



# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA.”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Bach. Karol Nataly Contreras Cueva

Bach. Jose Steven Peña Villalobos

**Asesor:**

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo – Perú

2017

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Karol Nataly Contreras Cueva** y **Jose Steven Peña Villalobos**, denominada:

### **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA”**

---

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
**ASESOR**

---

Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena  
**JURADO**

---

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A **Dios**, por darme todo en esta vida, por guiar y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, **Leli Cueva** y **Vicente Contreras**, quienes son el mejor regalo que Dios me dio, gracias a la vida por dejarme disfrutar de ellos y compartir este logro. Asimismo, gracias por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. Por ustedes puedo decir que crecí con amor y sé que todo sacrificio tiene su recompensa.

A mi hermana, **Lyzz** por ser un gran ejemplo y motivación, a mi hermanita **Mirella** por apoyarme siempre, a mi abuelo **Carlos** y a mi hermano **Oscar** en el cielo, por lo que representan para mí y por estar siempre presentes en cada momento de mi vida.

*Karol Nataly Contreras Cueva*

## DEDICATORIA

A **Dios**, por darme don de la vida y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, **Jovita Villalobos y Armando Peña**, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo un apoyo en todo momento. Asimismo, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. Por ustedes puedo decir que crecí con amor. Gracias por ser como son desde el fondo de mi corazón.

A mis hermanos, **Carmen e Iván**, por ser el ejemplo y motivo, por lo que representan para mí y por estar siempre presentes en cada momento de mi vida. A mis abuelos **Carmen Saldaña y José Villalobos**, por ser mi fortaleza y mi guía a lo largo de este camino.

*Jose Steven Peña Villalobos*

## AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradezco a Dios, ya que con su bendición y su sabiduría depositada en mí ha sido posible culminar mi vida universitaria con éxito, contribuyendo con la elaboración de esta tesis, la cual es un gran aporte a la sociedad y a los futuros investigadores del mismo rubro.

A nuestros padres, gracias por el apoyo incondicional y por todos los sacrificios que han hecho para poder darnos lo mejor de ustedes sin importar las circunstancias.

A nuestro asesor el Ingeniero Alberto Rubén Vásquez Díaz, por ser un gran ejemplo de persona, amigo y profesional, quien ha sido pieza fundamental para la realización de esta Tesis, gracias ingeniero por el tiempo que dedica a esta hermosa profesión y ayudar a los que lo necesitan. Gracias por su esfuerzo, por su paciencia y compromiso, este logro también es suyo.

A la empresa SIKA PERU, por el acogimiento en sus instalaciones para poder realizar los ensayos de nuestra Tesis, y por el apoyo de todo el personal profesional y técnico, el cual me colaboro con sus conocimientos y compromiso para los ensayos en su Laboratorio.

A nuestro director de carrera, Ing. Wiston Azañedo Medina, por todo el apoyo profesional y académico, del mismo modo al personal del laboratorio de la UPN, por apoyarme y colaborar en la realización de los ensayos de esta Tesis.

A nuestros amigos: Alan, Yair, Karen, Claudia, Alfredo, Juan Francisco y Agustín entre otros, con quienes compartimos grandes experiencias en la etapa universitaria, gracias por los buenos momentos vividos, por las incontables horas de trabajos y por el buen grupo de amistad que formamos hasta el final de esta etapa profesional a pesar de las diferencias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes .....	19
2.2. Bases Teóricas .....	22
2.2.1 <i>Materiales para la Elaboración de Mezclas de Concreto</i> .....	22
2.2.2 <i>Concreto</i> .....	25
2.2.3 <i>Diseño de Mezclas</i> .....	32
2.2.4 <i>Mecanismo de Penetración de Agua</i> .....	51
2.2.5 <i>Cenizas Volante de Carbón</i> .....	55
2.3. Hipótesis .....	63
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>64</b>
3.1. Operacionalización de Variables.....	64
3.1.1 <i>Variable Independiente (V.I)</i> .....	64
3.1.2 <i>Variables Dependientes (V.D)</i> .....	64
3.2. Diseño de investigación. ....	66
3.3. Unidad de estudio. ....	66
3.4. Población .....	67
3.5. Muestra. ....	67
3.6. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos. ....	70
3.6.1 <i>Descripción de las Técnicas de Investigación e Instrumentos</i> .....	70
3.6.2 <i>Procedimientos de Recolección de Datos</i> .....	70
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	76
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
4.1. Selección de la Cantera .....	77
4.2. Ensayo de Agregados.....	79
4.3. Diseño de Mezcla de Concreto .....	89
4.3.1 <i>Materiales para la Dosificación del Concreto</i> .....	89

4.3.2.	<i>Cenizas Volantes de Carbón</i> .....	91
4.3.3.	<i>Diseño de Mezcla de Concreto (Dosificaciones)</i> .....	92
4.4.	Elaboración de Probetas: Muestras Cilíndricas.....	96
4.5.	Ensayo de la Resistencia a la Compresión .....	99
4.5.1.	<i>Carga</i> .....	99
4.5.2.	<i>Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón</i> .....	100
4.5.3.	<i>Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 1.5% C.V.C</i> .....	101
4.5.4.	<i>Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 3% C.V.C</i> .....	102
4.5.5.	<i>Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 4.5% C.V.C</i> .....	103
4.5.6.	<i>Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 6% C.V.C</i> .....	104
4.6.	Ensayo de la Permeabilidad.....	106
4.6.1.	<i>Presión</i> .....	106
4.6.2.	<i>Profundidad de Penetración de Agua Bajo Presión</i> .....	107
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN</b> .....		<b>109</b>
5.1.	Análisis de los Resultados Obtenidos .....	109
5.2.	Análisis Comparativos de Costos Unitarios.....	113
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>115</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>117</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>118</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>121</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Factores de reducción.....	37
<b>Tabla 2.2.</b> Para la determinación de la resistencia promedio requerida.....	38
<b>Tabla 2.3.</b> Consistencia y asentamientos.....	39
<b>Tabla 2.4.</b> Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.....	39
<b>Tabla 2.5.</b> Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.....	41
<b>Tabla 2.6.</b> Contenido de agua de mezcla.....	42
<b>Tabla 2.7.</b> Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.....	43
<b>Tabla 2.8.</b> Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.....	44
<b>Tabla 2.9.</b> Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	45
<b>Tabla 2.10.</b> Clasificación de la permeabilidad del concreto de acuerdo a la NTC 44836.....	52
<b>Tabla 2.11.</b> Propiedades y valores para la obtención de un concreto de baja permeabilidad.....	54
<b>Tabla 3.1.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente.....	64
<b>Tabla 3.2.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente.....	65
<b>Tabla 3.3.</b> Probetas de Concreto Patrón.....	68
<b>Tabla 3.4.</b> Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (1.5%).....	68
<b>Tabla 3.5.</b> Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (3%).....	69
<b>Tabla 3.6.</b> Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (4.5%).....	69
<b>Tabla 3.7.</b> Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (6%).....	69
<b>Tabla 3.8.</b> Total de Probetas para Muestra/Población.....	69
<b>Tabla 4.1.</b> Datos de Ubicación la Cantera.....	77
<b>Tabla 4.2.</b> Datos de la Cantera.....	78
<b>Tabla 4.3.</b> Contenido de Humedad del Agregado Grueso.....	79
<b>Tabla 4.4.</b> Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	80
<b>Tabla 4.5.</b> Huso Granulométrico del Agregado Grueso.....	80
<b>Tabla 4.6.</b> Huso Granulométrico del Agregado Fino.....	81
<b>Tabla 4.7.</b> Datos para el Peso Unitario del Agregado Grueso.....	84
<b>Tabla 4.8.</b> Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Grueso.....	84
<b>Tabla 4.9.</b> Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.....	85
<b>Tabla 4.10.</b> Datos para el Peso Unitario del Agregado Fino.....	85

