Color 5

Observaciones :

Daniel Valle

Elaborado por



Revisado y aprobado por

**Anexo 13 - Hoja de laboratorio de granulometría grava ¾" – fase I**

Fuente: Ingeniero Héctor Bustillo



**E T E R N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Arena para Concreto      Ubicación : Trituradora      **LAB-FOR-006**

**Ver. 2**

Fecha : 26-ene.-23      Hora : 9:00 a.m.

<b>DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)</b>			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
1317.2	1299.9	17.3	1.31

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO</b>						
Tamiz	Peso Retenido Individual	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
3/8	0.0	0.00	0.00	100	100	100
# 4	102.1	7.85	7.85	92.15	90	100
# 8	139.9	10.76	18.62	81.38	80	100
# 16	239.1	18.39	37.01	62.99	50	85
# 30	296.7	22.82	59.84	40.16	25	60
# 50	288.2	22.17	82.01	17.99	5	30
# 100	176.0	13.54	95.55	4.45	0	10
Fondo	57.9	4.45	100.00	0.00		
Totales =	1299.9	MF =	3.01			

<b>RESULTADOS DE COLORIMETRIA (ASTM C-40)</b>							
Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5			
	✘						

Observaciones : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**DANIEL VALLE**

Elaborado por



Revisado y aprobado por

**Anexo 14 - Hoja de laboratorio de granulometría de la arena – fase I**

Fuente: Ingeniero Héctor Bustillo



DIRECCIÓN DE INGENIERÍA

Propiedades de los agregados de río Chamelecón, San Pedro Sula

30-ene-23

Tipo de agregado	Gravedad Específica	Absorción (%)	Peso húmedo suelto (lb/ft <sup>3</sup> )	Peso húmedo suelto (kg/m <sup>3</sup> )
				(1)
Arena	2.60	2.16	90.32	1,446.79
Grava 3/4"	2.67	1.9	96.10	1,539.38
Grava 1-1/2"	2.67	1.74	95.92	1,536.49

(1) Factor usado para convertir lb/ft<sup>3</sup> - kg/m<sup>3</sup>



**Daniel Valle**

Elaborado por:

Revisado y aprobado por:

**Anexo 15 - Hoja de laboratorio de las gravedades específicas**

Fuente: Ingeniero Héctor Bustillo



## Concrete Admixtures and Fiber

### IMIX-RB910

Retardador y Promotor de Resistencia

#### DESCRIPCION

**IMIX- RB910** es un compuesto sintético líquido, formulado como un aditivo para concreto, retardador de fraguado inicial con características de revenimiento extendido. El concreto con **IMIX- RB910** mantiene el revenimiento por tiempo prolongado de acuerdo a las necesidades de la obra. **IMIX- RB910** promueve la resistencia especialmente a temprana edad y a todas las edades aun sin tener alta reducción de agua en el concreto. Está diseñado, para proveer a una mezcla dada, la máxima resistencia, trabajabilidad y el tiempo para su colocación comparado con una mezcla sin aditivo, o con aditivo del mismo Tipo.

#### USO

- Concreto Para Bombeo a gran altura
- Concreto Premezclado en entregas distantes
- Concreto Arquitectónico
- Concreto de Colocación Compactado con Rodillo
- Mezclas con una amplia variedad de cementos Pórtland o Adicionados

#### VENTAJAS

- Aumenta la resistencia a temprana edad
- Usa baja dosificación y produce alto desempeño
- Sostiene el revenimiento en temperaturas de hasta 38°C o más.
- Mejora la trabajabilidad
- Controla el grado de frague inicial
- Reduce las grietas por movimientos prematuros durante el fundido del concreto
- Reduce la segregación
- Reduce la permeabilidad
- Mejora la apariencia
- Ayuda a evitar la corrosión en estructuras reforzadas con acero

### INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2800 North Johnson Street\* New Orleans, Louisiana 70117 \* PHONE: (504) 267-3341 \* Fax: (504) 267-3345

GARANTIA: La información que contiene esta ficha técnica esta basada en pruebas e información de fuentes confiables; sin embargo, no se ofrece garantía ni expresada ni implícada concerniente a la exactitud de estos datos, de los resultados que se obtienen por el uso de esto o que este uso no infringirá cualquier patente. Esta información se suministra con la condición de que las personas que la reciben harán sus propias pruebas para determinar lo adecuado para su propósito de uso particular. La responsabilidad por daños para el fabricante será, en ningún caso, mayor que el precio del material entregado.

PDF Creator: PDF4U Pro DEMO Version. If you want to remove this line, please purchase the full version

### Anexo 16 - Ficha Técnica IMIX RB-910 parte 1

Fuente: Concrete Admixtures and Fiber

## INFORMACION TECNICA

**IMIX- RB910** cumple con la norma del ASTM C-494, Tipo B y no contiene cloruros

**IMIX- RB910** reacciona con el cemento durante el estado plástico del concreto poniéndolo en estado de reposo por un espacio de tiempo, esto es producto de la retardación en la hidratación de los aluminatos tricálcicos y aluminatos dicálcicos. El tiempo es controlado por la dosificación que se use. Esto causa que la pérdida de revenimiento sea mínima. El grado relativo de generación de calor de hidratación inicial del concreto disminuye. Con **IMIX- RB910** la temperatura inicial del concreto no aumenta mientras esta en su estado plástico. **IMIX- RB910** aumenta la densidad del concreto. El concreto es menos permeable y con más resistencia a la compresión y la flexión a todas las edades.