<b>Tabla 4.11.</b> Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Fino.....	86
<b>Tabla 4.12.</b> Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....	86
<b>Tabla 4.13.</b> Porcentaje de desgaste por abrasión.....	87
<b>Tabla 4.14.</b> Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.....	88
<b>Tabla 4.15.</b> Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.....	88
<b>Tabla 4.16.</b> Propiedades Físicas del Agregado Grueso.....	92
<b>Tabla 4.17.</b> Propiedades Físicas del Agregado Fino.....	93
<b>Tabla 4.18.</b> Dosificación del Concreto Patrón.....	93
<b>Tabla 4.19.</b> Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (1.5%).....	94
<b>Tabla 4.20.</b> Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (3%).....	95
<b>Tabla 4.21.</b> Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (4.5%).....	95
<b>Tabla 4.22.</b> Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (6%).....	96
<b>Tabla 4.23.</b> Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas Patrón.....	97
<b>Tabla 4.24.</b> Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 1.5% CV.....	97
<b>Tabla 4.25.</b> Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 3% CV.....	98
<b>Tabla 4.26.</b> Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 4.5% CV.....	98
<b>Tabla 4.27.</b> Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 6% CV.....	98
<b>Tabla 4.28.</b> Comparación de Resultado de Permeabilidad.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Sobre proceso de obtención de carbón pulverizado.....	60
<b>Figura 2.2.</b> Vista general de la central termoeléctrica ILO 21.....	63
<b>Figura 2.3.</b> Vistas del exterior e interior de la central termoeléctrica ILO 21.....	64
<b>Figura 3.1:</b> Diseño de esquema que representa la investigación.....	67
<b>Figura 4.1.</b> Ubicación de la cantera.....	79
<b>Figura 4.2.</b> Granulometría del Agregado Grueso.....	83
<b>Figura 4.3.</b> Granulometría del Agregado Grueso.....	84
<b>Figura 4.4.</b> Propiedades Físicas el Cemento Portland Tipo GU.....	90
<b>Figura 4.5.</b> Propiedades Químicas de la Ceniza Volante de Carbón.....	92
<b>Figura 4.6.</b> Disposición de la Carga Durante el Ensayo.....	100
<b>Figura 4.7.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón.....	101
<b>Figura 4.8.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 1.5% CVC.....	102
<b>Figura 4.9.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 3% CVC.....	103
<b>Figura 4.10.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 4.5% CVC.....	104
<b>Figura 4.11.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 6% CVC.....	105
<b>Figura 4.12.</b> Resumen de Resistencia a la Compresión del Concreto.....	106
<b>Figura 4.13.</b> Disposición de la Presión Durante el Ensayo.....	107
<b>Figura 4.14.</b> Profundidad de Penetración de Agua.....	108
<b>Figura 5.1.</b> Diagrama de Flujo para la Recolección de Información.....	122
<b>Figura 5.2.</b> Especificaciones Cemento Portland Tipo GU.....	123
<b>Figura 5.3.</b> Cantera Barreto.....	162
<b>Figura 5.4.</b> Producción de la Cantera Barreto.....	162
<b>Figura 5.5.</b> Agregado Grueso de la Cantera Barreto.....	163
<b>Figura 5.6.</b> Agregado Fino de la Cantera Barreto.....	163
<b>Figura 5.7.</b> Muestra del Agregado Grueso.....	164
<b>Figura 5.8.</b> Muestra del Agregado Fino.....	164
<b>Figura 5.9.</b> Cuarteo del Agregado Grueso.....	165
<b>Figura 5.10.</b> Cuarteo del Agregado Fino.....	165
<b>Figura 5.11.</b> Peso de Agregado Grueso para Contenido de Humedad.....	166
<b>Figura 5.12.</b> Muestra en el Horno de Agregado Grueso para Contenido de Humedad.....	166
<b>Figura 5.13.</b> Peso de Agregado Fino para Contenido de Humedad.....	167
<b>Figura 5.14.</b> Muestra en el Horno de Agregado Fino para Contenido de Humedad.....	167
<b>Figura 5.15.</b> Materiales para el Peso Específico del Agregado Grueso.....	168
<b>Figura 5.16.</b> Peso Sumergido del Agredo Grueso.....	168

<b>Figura 5.17.</b> Granulometría del Agregado Grueso.....	169
<b>Figura 5.18.</b> Tamizado del Agregado Grueso.....	169
<b>Figura 5.19.</b> Granulometría del Agregado Grueso.....	170
<b>Figura 5.20.</b> Peso del Agregado Fino Tamizado.....	170
<b>Figura 5.21.</b> Peso Unitario del Agregado Grueso.....	171
<b>Figura 5.22.</b> Peso Unitario del Agregado Fino.....	171
<b>Figura 5.23.</b> Pisonado Agregado Fino.....	172
<b>Figura 5.24.</b> Peso del Picnómetro con Masa y Agua.....	172
<b>Figura 5.25.</b> Peso del material para Ensayo Abrasión Los Ángeles.....	173
<b>Figura 5.26.</b> Vaciado del material en máquina de Ensayo Abrasión Los Ángeles.....	173
<b>Figura 5.27.</b> Ensayo Abrasión Los Ángeles.....	174
<b>Figura 5.28.</b> Material de Desgaste por Abrasión.....	174
<b>Figura 5.29.</b> Peso Final del Desgaste por Abrasión.....	175
<b>Figura 5.30.</b> Ensayo para el Peso específico de la Ceniza Volante de Carbón.....	175
<b>Figura 5.31.</b> Trompo para Mezcla de Concreto.....	176
<b>Figura 5.32.</b> Molde de Probeta Cilíndrica (0.15m x 0.30m).....	176
<b>Figura 5.33.</b> Mezcla del Concreto.....	177
<b>Figura 5.34.</b> Probetas Cilíndricas de Concreto.....	177
<b>Figura 5.35.</b> Curado de Probetas Cilíndricas de Concreto.....	178
<b>Figura 5.36.</b> Recipiente para calentar el compuesto para el Capeado de Probetas.....	178
<b>Figura 5.37.</b> Dispositivo de alineación para Capeado de Probetas.....	179
<b>Figura 5.38.</b> Probetas de Concreto Capeadas.....	179
<b>Figura 5.39.</b> Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón.....	180
<b>Figura 5.40.</b> Probeta Fisurada Concreto Patrón.....	180
<b>Figura 5.41.</b> Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 1.5% de Ceniza Volante.....	181
<b>Figura 5.42.</b> Probeta Fisurada Concreto Patrón + 1.5% de Ceniza Volante.....	181
<b>Figura 5.43.</b> Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 3% de Ceniza Volante.....	182
<b>Figura 5.44.</b> Probeta Fisurada Concreto Patrón + 31% de Ceniza Volante.....	182
<b>Figura 5.45.</b> Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 4.5% de Ceniza Volante.....	183
<b>Figura 5.46.</b> Probeta Fisurada Concreto Patrón + 4.5% de Ceniza Volante.....	183
<b>Figura 5.47.</b> Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 6% de Ceniza Volante.....	184
<b>Figura 5.48.</b> Probeta Fisurada Concreto Patrón + 6% de Ceniza Volante.....	184
<b>Figura 5.49.</b> Visita a la Planta de Sika Perú en Lurín para ensayo de Permeabilidad.....	185

<b>Figura 5.50.</b> Probetas Para el Ensayo de la Permeabilidad.....	185
<b>Figura 5.51.</b> Adaptación de Probetas.....	186
<b>Figura 5.52.</b> Máquina para cortar las Probetas.....	186
<b>Figura 5.53.</b> Cortado de Probetas.....	187
<b>Figura 5.54.</b> Probetas Adaptadas para la máquina de Permeabilidad.....	187
<b>Figura 5.55.</b> Máquina para ensayo a la Permeabilidad.....	188
<b>Figura 5.56.</b> Probetas Ensayadas a Permeabilidad.....	188
<b>Figura 5.57.</b> Control de Presión Constante de Agua.....	189
<b>Figura 5.58.</b> Abriendo pase de agua para cada Probeta.....	189
<b>Figura 5.59.</b> Probetas después de permanecer bajo presión de agua.....	190
<b>Figura 5.60.</b> Rotura de Probeta bajo Tracción Indirecta.....	190
<b>Figura 5.61.</b> Medición de Penetración de Agua en la Probetas.....	191
<b>Figura 5.62.</b> Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón.....	191
<b>Figura 5.63.</b> Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 1.5% Ceniza Volante.....	192
<b>Figura 5.64.</b> Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 3% Ceniza Volante.....	192
<b>Figura 5.65.</b> Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 4.5% Ceniza Volante.....	193
<b>Figura 5.66.</b> Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 6% Ceniza Volante.....	193
<b>Figura 5.67.</b> Comparativa de Resultados de Ensayo a la Permeabilidad.....	194

## RESUMEN

La Ceniza Volante de Carbón (CVC) es considerada un desecho industrial, sin embargo, para el desarrollo de esta tesis se muestra como una alternativa diferente de adición para el diseño y construcción de estructuras de concreto, con el fin de aumentar la resistencia a la compresión y disminuir la permeabilidad en el concreto.

La presente investigación se desarrolló para evaluar la incidencia de ciertas dosificaciones de Cenizas Volantes de Carbón (CVC) en el diseño de mezcla del concreto y así evaluarla en los ensayos de la resistencia a la compresión; según la NTP 339.034, y el ensayo a la permeabilidad según la Norma Europea EN 12390-8.

Del mismo modo, los diferentes materiales utilizados en el desarrollo de la investigación, fueron analizados para conocer sus propiedades, de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas, en cuanto al diseño de mezcla se procedió de acuerdo a la Norma ACI 211 con una relación agua/cemento de 0.55.

Las cantidades de Ceniza Volante de Carbón (CVC) se obtuvieron tomando en consideración investigaciones realizadas. Acorde con esto se determinó utilizar dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de CVC respecto al peso del cemento de la mezcla, con fines de generar algún tipo de incidencia sobre las variables a estudiar en este presente estudio.

La valoración de la compresión se realizó tomando la carga máxima alcanzada: Para el Concreto Patrón se obtiene una carga máxima promedio de 218 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, para el Concreto + 1.5% C.V.C se obtiene 220 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, para el Concreto + 3% C.V.C se obtiene 227 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, para el Concreto + 4.5% C.V.C se obtiene 232 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días y para el Concreto + 6% C.V.C se obtiene 241 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días. Lo que quiere decir que para cantidades que registren valores por debajo del 6% de CVC se muestra un aumento de resistencia a la compresión.

Por otro lado, para la valoración de la permeabilidad se realizó midiendo la penetración de agua: Para el Concreto Patrón se obtiene una penetración promedio de 137 mm, para el Concreto + 1.5% C.V.C se obtiene 123.5 mm, para el Concreto + 1.5% C.V.C se obtiene 101 mm, para el Concreto + 1.5% C.V.C se obtiene 68 mm y para el Concreto + 6% C.V.C se obtiene 52.5 mm. Como se puede observar se nota una disminución considerable a medida que se incrementa la adición de CVC en la mezcla.

## ABSTRACT

The Carbon Fly Ash (CVC) is considered an industrial waste, however, for the development of this thesis is shown as a different alternative addition for the design and construction of concrete structures, in order to increase resistance to Compression and decrease the permeability in the concrete.

The present investigation was developed to evaluate the incidence of certain dosages of Carbon Fly Ash (CVC) in the concrete mix design and to evaluate it in the tests of the resistance to the compression; According to NTP 339.034, and the permeability test according to European Standard EN 12390-8.

In the same way, the different materials used in the development of the research were analyzed to know their properties, according to the Peruvian Technical Standards, in terms of mixing design, proceeding according to ACI Standard 211 with a water / Cement of 0.55.

The quantities of Carbon Fly ash (CVC) were obtained taking into account investigations carried out. According to this, it was determined to use 1.5%, 3%, 4.5% and 6% CVC dosages with respect to the cementing volume of the mixture, in order to generate some kind of incidence on the variables to be studied in this present study.

The compression titration was carried out by taking the maximum load: For the Standard Concrete a maximum average load of 218 kg / cm<sup>2</sup> for 28 days is obtained, for Concrete + 1.5% CVC yields 220 kg / cm<sup>2</sup> for 28 days, for Concrete + 3% CVC yields 227 kg / cm<sup>2</sup> for 28 days, for Concrete + 4.5% CVC yields 232 kg / cm<sup>2</sup> for 28 days and for Concrete + 6% CVC yields 241 kg / cm<sup>2</sup> for 28 days. This means that for amounts that are below 6% CVC, an increase in compressive strength is shown.

On the other hand, for the evaluation of the permeability was made by measuring the water penetration: For the Standard Concrete, an average penetration of 137 mm is obtained, for Concrete + 1.5% CVC is obtained 123.5 mm, for Concrete + 1.5% CVC You get 101 mm, for Concrete + 1.5% CVC you get 68 mm and for Concrete + 6% CVC you get 52.5 mm. As can be seen, a considerable decrease is noted as the addition of CVC in the mixture increases.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El concreto es uno de los materiales de mayor uso en la industria de la construcción, porque se le puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizados en un número ilimitado de aplicaciones (Kosmatka, 2004), es por esto que la industria de la construcción se ha preocupado en buscar la forma de producir concretos con mejores desempeños, tanto técnicos como económicos, y en los últimos tiempos, ecológicos. Esto ha hecho que se proyecte a la búsqueda de materiales que aporten nuevas cualidades al concreto a la vez que contribuyan al ahorro energético y a la disminución de la emisión de contaminantes.

De acuerdo con Helene y Grochoski (2005), una selección inadecuada de materiales unida a prácticas de construcción deficientes da como resultado un concreto muy poroso y permeable, el cual permite la entrada de agentes agresivos presentes en el medio ambiente donde las estructuras se encuentran expuestas y causan su deterioro. Por otra parte, los aditivos han sido componentes importantes e integrales del concreto, y se les ha utilizado para mejorar su comportamiento mecánico y físico.

Actualmente se fabrican concretos en los cuales existe una diversidad de los materiales y aditivos que se pueden utilizar para obtener un concreto que pueda soportar condiciones ambientales adversas. Algunos estudios realizados en los años de los 80 (Sanjuán, 2001) sobre las causas que producen problemas de durabilidad, se atribuye el defecto en la calidad de los materiales en un 16.2%, siendo los errores de ejecución el 38.5% y más del 40% a errores de diseño y/o cálculo. Otros estudios realizados en los años 90 elevan al 30% la inadecuada selección de materiales que afectan su durabilidad. Las causas más comunes que la provocan son: Un inadecuado control de las condiciones ambientales, tales como temperatura y humedad, datos pocos exactos del material, empleo de criterios erróneos en la selección de material, darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.

Por lo antes mencionado, actualmente se incorporan en el concreto subproducto de origen natural o industrial como son: las cenizas volantes, escorias de alto horno, humo de sílice puzolanas naturales para mejorar sus endurecido (Neville, 1998; Aitcin, 2007). La necesidad de incorporar todo esto consiste en el desarrollo de nuevas propiedades o el mejoramiento de las propiedades existentes en el concreto.

En nuestro país, la aplicación de la ceniza volante no es muy utilizada, debido a la falta de difusión acerca de los beneficios que podría generar en el concreto, en países de mayor desarrollo tecnológico se viene usando como subproducto para la elaboración de cementos y concretos adicionados. Según (Rodríguez SJ, 1988), la ceniza volante es uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y hormigones. conocida también como ceniza de combustible pulverizado es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que funciona a base de carbón, y es la puzolana artificial más común, en sus componentes prevalecen elementos minerales (Neville MA, 1988). La adición de las cenizas al concreto reduce su costo y se mejora algunas de sus propiedades como su trabajabilidad, durabilidad, densidad y sangrado, su impermeabilidad, su resistencia al ataque químico sobre todo de sulfatos, así como también mejora las propiedades mecánicas del concreto (compresión y tensión). Según resultados obtenidos consolidan los argumentos técnicos y ecológicos para seguir promoviendo el uso de concretos con cenizas volantes.

En Trujillo, Según (Molina B, Moragues TA, Gálvez J., 2008) esta Ceniza Volante, obtenida de la quema del carbón utilizado como combustible en la generación de energía eléctrica, es considerada como un contaminante siendo beneficioso cuando es adicionada al concreto, en cantidades pequeñas, para mejorar su resistencia, ya que el aumento del contenido de cenizas del 15 al 35% no modifica significativamente el comportamiento mecánico del material.

Es por esto que se pretende utilizar este aditivo en la construcción de concretos resistentes e impermeables, ya que en nuestra ciudad este tema sigue siendo un tema insipiente y con poco interés en investigación.

Finalmente, el objetivo de estudio del presente trabajo es analizar las propiedades del concreto reforzado con cenizas volantes de carbón e identificar el porcentaje óptimo de utilización en la dosificación del concreto. Los beneficios con el uso de las cenizas volantes en los diseños de mezcla se podrían manifestar, en el desarrollo de estructuras más durables, funcionales y rentables.

## 1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la adición de las cenizas volantes de carbón influye en la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto?

### 1.3. Justificación

El concreto es uno de los materiales más usados en la región de La Libertad, así como en todo el Perú para la construcción de todo tipo de Infraestructura Civil. Su dosificación requiere el uso de aditivos de distinta naturaleza, de modo que se obtenga un concreto de mayor calidad, es así como surge la posibilidad de la utilización de la ceniza volante como aditivo a ser adicionado en la mezcla del concreto para darle mayor resistencia e impermeabilidad.

Las cenizas volantes se constituyen en un residuo ecológicamente problemático que deben eliminar las centrales termoeléctricas evitando que permanezcan en los depósitos donde son amontonadas y ubicadas al aire libre. Esta práctica se convierte en un peligro ambiental, ya que su contacto con el agua, suelo y aire, genera graves problemas de contaminación, es por eso que se estudia la posibilidad de poder utilizarla de forma productiva en el concreto. Si bien las cenizas volantes son un material contaminante para el medio ambiente su adición en pequeñas cantidades a las mezclas del concreto se puede utilizar para el mejoramiento del desempeño del concreto en tanto en estado fresco como endurecido y así obtener un concreto para satisfacer la aplicación deseada.

Por ende, este proyecto está encaminado en diseñar nuevos tipos de mezclas que involucren el uso de materiales no convencionales como es el caso de los desperdicios de una central termoeléctrica. En este caso en particular, se desea promover la adición de un diferente tipo de aditivo, que al parecer tiene un futuro prometedor, como son las cenizas volantes, en la elaboración de mezclas convencionales de concreto con el fin de garantizar mejoras en las resistencias a la compresión y en la permeabilidad casi igual o mayor a las presentada por las muestras convencionales.

### 1.4. Limitaciones

Para el desarrollo de este proyecto, se presentaron ciertas limitantes que fueron:

El tiempo, ya que para poder evaluar de forma correcta las probetas de concreto, estas deberían tener largos tiempos de curado que ascenderían a un plazo de tres meses como mínimo, pero se tomó esta limitante a favor visto que podríamos evaluar las probetas a diversos tiempos de curado, lo cual arrojaría resultados más exactos.