## DATOS TECNICOS

Estado	Líquido
Color	Ámbar
Gravedad Específica	1.15 ± 0.01
pH	10 ± 1

## APLICACION

**IMIX- RB910** se dosifica a razón de 4.0 a 6.0 ML por Kg de cemento.

**IMIX- RB910** se debe de introducir a la mezcla con el agua en la planta. La dosificación se puede variar dependiendo del tiempo que se desee sostener el revenimiento, la retardación deseada, y la temperatura del ambiente.

## PRECAUSIONES

Mientras no se realicen las pruebas pertinentes **IMIX- RB910** no debe ser usado con otros aditivos en la mezcla que produzcan retardación. Es compatible con aditivos incorporadores de aire, impermeabilizantes, acelerantes y fluidificantes de la línea **IMI**; al usarse con otro aditivo cada uno debe vaciarse por separado.

Se debe tener especial cuidado si el elemento a fundir es un piso industrial con poca o nula ventilación ya que las condiciones atmosféricas pueden causar un retardo prolongado sin afectar la resistencia del concreto pero si afectar las actividades de acabado.

## ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse a una temperatura superior a 0°C; en su envase original bien sellado tiene una vida útil mínima de 12 meses dependiendo de las condiciones de almacenamiento puede ser superior.

## Anexo 17 - Ficha Técnica IMIX RB-910 parte 2

# FICHA TÉCNICA

## Cemento Tipo I



### RECOMENDACIONES GENERALES

#### Usos sugeridos

Para concretos de alta resistencia utilizados en obras con alto compromiso estructural en sus elementos como ser vigas, columnas, losas y zapatas.



Concretos de alta resistencia



Puentes



Edificios



Pavimento



Pisos industriales

- 1 Selecciona agregados duros, de tamaño adecuado y limpios (libres de arcillas, grasas y aceites, azúcares, melazas, materia orgánica, entre otros contaminantes).
- 2 Para preparar la mezcla selecciona una superficie dura y limpia que no absorba humedad.
- 3 Utiliza solamente la cantidad de agua necesaria para lograr las propiedades deseadas en la mezcla.
- 4 Si realizas la mezcla de manera manual, hazlo de manera uniforme, los agregados deberían quedar cubiertos con la pasta de cemento.
- 5 Si realizas la mezcla en concretera, coloca primero una porción de agua con la grava, luego agrega la arena y el cemento y el resto del agua.
- 6.5 Pon atención si la grava y la arena vienen mojados, entonces deberás agregar menos agua.
- 6 Coloca la mezcla de manera uniforme dentro del molde o del encofrado humedecidos y/o tratados con algún desmoldante y desaloja el aire atrapado mediante vibración o varillado.
- 7 Deja en reposo la mezcla dentro del molde o encofrado el tiempo necesario hasta que alcance la madurez conveniente, mínimo 3 días en climas cálidos y 7 días en climas fríos.
- 8 Mantén húmeda la superficie del colado, protegiéndolo de la evaporación aproximadamente unas 4 horas después del colado y aún después de desencofrar o desmoldar, durante el mayor tiempo posible.
- 5.3 Contabiliza tres minutos de mezclado, continúa con 3 minutos de reposo, cubra la mezcla a fin de evitar la evaporación del agua. Continúa con 2 minutos de mezclado final.

#### Rendimientos

De acuerdo con el diseño de mezcla.

### Anexo 18 - Ficha Técnica Cemento Tipo I parte 1

Fuente: Cementos del Norte S.A.



# FICHA



## TÉCNICA

### Cemento Tipo I

**NORMA**  
ASTM C-150



**PRESENTACIÓN**



- Bolsa: 42.5 kg
- Granel

**DEFINICIÓN**

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C-150. Se compone de clinker, caliza y yeso. Es un Cemento Portland se utiliza para la construcción especializada de obras que tienen un compromiso estructural.

#### Beneficios



Reduce costos al optimizar las mezclas de concreto



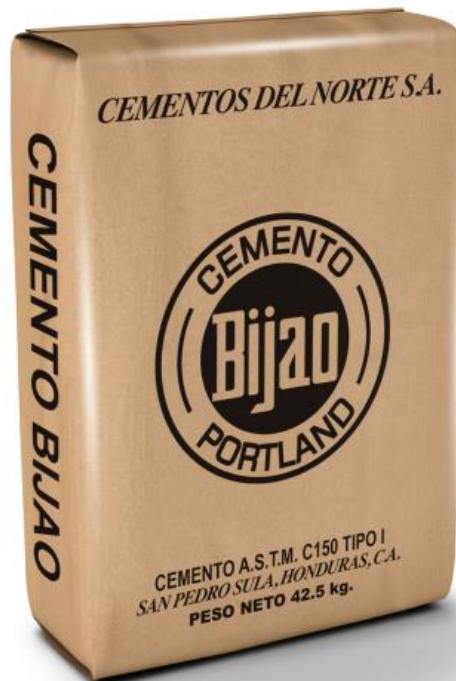
Mejor rendimiento en mezclas de concreto



Maximiza el avance de obra por su rápido secado y altas resistencias tempranas: concretos uniformes homogéneo, en sus componentes químicos y físicos



Mayor seguridad en las obras



#### Manejo de sacos



Almacene los sacos en un lugar cerrado, limpio y libre de humedad



Almácelos de tal forma que los primeros sacos que entran sean los primeros que salgan del almacén



Evite colocarlos en superficies disperejas que puedan romperlos



Maneje con cuidado los sacos al momento de moverlos, transportarlos y protéjalos de objetos que puedan causar su rotura (Varillas, clavos, puntas de maderas, etc.)