La existencia de que las pruebas arrojaron resultados errados, debido a condiciones climatológicas o sistemáticas (o referentes al uso de instrumentos y equipos), sin embargo, se contó con laboratorios especializados de concreto en los cuales se desarrollaron ensayos con certificación y confiables.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Aumentar la resistencia a la compresión y disminuir la permeabilidad en el concreto añadiendo cenizas volantes de carbón en dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% en la mezcla.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la variación de la resistencia a la compresión en el concreto de  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, comparando mezclas convencionales y mezclas con adición de cenizas volantes de carbón.
- Analizar el nivel de permeabilidad en el concreto, comparando mezclas convencionales y mezclas con adición de cenizas volantes de carbón.
- Realizar diversas mezclas de concreto con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón añadidas respectivamente en cada mezcla.
- Desarrollar ensayos de resistencia a la compresión y de permeabilidad al concreto sin adición y con adición de cenizas volantes de carbón.
- Obtener la curva de crecimiento de resistencia a la compresión y de disminución de la permeabilidad, sobre el comportamiento del concreto con diferentes porcentajes de ceniza volante de carbón.
- Determinar el contenido óptimo, de cenizas volantes de carbón, en el concreto el cual proporcione el aumento significativo en la resistencia a la compresión y una disminución notoria en la permeabilidad del concreto.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Con el transcurrir del tiempo, los diferentes entes que contribuyen al avance de la ingeniería civil, y por ende al desarrollo de la industria de la construcción, se han visto en la tarea de analizar el comportamiento de nuevos materiales, que conlleven al mejoramiento de la calidad, en este caso específico, de las mezclas de concreto.

Por otra parte, es afán de todo ser humano el cuidado del planeta, por lo tanto, la mayoría de las investigaciones actuales tienden hacia el aprovechamiento de productos que fomenten el reciclaje y disminuyan el uso de recursos naturales no renovables. A continuación, se presentan a manera de resumen algunas investigaciones, cuyo tema central es consecuente en relación con el objetivo de este trabajo de grado.

- a) El trabajo de Cifuentes y Ferrer (2006), sobre **Análisis del Comportamiento Mecánico a Edades Tardías del Concreto Hidráulico con Adición de Cenizas Volantes de Termopaipa**, con esta investigación se demuestra que:

La ceniza volante, por tener mayor superficie específica da al concreto fresco mayor velocidad de hidratación y así mismo regula la cantidad de calor de hidratación, evitando la retracción y, por lo tanto, el concreto adicionado es menos susceptible a la fisuración.

En cuanto al comportamiento mecánico a compresión de los concretos estudiados, se puede concluir que es factible diseñar concretos adicionados con cenizas volante con la misma resistencia especificada con la certeza que a edades mayores a los 28 días su incremento será mayor que en los concretos normales.

*Comentario:* Con este estudio realizado por los autores de la tesis, puedo tomar referencias que me garantizan que el uso de las cenizas volantes produce una mejora en las diferentes propiedades y resistencias del concreto evaluados a diferentes tiempos de curado.

- b) El trabajo de Rodríguez y Aguilera (2008), sobre **Los problemas que genera la humedad del suelo en viviendas de albañilería y hormigón armado que se construyen en la provincia de Santiago**, con esta investigación se demuestra que:

Este trabajo demuestra que la humedad proveniente del suelo daña en forma importante las construcciones de albañilería y de hormigón armado ya que ambos materiales, dada su textura, absorben fluidos a través de vacíos de pequeño diámetro que quedan en el interior de los elementos constructivos; el autor además define y propone las soluciones, como el método Aditivo 1 líquido, Juntas impermeables, Inyecciones, que brindan una mayor eficiencia y por lo tanto, las que debieran ser utilizadas para eliminar, o en su defecto, aminorar los daños producidos por esta causa. Al evaluar las soluciones al problema, se llegó a determinar que el Aditivo 1 líquido reduce más el ascenso capilar de aguas en comparación con otros métodos propuestos por el autor.

- c) El Trabajo de Gonzáles y Tuesta (2011), sobre mejoramiento de **las Propiedades del Concreto mediante la aplicación de aditivos en la Región San Martín**, con esta investigación se demuestra que:

Busca mediante la investigación una metodología para obtener concretos de alta resistencia, con asentamiento en el rango de 3"- 4" usando cemento portland tipo I, el superplastificante SR, y el Microsílice, para lo cual se empezó con la obtención del diseño de un concreto patrón, el cual sirvió de base principal para la obtención del concreto de alta resistencia, luego se diseñó el concreto con aditivo, para cuyo diseño se agregó un aditivo superplastificante (SR) en diferentes dosificaciones, finalmente se procedió a diseñar el concreto con aditivo más microsíllice. Se recoge de esta investigación los aditivos que se utilizan en el Perú para aumentar la resistencia de concreto y aminorar la permeabilidad del concreto, sin embargo, el trabajo otorga dosificaciones de los materiales con características propias de la región San Martín.

- d) El trabajo de Huaquisto (2015), sobre **Efecto de la Ceniza Volante en la Resistencia del Concreto en Condiciones de Clima Natural**, con esta investigación se demuestra que:

La ceniza volante utilizado en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 3% al 6% mejora la resistencia de éste, siendo óptimo un valor medio en este rango; además a los 28 días para estos porcentajes de ceniza volante se alcanza resistencias por encima de la resistencia del concreto normal.

Sin embargo, para porcentajes mayores al 6% en el diseño de mezcla de concreto hace perder la resistencia del mismo, en cambio para porcentajes menores al 3% la resistencia del concreto es aproximadamente la misma que para el concreto normal.

*Comentario:* De este trabajo elaborado con cenizas volantes puedo resaltar su importancia en el uso como aditivo, en las mezclas de concreto, para mejorar la resistencia a la compresión, lo cual me garantiza que mejorar una de las propiedades mecánicas del concreto.

- e) El trabajo de Rivva (2002), para **Lograr un concreto más durable frente a agentes agresivos la propiedad más importante es la permeabilidad**, con esta investigación se demuestra que:

Este trabajo expone que la baja permeabilidad involucra una restricción del acceso de agua o soluciones provenientes de fuentes externas; o el movimiento interno de soluciones desde los poros a los sitios de reacción. En relación con su efecto sobre la permeabilidad, estructura de los poros, y durabilidad frente a la acción agresiva de elementos específicos el empleo de la microsílíce en las mezclas proporciona una porosidad muy baja con un incremento de la impermeabilidad del concreto. Al evaluar el punto crítico sobre la baja permeabilidad da una restricción del acceso agua, se determinó que este trabajo no hace mención a las posibles causas del acceso de agua al concreto, tomando la causa de manera general.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1 Materiales para la Elaboración de Mezclas de Concreto.

Como se había mencionado en un apartado anterior, el concreto es un compuesto que resulta de la mezcla de una serie de insumos o materiales los cuales, por medio de una caracterización breve, se describen a continuación.

#### 2.2.1.1 Cemento

##### 2.2.1.1.1 Definición

Según la norma ASTM C1157 define “*Cemento hidráulico adicionado* — un cemento hidráulico que consiste en dos o más ingredientes inorgánicos que contribuyen a las propiedades de desarrollo de resistencia del cemento, con o sin otros ingredientes, adiciones de proceso y adiciones funcionales. “Los cementos hidráulicos adicionados están hechos por molienda conjunta u otros procesos de mezcla”.

##### 2.2.1.1.2 Clasificación

Los tipos de cementos hidráulicos cubiertos por esta especificación están clasificados de acuerdo con las propiedades específicas.

- **Tipo GU:** Cemento hidráulico para construcción general. Utilízelo cuando uno o más de los tipos especiales no son requeridos.
- **Tipo HE:** Alta Resistencia Inicial.
- **Tipo MS:** Moderada Resistencia a los Sulfatos.
- **Tipo HS:** Alta Resistencia a los Sulfatos.
- **Tipo MH:** Moderado Calor de Hidratación.
- **Tipo LH:** Bajo Calor de Hidratación.

### 2.2.1.1.3 Utilización

La composición química para el cemento no está especificada. Sin embargo, el cemento y los componentes individuales molidos conjuntamente o adicionados para producirlo deben ser analizados.

### 2.2.1.1.4 Propiedades Físicas

La puzolana a ser usada como un ingrediente de un cemento no debe causar una expansión inaceptable debida a una reacción álcali-agregado. Para determinar si una puzolana cumple este requisito, ensáyela para determinar su reactividad alcalina potencial. Si la expansión del mortero excede 0.05 % a la edad de 91 días para cualquiera de las tres composiciones que contienen puzolana, la puzolana debe considerarse potencialmente reactiva e inaceptable bajo esta especificación. Si la media total de contenido de álcalis de cualquier lote del cemento, expresado como  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente<sup>3</sup>, cambia en más de 0.10 % en masa respecto al de aquel con el cual se realizaron los ensayos de reactividad alcalina potencial, realice nuevamente dicho ensayo a la puzolana.

## 2.2.1.2 Agregados

Cuando se requiere contar con un concreto de buena calidad se hace necesario tener conocimiento de los componentes del mismo, puesto que hay características que dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos como lo es la resistencia y la durabilidad. Es de anotar que si bien el esfuerzo del cemento lo determinan las características del Mortero (mezcla de cemento, arena y agua) los agregados con diferentes características producen resistencias distintas.

### 2.2.1.2.1 Definición

Son materiales inertes, de forma granular estable y propiedades físicas permanentes, que pueden ser naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia del agua conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón. Se denominan *inertes* porque no reaccionan de forma deformable con otros constituyentes del concreto en el especial el cemento.

Los agregados para concreto, son todos aquellos materiales que, teniendo una resistencia propia suficiente, no perturban ni afectan las propiedades y características del concreto y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento portland; son muy importante los agregados para concreto porque ocupan entre el 70 y 80% del volumen de la mezcla.

#### **2.2.1.2.2 Agregados Pétreos**

“La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y agregado fino fijando un tamaño de 4.76mm (N°4) a 0.075mm (N°200) para finos y de 4.76mm en adelante para el grueso” (INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades).

##### **2.2.1.2.2.1 Agregado Grueso**

Según la ASTM C33 dice que “El agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta especificación”.

##### **2.2.1.2.2.2 Agregado Fino.**

Según la ASTM C33: “El agregado fino debe ser arena natural, arena artificial, o una combinación de ellas”.

#### **2.2.1.3 Agua**

El agua en el concreto se puede definir como aquel componente por medio del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de endurecer para formar un sólido único con los agregados. Además de su funcionalidad en el proceso de hidratación, proporciona fluidez a la mezcla mejorando su lubricación y manejabilidad. Otro de los procesos en los que el agua cumple una función indispensable es durante el curado del concreto, pues hace que el cemento se hidrate sin interrupción y por lo tanto garantiza que la mezcla alcance las propiedades potenciales para las cuales fue diseñada.

En la elaboración de mezclas de concreto se debe utilizar agua libre de materias orgánicas, álcalis, ácidos y aceites. “Como regla general se considera que el agua es adecuada para producir concreto si su composición química indica que es apta para el consumo humano”. De lo contrario deben hacerse los estudios necesarios para establecer la calidad del agua según su disposición.

### 2.2.2 Concreto

También conocido como hormigón, es una piedra artificial fabricada por el hombre; su principal componente es el Cemento Portland el cual ocupa aproximadamente el 15% del volumen de la mezcla – para el caso de mezclas convencionales-. “En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos” (SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 5 ed. Bogotá: Bhandar Editores LTDA., 2001).

La masa plástica que se produce al mezclar los componentes puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido (esto debido a la reacción química entre el Cemento y el agua).

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad del matriz cementante. La pasta está compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. Por lo general y después de muchas experimentaciones vemos que el volumen absoluto del Cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso (pero solamente cuando se decide incluirle aire).

En cuanto a la calidad de los agregados (los cuales constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto), es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido. Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 4 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se usa comúnmente es el de 19mm o el de 25 mm.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

### **2.2.2.1 Propiedades del Concreto en Estado Fresco.**

La capacidad intrínseca del concreto, como material de construcción, para prestar un buen servicio permanente, depende substancialmente de que posea las características y propiedades adecuadas para resistir satisfactoriamente y por largo tiempo, los efectos de las solicitudes mecánicas y las acciones detrimentales inherentes a las condiciones en que opera la estructura.

La propiedad básica que se procura obtener en el concreto endurecido es una determinada resistencia mecánica; además de esta resistencia, también se requiere propiciar otras características y propiedades del concreto, que lo hagan resistente y durable al verse sometido a las acciones añinas específicamente previstas. Al realizar el diseño de la mezcla de concreto, debe aplicarse el criterio de resistencia o durabilidad, conforme lo recomienda en su informe el Comité *ACI 211*.

#### **2.2.2.1.1 Trabajabilidad.**

Es el trabajo interno utilizado en vencerla fricción interna o componentes del concreto para conseguir una compactación adecuada, es decir, la capacidad que tiene el concreto para ser colocado y compactado apropiadamente sin producir deficiencias de sus propiedades en estado fresco. “La manejabilidad está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y consistencia” (INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades).

#### **2.2.2.1.2 Segregación.**

Es considerada una propiedad del concreto fresco, empero, se puede considerar también como un aspecto importante de la trabajabilidad al ser definida como una tendencia de separación de las partículas gruesas del mortero del concreto, esto se debe en gran parte a la diferencia de densidades, el tamaño y forma de las partículas, el mal mezclado, el exceso de vibración en la compactación, el arrojar el concreto desde alturas mayores a 1m y al dejar fluir el concreto a lo largo de la formaleta. (INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades).

#### **2.2.2.1.3 Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento**

Mediante el proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable. El cemento Pórtland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento Pórtland y son: el silicato tricálcico, el silicato dicalcico, el aluminiato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico.

Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Pórtland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el Clinker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Pórtland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades. Sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran el promedio, el cemento Pórtland contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Pórtland tienen un área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Pórtland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, (fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional) principalmente dependen del gel del hidrato de silicato de calcio. Es la medula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal ( $\text{CaO}$ ) y sílice ( $\text{SiO}_2$ ), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 3000 metros cuadrados por gramo. Las partículas son tan diminutas que solamente se ven en microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aun entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua/cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser nocivo en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Pórtland tipo 1 libera un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor.

El uso de cemento tipo 4, cemento Pórtland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Pórtland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

#### **2.2.2.1.4 Peso Unitario.**

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 Kg/m<sup>3</sup>. El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m<sup>3</sup>.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

#### **2.2.2.2 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.**

##### **2.2.2.2.1 Resistencia al Desgaste.**

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación Agua – Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resistente más el desgaste que una que no lo ha sido. Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (*ASTM 779*).

#### 2.2.2.2.2 Adquisición de Resistencia Mecánica.

La adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento Pórtland depende básicamente de la composición química del Clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento Pórtland.

- **La resistencia a la compresión:** se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días se le designa con el símbolo  $f'c$ .
- **La resistencia a la flexión del concreto:** se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión.
- **El valor de la resistencia a la tensión del concreto:** es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.
- **La resistencia a la torsión para el concreto:** está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.
- **La resistencia al cortante del concreto:** puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

- **El módulo de elasticidad:** denotando por medio del símbolo E, se puede definir como la relación del esfuerzo normal, la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm<sup>2</sup>, y se puede aproximar como 15,000 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación agua/cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

Para las relaciones Edad-Resistencia a compresión, cuando se requiera de valores más precisos para el concreto, se deberán desarrollar curvas para los materiales específicos y para las proporciones de mezclado que se utilicen en el trabajo.

Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dado, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación agua/cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

### 2.2.3 Diseño de Mezclas

#### 2.2.3.1 Proporcionamiento de Mezclas de Concreto de Peso Normal.

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un concreto económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada. Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada, así como una trabajabilidad apropiada. Además, es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo, antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

### **2.2.3.1.1 Consideraciones Básicas.**

#### **2.2.3.1.1.1 Economía.**

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo, excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto, los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser echo del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado.
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.
- Expulsión del aire incorporado mediante vibración.

Es necesario además señalar que, en adición al costo, hay otros beneficios relacionados con un bajo contenido de cemento. En general, las contracciones serán reducidas y habrá menor calor de hidratación. Por otra parte, un muy bajo contenido de cemento, disminuirá

la resistencia temprana del concreto y la uniformidad del concreto será una consideración crítica.

La economía de un diseño de mezcla en particular también debería tener en cuenta el grado de control de calidad que se espera en obra, debido a la variabilidad inherente del concreto, la resistencia promedio del concreto producido debe ser más alta que la resistencia a compresión mínima especificada. Al menos en pequeñas obras, podría ser más barato “sobre diseñar” el concreto que implementar el extenso control de calidad que requeriría un concreto con una mejor relación costo – eficiencia.

#### **2.2.3.1.1.2 Trabajabilidad.**

Claramente un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser el requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento. Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente el agua y los finos (cemento). Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una menos mezcla económica podría ser la mejor solución. Y se deben prestar oídos sordos al frecuente pedido, en obra, de “más agua”.

#### **2.2.3.1.1.3 Resistencia y Durabilidad.**

En general las especificaciones del concreto requerirán una resistencia mínima a compresión. Estas especificaciones también podrían imponer limitaciones en la máxima relación agua/cemento ( $a/c$ ) y el contenido mínimo de cemento. Es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles. Como veremos en otros capítulos, no necesariamente la resistencia a compresión a 28 días será la más importante, debido a esto la resistencia a otras edades podría controlar el diseño.

Las especificaciones también podrían requerir que el concreto cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico.

Estas consideraciones podrían establecer limitaciones adicionales en la relación agua cemento ( $a/c$ ), el contenido de cemento y en adición podría requerir el uso de aditivos.

Entonces, el proceso de diseño de mezcla, envuelve cumplir con todos los requisitos antes vistos. Asimismo, debido a que no todos los requerimientos pueden ser optimizados simultáneamente, es necesario compensar unos con otros; (por ejemplo, puede ser mejor emplear una dosificación que para determinada cantidad de cemento no tiene la mayor resistencia a compresión pero que tiene una mayor trabajabilidad).

Finalmente debe ser recordado que incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado.

### **2.2.3.2 Información Requerida para el Diseño de Mezclas.**

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Perfil y textura de los agregados.
- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

### **2.2.3.3 Pasos para el Proporcionamiento de Mezcla.**

#### **2.2.3.3.1 Especificaciones técnicas.**

Antes de diseñar una mezcla de concreto debemos tener en mente, primero, el revisar los planos y las especificaciones técnicas de obra, donde podremos encontrar todos los

requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

### 2.2.3.3.1.1 Elección de la Resistencia Promedio ( $f'_{cr}$ ).

- Cálculo de la desviación estándar

#### Método 1:

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño  $f'_{c}$  que este dentro del rango de  $\pm 70$  kg/cm de la especificada para el trabajo iniciar. Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

$s$ = Desviación estándar, en kg/cm<sup>2</sup>.