No los coloque directamente sobre el piso, utilice una tarima o algo similar



Evite que los sacos se mojen

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Especificaciones mecánicas	Método de prueba	Parámetro ASTM PSI (MPA)	Resultados Bijao PSI (MPA)	Desviación standard PSI (MPA)
Resistencia a compresión a 3 días	ASTM C-109	1,740 (12)	4,932 (34)	264 (1.8)
Resistencia a compresión a 7 días	ASTM C-109	2,755 (19)	5,791 (40)	266 (1.8)
Resistencia a compresión a 28 días	ASTM C-109	4,060 (28)	6,962 (48)	398 (2.7)

### Anexo 19 - Ficha Técnica Cemento Tipo I parte 2

Fuente: Cementos del Norte S.A.

**PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONCRETO A COMPRESIÓN**

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Revenimiento (in)	Peso (lbs)	Carga última (lbf)	Área testigo (in2)	Res. Obtenida (PSI)	̄ Resistencias (PSI)	̄ Resistencias (kg/cm2)	̄ Resistencias (Mpa)	No. De muestra
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	27/02/2023	7	6	30.10	127,600	28.27	4,514	4,600	322	32	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						29.90	132,810	28.27	4,698				
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	6/3/2023	7	6.125	29.80	76,084	28.27	2,692	2,650	186	18	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						29.60	73,836	28.27	2,612				
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	27/02/2023	7	5.625	29.90	112,020	28.27	3,963	3,900	273	27	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						30.20	108,710	28.27	3,846				
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	3/3/2023	7	6.25	30.60	64,830	28.27	2,294	2,450	172	17	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						30.20	74,130	28.27	2,623				
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	3/3/2023	7	6	29.90	58,700	28.27	2,077	2,110	148	14	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						30.10	60,820	28.27	2,152				
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	6/3/2023	7	5.875	30.40	51,715	28.27	1,830	1,800	126	12	M1
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 7 días						30.50	50,186	28.27	1,776				
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	6/3/2023	14	6	30.20	140,790	28.27	4,981	5,060	354	35	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.30	145,780	28.27	5,157				
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	13/03/2023	14	6.125	30.20	106,310	28.27	3,761	3,730	261	26	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.40	104,715	28.27	3,705				
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	6/3/2023	14	5.625	30.20	119,912	28.27	4,242	4,170	292	29	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.10	116,368	28.27	4,117				
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	10/3/2023	14	6.25	30.80	93,218	28.27	3,298	3,040	213	21	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.60	90,462	28.27	3,200				
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	10/3/2023	14	6	29.60	81,555	28.27	2,885	3,040	213	21	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.10	90,462	28.27	3,200				
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	13/03/2023	14	5.875	30.20	59,895	28.27	2,119	2,080	146	14	M2
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 14 días						30.40	58,125	28.27	2,057				
<b>Control</b>	C1	20/02/2023 CVB (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	20/03/2023	28	6	30.20	153,823	28.27	5,442	5,360	375	37	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.20	149,277	28.27	5,281				
<b>10% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	27/03/2023	28	5.875	30.30	70,989	28.27	2,512	3,760	263	26	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.10	68,891	28.27	2,437				
<b>15% CV</b>	C1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	F'c=4000	20/02/2023	20/03/2023	28	5.625	30.10	136,944	28.27	4,845	4,770	334	33	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.20	132,896	28.27	4,701				
<b>20% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	24/03/2023	28	6.25	30.00	90,940	28.27	3,217	3,810	267	26	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.40	124,460	28.27	4,403				
<b>25% CV</b>	C1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	F'c=4000	24/02/2023	24/03/2023	28	6	30.00	90,290	28.27	3,194	3,820	267	26	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.40	126,000	28.27	4,458				
<b>30% CV</b>	C1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	F'c=4000	27/02/2023	27/03/2023	28	5.875	30.30	70,989	28.27	2,512	2,470	173	17	M3
	C2	F'c=4000 PSI G_1 1/2" 28 días						30.10	68,891	28.27	2,437				

**Anexo 20 – Resultados a Compresión de 7, 14 y 28 días – fase I**

Fuente: Propia

**PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONCRETO A FLEXIÓN**

	No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fecha de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Revenimiento (in)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Área testigo (in <sup>2</sup> )	Res. Obtenida (PSI)	$\bar{X}$ Resistencias (PSI)	$\bar{X}$ Resistencias (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{X}$ Resistencias (Mpa)	No. De muestra
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	27/02/2023	7	6	66.10	7150	12	596	600	42	4.14	M1
	V2	PSI G_1 1/2" 7 días						65.90	7290	12	608				
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	6/3/2023	7	6.125	66.20	6480	12	540	570	40	3.93	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días						66.60	7300	12	609				
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	27/02/2023	7	5.625	65.80	6720	12	560	570	40	3.93	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días						65.40	7182	12	599				
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	3/3/2023	7	6.25	65.90	5460	12	455	470	33	3.24	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días						66.30	5830	12	486				
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	3/3/2023	7	6	66.10	4140	12	345	350	25	2.41	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días						65.80	4360	12	364				
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	6/3/2023	7	5.875	65.20	5720	12	477	440	31	3.03	M1
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 7 días						65.40	4910	12	410				
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	6/3/2023	14	6	66.20	7846	12	654	640	45	4.41	M2
	V2	PSI G_1 1/2" 14 días						65.90	7614	12	635				
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	13/03/2023	14	6.125	65.40	7620	12	635	590	41	4.07	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días						65.60	6610	12	551				
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	6/3/2023	14	5.625	65.40	7582	12	632	600	42	4.14	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días						65.30	6957	12	580				
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	10/3/2023	14	6.25	66.40	7424	12	619	590	41	4.07	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días						66.20	6816	12	568				
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	10/3/2023	14	6	65.80	7610	12	635	600	42	4.14	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días						66.10	6975	12	582				
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	13/03/2023	14	5.875	66.20	5770	12	481	450	32	3.10	M2
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 14 días						65.00	5180	12	432				
<b>Control</b>	V1	20/02/2023 CVB (01-02) MR-600	MR-600	20/02/2023	20/03/2023	28	6	66.20	8140	12	679	660	46	4.55	M3
	V2	PSI G_1 1/2" 28 días						66.10	7900	12	659				
<b>10% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 10% (01-02)	MR-600	27/02/2023	27/03/2023	28	6.125	65.25	7840	12	654	630	44	4.34	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días						65.45	7300	12	609				
<b>15% CV</b>	V1	20/02/2023 C/CV 15% (01-02)	MR-600	20/02/2023	20/03/2023	28	5.625	65.90	8105	12	676	660	46	4.55	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días						66.10	7854	12	655				
<b>20% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 20% (01-02)	MR-600	24/02/2023	24/03/2023	28	6.25	66.00	8710	12	726	660	46	4.55	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días						65.40	7130	12	595				
<b>25% CV</b>	V1	24/02/2023 C/CV 25% (01-02)	MR-600	24/02/2023	24/03/2023	28	6	65.00	8670	12	723	650	46	4.48	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días						65.20	7090	12	591				
<b>30% CV</b>	V1	27/02/2023 C/CV 30% (01-02)	MR-600	27/02/2023	27/03/2023	28	5.875	66.20	5880	12	490	490	34	3.38	M3
	V2	MR-600 PSI G_1 1/2" 28 días						65.10	5880	12	490				