$X_i$ = Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{X}$ = Resistencia promedio de  $n$  probetas, en kg/cm<sup>2</sup>.

$n$ = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

$\bar{s}$  = Desviación estándar promedio en kg/cm<sup>2</sup>.

$s_1, s_2$  = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en kg/cm<sup>2</sup>.

$n_1, n_2$  = Número de ensayos en cada grupo, respectivamente.

### Método 2:

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculará la desviación estándar “s” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicará por el factor de corrección indicado en la tabla 2.1 para obtener el nuevo valor de “s”. El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

**Tabla 2.1.** Factores de reducción.

Muestra	Factor de reducción
Menos de 15	Usar tabla 2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

**Fuente:** ACI 211

- Cálculo de la resistencia promedio requerida.

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) se obtiene como mayor valor de las ecuaciones (1) y (2).

La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén  $35\text{kg/cm}^2$  por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar “s” calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \quad (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35 \quad (2)$$

Donde:

s= Desviación estándar, en  $\text{kg/cm}^2$

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la **Tabla 2.2**.

**Tabla 2.2.** Para la determinación de la resistencia promedio requerida.

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$F'_c+70$
210 a 350	$F'_c+84$
Sobre 350	$F'_c+98$

**Fuente:** ACI 211

### 2.2.3.3.1.2 Elección del Asentamiento (Slump).

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente **Tabla 2.3**.

**Tabla 2.3.** Consistencia y asentamientos.

Consistencia	Asentamiento
Seca Plástica Fluida	0" (0mm) a 2" (50mm) 3" (75mm) a 4" (100mm) >= 5" (125mm)

*Fuente: ACI 211*

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 2.4 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

**Tabla 2.4.** Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Tipos de construcción	REVENIMIENTO(cm.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

*Fuente: ACI 211*

#### 2.2.3.3.1.3 Selección de Tamaño Máximo del Agregado.

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a)  $1/5$  de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- b)  $1/3$  del peralte de la losa.
- c)  $3/4$  del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm ( $1\frac{1}{2}$ " ). En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

#### 2.2.3.3.1.4 Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire.

La **Tabla 2.5**, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

**Tabla 2.5.** Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en $lt\ m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

**Fuente:** ACI 211

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo. Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y en formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o NTP 400.037).

\* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

\*\* Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Como se observa, la **Tabla 2.5** no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que, dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Al mismo tiempo, podemos usar la **Tabla 2.6** para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la **Tabla 2.6** corresponden a mezclas sin aire incorporado.

**Tabla 2.6.** Contenido de agua de mezcla

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en $\text{lt m}^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1" - 2")		75mm a 100mm (3" - 4")		150mm a 175mm (6" - 7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

**Fuente:** ACI 211

La **Tabla 2.5** nos muestra también el volumen aproximado de aire atrapado, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido total de aire, en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\text{Volumen de agua}(m^3) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts}/m^3)}{\text{Peso específico del agua (1000kg}/m^3)}$$

### 2.2.3.3.1.5 Elección de la Relación Agua/Cemento (a/c).

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

- **Por Resistencia.**

Para concretos preparados con cemento Pórtland tipo I o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la **Tabla 2.7**.

**Tabla 2.7.** Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'cr) (kg/cm2)*	Relacion agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

**Fuente: ACI 211**

\*Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la **Tabla 2.5**. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

- **Por Durabilidad.**

La Norma Técnica de Edificaciones E.060 prescribe que, si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos congelación y deshielo en condición húmeda. Se debería cumplir con los requisitos indicados en la **Tabla 2.8**.

**Tabla 2.8.** Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

**Fuente:** ACI 211

\*La resistencia  $f'_c$  no deberá ser menor de 245 kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad.

### 2.2.3.3.1.6 Cálculo del Contenido de Cemento.

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo, es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínimo. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\text{Contenido de cemento}(kg/m^3) = \frac{\text{contenido de agua de mezclado}(lts/m^3)}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr})}$$

$$\text{Volumen de cemento}(m^3) = \frac{\text{contenido de cemento}(kg)}{\text{Peso específico del cemento}(kg/cm^3)}$$

### 2.2.3.3.1.7 Estimación del Contenido de Agregado Grueso y Agregado Fino.

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la **Tabla 2.9**, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 2.9 permite obtener un coeficiente b/b<sub>0</sub> resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/ m<sup>3</sup>.

**Tabla 2.9.** Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (* ) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: ACI 211*

\*Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales. Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aprox. Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%.

Obtenido  $b/b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del a. grueso}(kg/m^3) = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del a. grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso seco del a. grueso}}{\text{Peso específico a. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino}(m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

Por consiguiente, el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso agregado fino}(kg/m^3) = (\text{Vol. agregado fino})(\text{Peso específico del agregado fino})$$

#### **2.2.3.3.1.8 Ajustes por Humedad y Absorción.**

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectado por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado, si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto, estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto, sí:

$$\text{Agregado Grueso} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ Absorción} = \%a_g \end{array} \right.$$

$$\text{Agregado Fino} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ Absorción} = \%a_f \end{array} \right.$$

Peso de agregados húmedos:

$$\text{Peso del A. grueso humedo}(kg) = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso del A. fino humedo}(kg) = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

Agua efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva}(Lts) = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

### 2.2.3.3.1.9 Cálculo de las Proporciones en Peso.

*Cemento: agregado fino: agregado grueso/grueso*

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino humedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso humedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

### **2.2.3.3.2 Preparación, Mezclado, Transporte y Colocación De Mezclas.**

La preparación, mezclado, transporte, colocación y procedimientos de control para los concretos de alta resistencia, en principio, son similares a los utilizados para el hormigón convencional, así que se pueden seguir los mismos lineamientos. Sin embargo, es necesario puntualizar ciertos aspectos: el de mantener el contenido unitario de agua de la mezcla se torna crítico en estos concretos, ya que ligera variación en el incremento de ésta repercute en pérdidas grandes de resistencia.

También, por causa de los altos contenidos de cemento involucrados, hay que tener en cuenta las recomendaciones de orden térmico. Además, la producción y control de los hormigones requiere de personal calificado.

Parte de la preparación previa es también el control, manejo y almacenamiento de los materiales. La correcta medición y pesaje son esenciales para obtener buenos resultados. Para mantener la relación agua-cemento necesaria para el desarrollo de alta resistencia se debe realizar determinaciones lo más precisas posibles de la humedad de los agregados.

#### **2.2.3.3.2.1 Mezclado.**

Los concretos de alta resistencia pueden ser mezclados totalmente en la planta, en un camión mezclador o en una combinación de ambos. En general, se deben seguir las recomendaciones de ACI 304.

#### **2.2.3.3.2.2 Tiempo de Mezclado.**

El tiempo de mezclado requerido está limitado por la eficacia de la mezcladora para producir una mezcla correcta. Según normas y recomendaciones generales, se debe mezclar 1 minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> más  $\frac{1}{4}$  de minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> de capacidad adicional. Por otra parte, se puede establecer el tiempo de mezclado basándose en los resultados obtenidos en pruebas de eficiencia.

### **2.2.3.3.2.3 Procedimiento de Mezclado.**

Cuando el parámetro más importante por obtener es alta resistencia a la compresión, es conveniente emplear bajas relaciones agua/cemento, cuidando esencialmente la trabajabilidad del concreto y, en consecuencia, su revenimiento. En términos generales, el procedimiento de mezclado requiere, entre otros factores, mezclado previo del cemento y del agua con una mezcladora de alta velocidad, uso de aditivos, empleo de agregados cementantes, periodo más largo de curado, de ser posible con agua, compactación del concreto por presión y confinamiento del concreto en dos direcciones.

Adicionalmente, para la producción de este tipo de concretos son indispensables el empleo selectivo de materiales, un enfoque diferente en los procedimientos de diseño y elaboración de las mezclas, atención especial en la compactación y un control de calidad más riguroso.

Algunos investigadores usan como técnicas para la producción de concretos de alta resistencia su composición, una alta velocidad de mezclado y re vibrado, y eventualmente la adición de algún aditivo para incrementar la resistencia del concreto.

De acuerdo con lo anterior, para las preparaciones de mezcla de los concretos de alta resistencia se debe considerar lo siguiente:

- Elección del asentamiento, si no se ha especificado previamente.
- Selección del tamaño máximo del agregado.
- Estimación del contenido de agua.
- Elección de la relación agua/cemento o agua/materiales cementicios.
- Cálculo del contenido de materiales cementicios.
- Estimación del contenido de agregado grueso.
- Estimación del contenido de agregado fino.
- Ajuste por humedad y absorción de agregados.
- Ajuste en las mezclas de prueba.

#### **2.2.3.3.2.4 Transporte.**

Puede ser transportado por distintos equipos, cada método tiene sus ventajas y desventajas, dependiendo de la localización de la obra, de la facilidad de ingreso a la misma, clima, etc. y estas circunstancias deben ser tenidas en cuenta al momento de decidir el tipo de transporte a usar.

#### **2.2.3.3.2.5 Colocación.**

Antes de empezar la colocación del concreto se debe tener en cuenta el hecho de que el tiempo para manipular será más reducido que lo habitual, por lo que una correcta planificación del cronograma de concreto y disponibilidad de los equipos será indispensable.

El concreto debe descargarse lo más próximo al lugar donde quedará definitivamente, se pueden usar carretillas, carritos, baldes de todo tipo y cubetas, entre otros equipos. Habrá que tener en cuenta que una permanencia larga del concreto en dichos recipientes hará más dificultosa su descarga por causa del alto contenido de cemento y mayor cohesión. La manera más efectiva de compactar el concreto de alta resistencia es mediante vibración interna.

#### **2.2.3.3.2.6 Curado.**

El curado es el proceso necesario para mantener el contenido de humedad adecuado y la temperatura favorable en el hormigón durante el período de hidratación de los materiales cementantes, para que así se puedan desarrollar completamente las propiedades del concreto deseadas.

El curado, si es esencial en la producción del concreto convencional de calidad, es notoriamente crítico en la producción de los concretos de alta resistencia. La resistencia potencial necesaria y la durabilidad del concreto se desarrollarán por completo, solamente si es curado correctamente durante un período adecuado antes de ponerlo en servicio.

## 2.2.4 Mecanismo de Penetración de Agua.

La penetración de fluidos como de gases dentro del concreto determina en buena parte la durabilidad del material. En el caso particular de los líquidos estos pueden penetrar la red porosa del concreto usando principios físicos muy distintos como la permeabilidad, la difusión, la absorción capilar, la convección o la electromigración. Sin embargo, los fenómenos más frecuentes de penetración de agua al interior del concreto en las construcciones son en su orden: la capilaridad y la penetración de agua bajo presión o permeabilidad.

- **Difusión:** Corresponde por otro lado al desplazamiento de un compuesto, ión, líquido etc., a través de un medio, debido a una agitación aleatoria a nivel molecular, relacionado este, con la existencia de un gradiente de concentración. La difusión se determina en general sobre concretos saturados. A través de este medio continuo, tiene entonces lugar la difusión de una sustancia.
- **Flujo por Convección:** de una sustancia se debe a que una sustancia es arrastrada por el movimiento de otra que la contiene.
- **Electromigración:** al igual que la permeabilidad y la difusión se refiere al movimiento de un compuesto o una sustancia (líquida en este caso) debido a la presencia de un gradiente. La diferencia o gradiente en este caso, corresponde a una diferencia de voltaje.
- **Absorción Capilar:** corresponde al desplazamiento de un frente líquido a través de un capilar, como consecuencia de la interacción de las fuerzas de contacto líquido-sólido. Este fenómeno de movimiento de agua tiene lugar en concretos secos o parcialmente saturados.
- **Permeabilidad:** Se refiere al movimiento de un líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua. La permeabilidad se mide sobre medios saturados. En el caso del concreto este debe estar saturado para poder medir la permeabilidad que se expresa en términos de  $m^3/(m^2 s)$ , es decir en m/s.

### 2.2.4.1 Permeabilidad.

La permeabilidad del concreto se calcula a partir de una condición de presión hidrostática sobre una de sus caras y corresponde a la velocidad o al caudal de agua que atraviesa el material, debido justamente a la diferencia de presión entre la cara en contacto con el agua y la cara que no lo está. El flujo de agua a través del concreto debido al empuje del líquido (gracias a la gravedad) depende de factores externos al material como la altura de la lámina de agua y el espesor del elemento, pero también de factores internos como la capacidad del material para contener el agua.

El parámetro que en este caso describe la calidad del material es el coeficiente de permeabilidad al agua (K) de Darcy. Si bien la ASTM no cuenta con una norma para su determinación la AASTHO como el Cuerpo de ingenieros de los EEUU, si disponen de metodologías para su medida. La determinación de la permeabilidad del concreto o del coeficiente de Darcy solo se puede hacer una vez el concreto está saturado. El coeficiente de Darcy (K) de un concreto que describe la facilidad con la que el material puede ser penetrado por el agua, puede variar en dos órdenes de magnitud o más.

Una clasificación de este parámetro que califica los concretos aparece en la **Tabla 2.10**.

**Tabla 2.10.** Clasificación de la permeabilidad del concreto de acuerdo a la NTC 44836

Tipo de concreto	Coficiente Darcy K(m/s)
Concreto de baja permeabilidad	$< 10^{-12}$
Concreto de mediana permeabilidad	$10^{-10}$ a $10^{-12}$
Concreto de alta permeabilidad	$> 10^{-10}$

**Fuente:** NTC 44836

Desafortunadamente el coeficiente de Darcy no es un parámetro frecuente en las especificaciones de concreto, en realidad la permeabilidad como propiedad rara vez es exigida en la construcción, en términos numéricos. Por supuesto la construcción de un tanque de agua o de una presa parte de la premisa de que no contará con filtraciones que deterioren el aspecto como el funcionamiento de la estructura.

En el caso particular de las normas europeas (EN: 206, EN 12390) la permeabilidad del concreto se determina no a través de la medición del coeficiente de Darcy sino midiendo bajo unas condiciones normalizadas de presión y área, una profundidad de penetración. La norma EN 12390-8 somete una probeta de concreto (extraída de la estructura o fabricada en laboratorio) a 50 m de cabeza de presión de agua en un área determinada, al cabo de 72 horas de presión el ensayo se detiene y la probeta se falla en tensión indirecta de modo que pueda medirse la profundidad de la mancha de penetración. Las especificaciones europeas vienen así expresadas en términos de profundidad de penetración máxima admisible.

#### **2.2.4.1.1 Concreto de Baja Permeabilidad**

Los problemas de filtraciones en estructuras enterradas como estacionamientos, sótanos o en estructuras de contención de agua como tanques y reservorios, han presionado a los diseñadores para que se pronuncien sobre la definición de un concreto de baja permeabilidad (CBP).

Los tanques de agua que hacen parte de nuestro paisaje cotidiano urbano y rural, podría pensarse que son tecnología superada y que construir un tanque de concreto (son la mayoría) para contener agua resulta sencillo. Esta imagen puede ser engañosa porque cuando se examina en detalle el número de casos de tanques de agua con dificultades, nuestra perspectiva hacia su diseño y construcción puede cambiar drásticamente.

Una encuesta y estudio recientemente publicados reveló que en Francia solo el 58% de los usuarios de tanque de agua elevado, reservorios y tanques enterrados, están satisfechos con su desempeño.

Entre los tanques enterrados, reservorios y tanques elevados, los que más problemas han evidenciado con respecto a infiltraciones son los elevados (¿por qué son los que más caras muestran?). Dentro del levantamiento de las causas de los problemas está en primer lugar la fisuración (22%) seguida por la permeabilidad de los recubrimientos o el material (12%) y la abrasión (10%).

Como vemos el concreto impermeable no solo debe serlo en su propia masa, sino que por supuesto no debe fisurarse. Una reciente publicación estableció de acuerdo a la normativa europea los siguientes requisitos para la definición de un concreto de baja permeabilidad.

**Tabla 2.11.** Propiedades y valores para la obtención de un concreto de baja permeabilidad.

Criterios de desempeño para un concreto impermeable		
Ensayo	Valor	Norma
Absorción capilar (qw)	$< 6g/(m^2 * h)$	SIA 262/1 Anexo A
Penetración de agua	$< 30 \text{ mm}$	EN 12390 Parte 8
Retracción por secado	$< 0.07 \%^*$	ASTM C 157

\*28 días secado

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 2.2.4.1.2 Determinación de Permeabilidad

Los métodos de presión de agua que se emplean para determinar la permeabilidad del concreto se basan en dos principios básicos, los métodos de flujo constante y los métodos de penetración.

Ambas modalidades implican el exponer una probeta de concreto endurecida a una columna de presión de agua por una de sus caras. En el método del flujo constante luego de un par de días el agua ha podido atravesar toda la longitud de la probeta y un flujo constante del líquido tiene lugar por la cara inferior del espécimen.

Lo que se mide entonces es el caudal (Volumen de agua/tiempo) obtenido que, junto con la longitud de la probeta, la presión ejercida y el área del espécimen permiten calcular el coeficiente de Darcy.

La comunidad europea por su parte cuenta con la norma EN 12390-8 “Profundidad de penetración de agua bajo presión”, esta metodología se concentra en medir bajo una presión constante de 5 bar (50 m de columna de agua) la profundidad de penetración. Esta norma no determina el coeficiente de permeabilidad, como tampoco tiene lugar flujo alguno luego de 72 horas que dura el ensayo. Al terminar el tiempo de exposición del concreto a dicha presión la probeta es fallada bajo tensión indirecta (método brasileño) y se mide visualmente la profundidad máxima de la mancha de agua penetrada. Esta medida de penetración máxima ha sido usada en diferentes especificaciones y se considera como una medida de calidad de concreto y de la facilidad de penetración del agua en él.

Sin embargo, hoy en día muchos concretos, como aquellos que incluyen en su composición adiciones minerales, impermeabilizantes o simplemente concretos con redes porosas muy cerradas (HPC), el agua luego de semanas no pasa a través de la probeta.

Así bajo las presiones usuales de 20 m hasta 130 m de columna de agua, con espesores de probetas entre 5 cm a 20 cm al agua, literalmente le resulta imposible atravesar la probeta.