**Anexo 21 – Resultados a Flexión de 7, 14 y 28 días fase I**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE CONTROL MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	680	308.39
Arena	1692.86	767.74
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1832.86	831.23
Agua	305.71	138.64
IMIX RB-910	1214 ml	1214 mL

**Anexo 22 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla control**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE 10% CON CV MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	611.43	277.29
<b>Ceniza Volante</b>	<b>68.57</b>	<b>31.10</b>
Arena	1692.86	767.74
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1832.86	831.23
Agua	305.71	138.64
IMIX RB-910	1214 ml	1214 ml

**Anexo 23 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 10% con CV**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE 15% CON CV MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	578.57	262.39
<b>Ceniza Volante</b>	<b>101.43</b>	<b>46.00</b>
Arena	1692.86	767.74
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1832.86	831.23
Agua	305.71	138.64
IMIX RB-910	1214 ml	1214 ml

**Anexo 24 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 15% con CV**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE 20% CON CV MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	544.29	246.84
<b>Ceniza Volante</b>	<b>135.71</b>	<b>61.55</b>
Arena	1628.57	738.58
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1822.86	826.69
Agua	370	167.80
IMIX RB-910	1214 ml	1214 ml

**Anexo 25 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 20% con CV**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE 25% CON CV MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	510.00	231.29
<b>Ceniza Volante</b>	<b>170</b>	<b>77.10</b>
Arena	1628.57	738.58
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1822.86	826.69
Agua	370	167.80
IMIX RB-910	1214 ml	1214 ml

**Anexo 26 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 25% con CV**

Fuente: Propia

<b>MEZCLA DE 30% CON CV MR-600 / 4000 PSI</b>		
	Peso (lbs)	Peso (Kgs)
Cemento Estructural Advanced Tipo I	475.71	215.74
<b>Ceniza Volante</b>	<b>204.29</b>	<b>92.65</b>
Arena	1692.86	767.74
Grava ¾"	765.71	347.26
Grava 1½"	1832.86	831.23
Agua	305.71	138.64
IMIX RB-910	1214 ml	1214 ml

**Anexo 27 – Pesos para 1m<sup>3</sup> de mezcla de 30% con CV**

Fuente: Propia

AGUAS DE SAN PEDRO S.A DE C.V. COMUNICA A LA OPINION PUBLICA EN GENERAL Y EN PARTICULAR A SUS USUARIOS DE SAN PEDRO SULA, LAS TARIFAS VIGENTES A PARTIR DE ENERO 2023 EN CUMPLIMIENTO DE LA CLÁUSULA 85 DEL CONTRATO DE CONCESIÓN

TARIFAS POR RANGO DE CONSUMO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE MEDIDO Y NO MEDIDO

SERVICIO MEDIDO

CATEGORIA DEL USUARIO	RANGO CONSUMO DE 0 A 20 M3	RANGO CONSUMO DE 21 A 50 M3	RANGO CONSUMO MAYOR DE 50 M3
Domestico	L. 9.363	L. 19.212	L. 38.449
Mesones	L. 19.212	L. 28.842	L. 38.449
Comercial	L. 19.212	L. 28.842	L. 38.449
Industriales	L. 19.212	L. 28.842	L. 38.449
Industriales alto consumidor	L. 76.851	L. 76.851	L. 76.851
Pública	L. 19.212	L. 28.842	L. 28.842

Anexo 28 - Tarifas de Aguas de San Pedro (ASP)

Fuente: Propia



Anexo 29 – Nueva Presentación de Cemento Portland HE

Fuente: Cementos del Norte S.A.

# FICHA TÉCNICA

## Cemento Tipo HE



### RECOMENDACIONES GENERALES

#### Usos sugeridos

Elaboración de bloques, postes, tubos de drenaje, pilotes y también se usa en la elaboración de concretos con compromiso estructural (vigas, columnas, losas y cimentaciones).



Elaboración de bloques



Postes



Tubos de drenaje



Vigas



Columnas



Losas

- 1 Selecciona agregados duros, de tamaño adecuado y limpios (libres de arcillas, grasas y aceites, azúcares, melazas, materia orgánica, entre otros contaminantes).
- 2 Para preparar la mezcla selecciona una superficie dura y limpia que no absorba humedad.
- 3 Utiliza solamente la cantidad de agua necesaria para lograr las propiedades deseadas en la mezcla.
- 4 Si realizas la mezcla de manera manual, hazlo de manera uniforme, los agregados deberían quedar cubiertos con la pasta de cemento.
- 5 Si realizas la mezcla en concretera, coloca primero una porción de agua con la grava, luego agrega la arena y el cemento y el resto del agua.
- 5.1 Contabiliza tres minutos de mezclado, continúa con 3 minutos de reposo, cubra la mezcla a fin de evitar la evaporación del agua. Continúa con 2 minutos de mezclado final.
- 5.2 Pon atención si la grava y la arena vienen mojados, entonces deberás agregar menos agua.
- 6 Coloca la mezcla de manera uniforme dentro del molde o del encofrado humedecidos y/o tratados con algún desmoldante y desaloja el aire atrapado mediante vibración o varillado.
- 7 Deja en reposo la mezcla dentro del molde o encofrado el tiempo necesario hasta que alcance la madurez conveniente, mínimo 3 días en climas cálidos y 7 días en climas fríos.
- 8 Mantén húmeda la superficie del colado, protegiéndolo de la evaporación aproximadamente unas 4 horas después del colado y aún después de desencofrar o desmoldar, durante el mayor tiempo posible.

#### Rendimientos

De acuerdo con el diseño de mezcla.

### Anexo 30 - Ficha Técnica del Cemento Portland HE - Parte 1

Fuente: Cementos del Norte S.A.

# FICHA



## TÉCNICA

### Cemento Tipo HE

**NORMA**  
ASTM C-1157



**PRESENTACIÓN**



- Bolsa: 42.5 kg  
- Granel

**DEFINICIÓN**

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C-1157 compuesta por Clinker, puzolana, yeso y caliza. Apto para la elaboración de estructuras que requieren alta resistencia inicial.

#### Beneficios



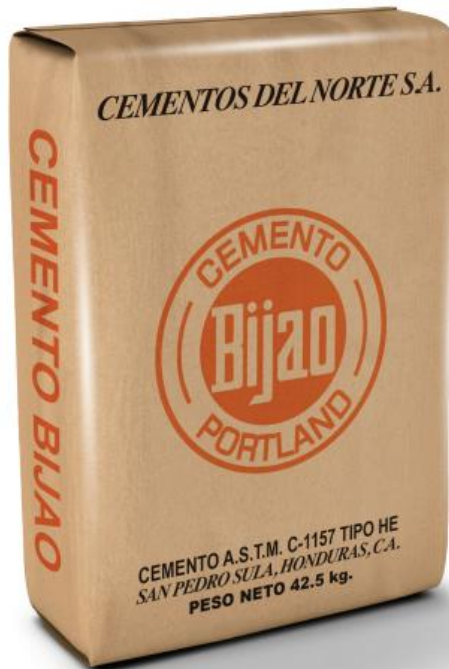
Excelente rendimiento en mezclas de concreto para elementos prefabricados.



Mezclas de concreto uniformes y con buena trabajabilidad.



Rápido secado en elementos de concreto, agilizar el desmoldar y avanzar en la producción de los mismos.



#### Manejo de sacos



Almacene los sacos en un lugar cerrado, limpio y libre de humedad



Almacénelos de tal forma que los primeros sacos que entran sean los primeros que salgan del almacén



Evite colocarlos en superficies dispares que puedan romperlos



Maneje con cuidado los sacos al momento de moverlos, transportarlos y protéjalos de objetos que puedan causar su rotura (Varillas, clavos, puntas de maderas, etc.)



No los coloque directamente sobre el piso, utilice una tarima o algo similar



Evite que los sacos se mojen



Especificaciones mecánicas	Método de prueba	Parámetro ASTM PSI (MPA)	Resultados Bijao PSI (MPA)	Desviación standard PSI (MPA)
Resistencia a compresión a 1 días	ASTM C-109	1,740 (12)	2,715 (19)	226 (1.6)
Resistencia a compresión a 3 días	ASTM C-109	3,480 (24)	4,721 (33)	277 (1.9)
Resistencia a compresión a 7 días	ASTM C-109	-----	5,563 (38)	323 (2.2)
Resistencia a compresión a 28 días	ASTM C-109	-----	6,626 (46)	566 (3.9)

### Anexo 31 - Ficha Técnica del Cemento Portland HE - Parte 2

Fuente: Cementos del Norte S.A.





**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Ø 1-1/2" Ubicación : TRITURACIÓN **LAB-FOR-006**

**Ver. 3**

Fecha : 20-abr.-23 Hora : 8:30 AM

**DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)**

Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
3474.2	3459.2	14.96	0.43

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
					100	-	100
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1½	190.6	5.51	5.51	94.49	90	-	100
1	1371.5	39.65	45.16	54.84	20	-	55
¾	1389.6	40.17	85.33	14.67	0	-	15
½	456.9	13.21	98.54	1.46			
⅜	33.6	0.97	99.51	0.49	0	-	5
# 4	9.0	0.26	99.77	0.23			
# 8	1.9	0.05	99.82	0.18			
# 16	1.4	0.04	99.86	0.14			
# 30	1.6	0.05	99.91	0.09			
# 50	1.5	0.04	99.95	0.05			
# 100	0.9	0.03	99.98	0.02			
Fondo	0.7	0.02	100.00	0.00			
Totales =	3459.2						

**RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)**

Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5
✘				

Observaciones : \_\_\_\_\_



**DANIEL VALLE**

Elaborado por

Revisado y aprobado por

**Anexo 32 - Hoja de laboratorio de granulometría grava 1½" - fase II**

Fuente: Ing. Héctor Bustillo



**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Ø3/4 Ubicación : trituradora **LAB-FOR-006**  
Fecha : 20-Apr-23 Hora : 08:30:00 **Ver. 1**

DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
2625.0	2614.9	10.1	0.38

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2							
1½							
1	0.0	0	0	100	100	-	100
¾	62.2	2.38	2.38	97.62	90	-	100
½	1095.7	41.90	44.28	55.72			
¾	657.2	25.13	69.41	30.59	20	-	55
# 4	742.6	28.40	97.81	2.19	0	-	10
# 8	34.8	1.33	99.14	0.86	0	-	5
# 16	14.1	0.54	99.68	0.32			
# 30	2.8	0.11	99.79	0.21			
# 50	2.3	0.09	99.88	0.12			
# 100	1.9	0.07	99.95	0.05			
# 200	0.0	0.00	99.95	0.05			
Fondo	1.3	0.05	100.00	0.00			
Totales =	2614.9						

RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)							
Color 1	✘	Color 2		Color 3		Color 4	Color 5

Observaciones : \_\_\_\_\_

Oscar Nuñez

Elaborado por



Revisado y aprobado por

**Anexo 33 - Hoja de laboratorio de granulometría grava ¾" - fase II**

Fuente: Ing. Héctor Bustillo



**ETERN A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ÁNÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Arena para Concreto      Ubicación : Trituradora      **LAB-FOR-006**  
**Ver. 2**  
 Fecha : 20-abr.-23      Hora : 9:00 a.m.

<b>DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)</b>			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
1194.7	1170.9	23.8	1.99

<b>ÁNÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
Tamiz	Peso Retenido Individual	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
3/8	0.0	0.00	0.00	100	100	100
# 4	90.4	7.72	7.72	92.28	90	100
# 8	94.8	8.10	15.82	84.18	80	100
# 16	338.4	28.90	44.72	55.28	50	85
# 30	260.0	22.21	66.93	33.07	25	60
# 50	244.7	20.90	87.83	12.17	5	30
# 100	93.6	7.99	95.82	4.18	0	10
Fondo	48.9	4.18	100.00	0.00		
Totales =	1170.8	MF =	3.08			

<b>RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)</b>									
Color 1	✘	Color 2		Color 3		Color 4		Color 5	

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**OSCAR NUÑEZ**

Elaborado por

Revisado y aprobado por

**Anexo 34 - Hoja de laboratorio de granulometría de la arena - fase II**

Fuente: Ing. Héctor Bustillo

No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Peso (lbs)	Diámetro (in)			Altura (in)			Densidad (lb/ft3)	X Densidad (lb/ft3)	Comparación PU / Densidad (lb/ft3)		Carga última (lbs)	Área testigo (in2)	Resistencia Obtenida (PSI)	X de Resistencias (PSI)	X de Resistencias (kg/cm2)	No. De muestra	
							D1	D2	X D	H1	H2	X H			Aumento	0.13							
Control	C1-01	26/04/2023 CVB (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 28 días	F'c=4000	26/4/2023	24/5/2023	28	30.60	6.04	6.04	6.04	12.40	12.40	12.40	148.83	150.93	Aumento	0.13	90,340	28.27	3196	3550	250	M1
	C2-02						30.20	6.00	6.03	6.02	12.00	12.00	12.00					153.04	110,490	28.27			
20% CV	C1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 28 días	F'c=4000	26/4/2023	24/5/2023	28	30.60	6.02	6.00	6.01	12.02	12.03	12.03	155.00	154.56	Aumento	6.36	100,920	28.27	3570	3290	231	M1
	C2-02						30.40	6.01	6.01	6.01	12.03	12.00	12.02					154.12	85,180	28.27			
25% CV	C1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 28 días	F'c=4000	10/5/2023	7/6/2023	28	30.20	6.06	6.06	6.06	12.60	12.01	12.31	147.04	150.35	Aumento	5.35	75,050	28.27	2655	2750	193	M1
	C2-02						30.40	6.02	6.01	6.02	12.04	12.02	12.03					153.67	80,640	28.27			
Control	C1-01	26/04/2023 CVB (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días	F'c=4000	26/4/2023	1/7/2023	66	30.60	6.00	6.00	6.00	12.03	12.04	12.04	155.39	154.77	Aumento	3.97	120,680	28.27	4269	4450	313	M2
	C2-02						30.75	6.04	6.03	6.04	12.05	12.05	12.05					154.15	131,050	28.27			
20% CV	C1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días	F'c=4000	26/4/2023	1/7/2023	66	30.50	6.04	6.02	6.03	12.00	12.00	12.00	153.79	154.35	Aumento	6.15	108,220	28.27	3829	3880	273	M2
	C2-02						30.85	6.07	6.00	6.04	12.01	12.05	12.03					154.91	111,520	28.27			
25% CV	C1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) F'C=4000 PSI G_1 1/2" 60 días	F'c=4000	10/5/2023	15/7/2023	66	30.30	6.04	6.07	6.06	12.03	12.07	12.05	150.90	150.49	Aumento	5.49	77,620	28.27	2746	2630	185	M2
	C2-02						30.05	6.05	6.04	6.05	12.04	12.07	12.06					150.09	71,500	28.27			

### Anexo 35 - Resultados a Compresión de 28 y 66 días – fase II

Fuente: Propia

No. De Testigo	Nomenclatura	Concreto (PSI)	Fechas de colado	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Slump (in)	Peso (lbs)	Carga última (lbs)	Área testigo (in2)	Resistencia Obtenida (PSI)	X de Resistencias (PSI)	X de Resistencias (kg/cm2)	No. De muestra	
Control	V1-01	26/04/2023 CVB (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	24/5/2023	28	7.50	67.35	4,735	12	395	360	25	M1
	V2-02							66.95	4,010	12	335			
20% CV	V1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	24/5/2023	28	6.75	66.75	4,540	12	379	340	24	M1
	V2-02							65.85	3,790	12	316			
25% CV	V1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	10/5/2023	7/6/2023	28	6.875	65.55	3,650	12	305	270	19	M1
	V2-02							66.10	3,015	12	252			
Control	V1-01	26/04/2023 CVB (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	1/7/2023	66	7.50	67.10	7,760	12	647	660	46	M2
	V2-02							67.20	8,300	12	692			
20% CV	V1-01	26/04/2023 C/CV 20% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	26/4/2023	1/7/2023	66	6.75	66.35	7,750	12	646	610	43	M2
	V2-02							65.35	7,010	12	585			
25% CV	V1-01	10/05/2023 C/CV 25% (01-02) MR-600 PSI G_1 1/2" 60 días	MR-600	10/5/2023	15/7/2023	66	6.875	64.45	4,760	12	397	370	26	M2
	V2-02							65.90	4,170	12	348			

### Anexo 36 - Resultados a Flexión de 28 y 66 días – fase II

Fuente: Propia



## Cotización

San Pedro Sula, 28 de Junio del 2023

**JURGEN MARTINEZ**

Estimado Cliente.

Por este medio tenemos el agrado de presentar a ustedes los precios especiales de nuestros productos.

Descripción	Cantidad	Precio	Total
CONCRETO 4000 PSI 1-1/2" C/C	64.00	L. 2,667.00	L. 170,688.00
		Subtotal	L. 170,688.00
		I.S.V	L25,603.20
		<b>Total</b>	<b>L. 196,291.20</b>

**Nota:**

- \*Cotización válida por 15 días
- \*El concreto se entrega de acuerdo a programación con el cliente
- \*Estos precios no incluyen servicio de bombeo ni transporte de concreto a los diferentes sitios.
- \*El cliente debe asegurar acceso adecuado para la circulación de nuestro equipo.
- \*La descarga del concreto debe comenzar 5 minutos después de arribar al proyecto.
- \*Los cilindros de prueba en nuestro plantel. Se entregaran certificados de resistencia a 7 y 28 días.
- \*El volumen mínimo de pedido de concreto es de 7.0 m3. abajo de este volumen se ajusta a precio del concreto por volumen menor.
- \*Nuestros productos son de alta calidad y suministrados de acuerdo a las normas ASTM C94, ACI 301, ACI 318 Y CHOC.
- \*Fundiciones fuera de la ciudad son en horario matutino . Reservar 10 días antes de la fundicion.
- \*Garantizamos resistencia del concreto. Otros factores constructivos son responsabilidad del cliente.
- \*Formas de pago: Contado (Tarjeta/ Transferencia Bancaria/ Deposito a cuenta en efectivo)

Cuentas Bancarias
Banco Ficohsa # 200004789945
Banco Atlantida # 2011-1004386
Banco Davivienda #2011583310
Banco Occidente # 11-201011170-0
Banco del Pais # 01-299-000024-2
Bac # 730049201

Quedamos a la espera de continuar sirviéndoles.

Atentamente,

**GLENDIA GUEVARA**  
TEL. 9834-9057/3392-0763



Plantel Chamelecón Km. 1 Carretera a Occidente, San Pedro Sula, Tel. & Fax 2545-6420  
 Oficina de Ventas San Pedro Sula, Local Contiguo a Gasolinera Texaco Monumento, Tel. & Fax 2545-6436  
 Oficina Tegucigalpa, Anillo Periférico Local Posterior a Gasolinera Texaco Fuerza Aérea, Tel. & Fax 2545-6438, 2545-6439

### Anexo 37 - Cotización de ETERNA S.A.

Fuente: Eterna S.A.

## COTIZACIÓN

RTN:05019001048659

No. **04071-22**  
FECHA 4/7/2023

SRES. \_\_\_\_\_  
RTN: 1601-2000-000953  
ATENCIÓN JURGEN MARTÍNEZ  
PROYECTO PAVIMENTO  
DIRECCIÓN LA TARA, SPS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	MONTO LPS.
1	SUMINSITRO DE CONCRETO DE 4,000 PSI GRAVA 1 1/2"	M3	64.00	2,855.00	182,720.00

U.L.

- \* Precio del concreto en base a entregas mínimas de 6m3/camión.
- \* Precio de la bomba en base a entregas mínimas de 15m3/día, tiempo máximo de descarga de 30 mins/camión.

<b>SUB TOTAL</b>	<b>182,720.00</b>
<b>15 % ISV</b>	<b>27,408.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>210,128.00</b>

Ing. Luis Jovel  
Elaborado Por

Ing. Raúl A. Jovel  
Autorizado Por

Notas:

- 1.- Condiciones de pago de contado por cheque o transferencia a las cuentas:
- 2.- BAC = 730174951 / FICOHSA = 45-101-129 / BANPAIS = 012990001354
- 3.- Cotización válida por 6 días
- 4.- La cantidad de obra puede estar sujeta a confirmación según condiciones del sitio
- 5.- No incluye control de temperatura.
- 6.- No incluye colocación ni acabado del concreto.
- 7.- Tiempo de descarga con la bomba, 30 mins/camión, en caso se prolongue se evaluará un sobre costo.

### Anexo 38 – Cotización de HORMIGÓN S DE R.L.

Fuente: HORMIGÓN S. DE R.L.



SC-CER77176

# COTIZACIÓN

<b>Cotización No.</b>	<b>Nombre del cliente:</b>	<b>Teléfono:</b>	<b>Fecha:</b>
2023-07-04-01	JURGEN MARTINEZ	+504 8920-4010	04/07/2023

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
64.00	m3	CONCRETO 4000 1 1/2 CON CANAL.	L. 3,440,80	L. 220,211,20
			<b>TOTAL A PAGAR</b>	L. 220,211,20

**TERMINOS Y CONDICIONES DE LA OFERTA:**

- 1.- Tiempo de entrega: Según programación
- 2.- Forma de pago:
- 3.- Validez de la Oferta: 15 días

**DEPOSITOS A NOMBRE DE DURACRETO EN LAS SIGUIENTES CUENTAS :**

- BANPAIS CTA. # 01-001-001915-1
- FICOHSA CTA. # 7-813527
- PROMERICA # 6-387642
- BAC# 200 366 699
- OCCIDENTE # 11-201-012623-6

**OBSERVACIONES:**

- 1.- Previo a la cancelacion se procedera a realizar cubicacion para garantizar el volumen de concreto a colar; donde ambas partes deberan de estar de acuerdo sobre el volumen solicitado.
- 2.- Les estamos incluyendo como valor agregado, muestras y control de calidad de concreto; en el estado plastico

**CONDICIONES EN CASO DE RECLAMO:**

- 1.- Reclamo por Concreto, tiempo limite 48 horas después de recibido el producto.
- 2.- Reclamo por resistencia de concreto, tiempo limite 30 dias después de entregado el producto.
- 3.- Reclamo por Prefabricados, tiempo limite 48 horas después de recibido el producto.
- 4.- Cambio o Devolución de productos prefabricados, tiempo limite 48 horas después de recibido el producto.

**Asesor de venta:**

MAYKO MOREIRA

**100% de GARANTIA DE SUMINISTRO.**

Producto elaborado en base a normas americanas, ASTM. C-33,C-94.

Se garantiza CONTROL DE CALIDAD en estado plastico y entrega de reportes a los 7 y 28 dias despues del colado.

Concreto producido con los mas altos estandares de CALIDAD del mercado.

Autopista a La Lima, entrada principal Col Santa Martha N.E., San Pedro Sula, Honduras  
 2545-8472 / 2545-8473 / 2545-8474 / 9578-0922 / 9508-0127 / 9565-1129  
 Info@duracretohn.com www.duracretohn.com

**Anexo 39 – Cotización de DURACRETO**

Fuente: DURACRETO











CONHSA-PAYHSA, S.A.  
Tel. Cel. 9975-0953

San Pedro Sula  
05 de Agosto de 2023

Señores  
**JURGEN MARTÍNEZ**

Estimados Señores:

En atención a su solicitud tenemos el agrado de presentar a usted nuestra oferta por el suministro de mano de obra a ser utilizado en su proyecto .

Descripción	Cantidad	Precio Unit. Lps.	Valor Total Lps.
Operador de Dosificadora (60m <sup>3</sup> /h)	1	75 Lps/hr	75.00
Operador de Cargadora Volvo L120 (100m <sup>3</sup> /h)	1	72 Lps/hr	72.00
Motorista de Camión Mixer (8.5m <sup>3</sup> )	1	70 Lps/hr	70.00
			-
			-
			-
			-
			-
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>217.00</b>
<b>ISV</b>			32.55
<b>TOTAL</b>			<b>249.55</b>

Estos precios son especiales y están sujetos a cambios sin previo aviso por la disponibilidad de nuestros operadores ante la gran demanda de proyectos.

Esperando que esta cotización sea de su agrado y aceptación, quedamos a sus órdenes para cualquier consulta al respecto.

Cotización válida por 15 días.

Atte.

**NOE CRUZ ARGUETA**  
**SUPERVISOR DE PROYECTOS**  
Cel. 9975-0953 / 9476 5476

[nocruzar@gotmail.com](mailto:nocruzar@gotmail.com)

### Anexo 43 - Cotización de Mano de Obra

Fuente: CONHSA PAYSA



CONHSA-PAYHSA, S.A.  
Tel. Cel. 9975-0953

San Pedro Sula  
05 de Agosto de 2023

Señores  
**JURGEN MARTÍNEZ**

Estimados Señores:

En atención a su solicitud tenemos el agrado de presentar a usted nuestra oferta por el suministro de equipos y herramientas a ser utilizado en su proyecto .

Descripción	Cantidad	Precio Unit. Lps.	Valor Total Lps.
Dosificadora (60m <sup>3</sup> /h)	1 UND	2,500 Lps/hr	2,500.00
Cargadora Volvo L120 (100m <sup>3</sup> /h)	1 UND	1,537 Lps/hr	1,537.00
Cuchara de 3.5 m <sup>3</sup>	1 UND	2,000 Lps/hr	2,000.00
Camión Mixer (8.5m <sup>3</sup> )	1 UND	1,500 Lps/hr	1,500.00
Bomba de agua 10HP (150lt/min)	1 UND	-	-
		-	-
		-	-
		-	-
		-	-
SUB-TOTAL			<b>7,537.00</b>
ISV			1,130.55
<b>TOTAL</b>			<b>8,667.55</b>

Estos precios son especiales y están sujetos a cambios sin previo aviso por el incremento en el costo de nuestros insumos, no involucra operador del equipo.

Esperando que esta cotización sea de su agrado y aceptación, quedamos a sus órdenes para cualquier consulta al respecto.

Cotización válida por 15 días.

Atte.  
**NOE CRUZ ARGUETA**  
**SUPERVISOR DE PROYECTOS**  
Cel. 9975-0953 / 9476 5476

[nocruzar@gotmail.com](mailto:nocruzar@gotmail.com)

#### **Anexo 44 - Cotización de Equipos y Herramientas**

Fuente: CONHSA PAYSА