### 2.2.5 Cenizas Volante de Carbón

La norma *ASTM-C-618-08* define el término ceniza volante como: “El residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón molido o en polvo, y que es transportado por los gases de combustión”.

“Esta definición de ceniza volante no incluye, entre otras cosas, el residuo resultante de: (1) el quemado de basura municipal o cualquier otro desecho con carbón; (2) la inyección de cal directamente dentro de caldera para remover el azufre; o (3) el quemado de basura industrial o municipal en incineradores, comúnmente conocida como “ceniza de incinerador”.

Se puede definir la ceniza volante como un subproducto de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas para la producción de energía eléctrica.

Básicamente son cuatro los tipos de carbón que se utilizan en las centrales termoeléctricas: antracita, bituminoso, sub-bituminoso y lignito, en los que varía principalmente el poder calorífico y la cantidad de carbón fijo presente. El tipo de carbón utilizado influenciará en el tipo de ceniza volante que se obtenga.

La norma *ASTM-C-618-08* divide en tres los tipos de ceniza volante:

- Clase N: Puzolanas naturales calcinadas o en crudo que cumplen con los requisitos aplicables para la clase como los dados aquí, tal como tierras diatomáceas, horstenos o esquistos opalinos, tobas y cenizas volcánicas o piedra pómez, calcinadas o no; y varios materiales que requieren calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y esquistos.
- Clase F: Ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

- Clase C: Ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante, además de poseer propiedades puzolánicas, también tiene algunas propiedades cementicias.

### **2.2.5.1 Composición de la Ceniza Volante de Carbón**

Su composición química y mineralógica depende principalmente del contenido de minerales no combustibles que posee el carbón, y de las reacciones ocurridas durante el proceso de combustión (M.C. Alonso et al. 1995).

### **2.2.5.2 Propiedades de la Ceniza Volante de Carbón**

De acuerdo con M.C. Alonso et al. (1995) las cenizas volantes presentan las siguientes propiedades:

- Capacidad reactiva, lo que las hace aptas para múltiples aplicaciones. Otra de sus propiedades es la puzolánicas e hidráulica, aunque se necesita de un período más o menos largo de tiempo para que se manifieste su reactividad puzolánica.
- Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad del material en estado plástico, debido a un aumento en la dispersión de las partículas del sistema.
- Las cenizas volantes en los morteros disminuyen las expansiones asociadas a la reacción árido-álcalis, disminuyendo la pérdida por durabilidad.
- El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, y por lo tanto la porosidad del sistema también será mayor. Sin embargo, dado que las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua / cemento, contrarrestando la mayor porosidad.
- Las resistencias mecánicas al utilizar cenizas volantes serán menores en las primeras edades, comparadas con las alcanzadas en cementos Portland. Las cenizas actúan como un diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. A edades largas se produce un refinamiento de la estructura porosa debido a la evolución de la actividad puzolánica.

- Las cenizas volantes reducen el calor de hidratación en el cemento debido al menor contenido de alita (C3S) procedente del clinker Portland. Este compuesto es el responsable en su mayor parte del calor desprendido durante la hidratación del cemento Portland. La reacción puzolánica también es exotérmica, pero su desprendimiento es progresivo en el tiempo.
- Las cenizas volantes incorporadas al cemento mejoran su durabilidad en determinados ambientes sulfatados y de agua de mar. Esto se debe a una mayor impermeabilidad y a la reducción en el contenido de portlandita (SC3). Esto último, inhibe la formación de etringita expansiva. El aumento en la impermeabilidad se debe a que los productos formados durante la actividad puzolánica se depositan en el interior de los poros capilares interconectados, dificultando la penetración de los iones sulfato y cloruro.

### **2.2.5.3 Origen y Proceso de Obtención de la Ceniza Volante de Carbón**

El problema originado por la masiva utilización del carbón, en la producción de energía eléctrica se basa en su combustión que origina residuos sólidos constituidos mayormente por la materia incombustible presente en este material; este puede representar entre el 6 y el 20% del carbón alimentado a la central termoeléctrica.

Las cenizas volantes se originan cuando se lleva a cabo el proceso de combustión del carbón pulverizado, utilizado como combustible, en las centrales térmicas. García (2003).

Su composición química y mineralógica depende principalmente del contenido de minerales no combustibles que posee el carbón, y de las reacciones ocurridas durante el proceso de combustión (M.C. Alonso et al. 1995).

La ceniza volante (CV) es la porción más fina, que se separa de la corriente de gases en combustión en la central termoeléctrica entre el caldero u hogar y la chimenea mediante equipos convenientemente diseñados (ciclones, filtros, precipitaciones electrostáticas o una combinación de ellos); si no existieran dichos elementos la ceniza se expandiría a la atmósfera desde la chimenea con lo que resultaría dispersada en amplias zonas geográficas. La otra porción de la materia incombustible del carbón se separa en el cenicero del hogar en forma de escorias. La proporción escoria: ceniza depende del tipo de Caldero u hogar y del carbón (tipo y forma de alimentación), en el caso de una central térmica moderna de carbón pulverizado.

En general, las características físicas de las CV son difíciles de predecir. Las partículas miden entre  $0.5+100\mu\text{m}$  con un tamaño medio entre  $8+30\mu\text{m}$  según la central térmica y los equipos de separación usados; son partículas esféricas de color grisáceo amarillento, más claro si contienen álcalis, y más oscuro si hay carbón inquemado. Los carbones pobres (Lignitos) suelen dar CV muy densas y de color claro. La composición genérica de las CV es la típica de rocas y suelos, estando relacionada con la geología y minería del yacimiento de carbón proveniente, con las condiciones de combustión. En la mayoría de los casos, los óxidos de Si, Al, Fe, Ca y Na suponen el 95 al 99% de la CV aunque también se han identificado hasta 45 elementos que se distribuyen según los tamaños de la partícula. Mineralógicamente hay diferencias importantes según el tipo de carbón que origina las CV. Mientras que el cuarzo y las hematites aparecen en las cenizas de todos los carbones, las especies magnetita y mullita se presentan más frecuentemente en las de origen bituminoso, mientras que periclasa y CaO son más comunes en los casos de carbones pobres (sub bituminosos y lignitos).

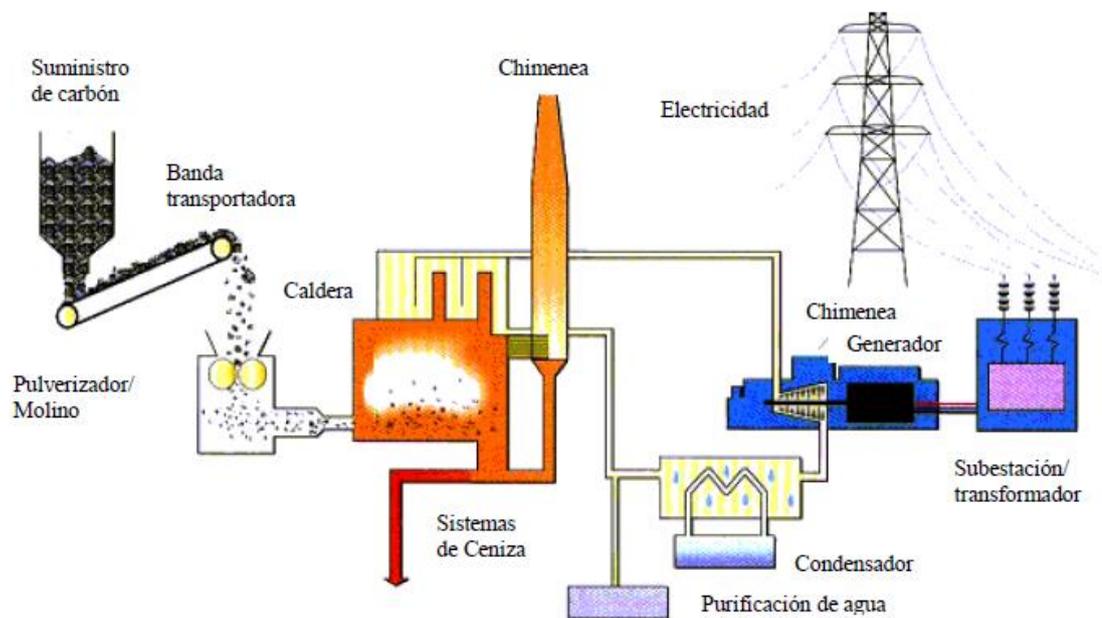
Algunas CV que reúnen unas especiales cualidades de finura y composición, se pueden aplicar como sustituto del cemento en ciertas formulaciones de concreto y morteros, a los que se les exige determinadas resistencias y durabilidad. El carácter puzolánico de las cenizas volantes (reactividad con cal) unido a su gran finura, permite sustituciones de cemento de gran interés técnico y económico, lo cual permite la utilización racional de una gran parte, y son en promedio el 15% de la CV producidas en la preparación de concreto. Otra gran parte de las CV pueden ser consumidas como primera materia en la fabricación del clinker y en los cementos con adiciones.

El carbón llega a la Central Termoeléctrica por medio de barcos de hasta 70,000 toneladas, los mismos que atracan junto a la plataforma de descarga donde dos grúas tipo canguro retiran el carbón sobre la faja transportadora. En su segunda faja transportadora conducen el carbón a lo largo del muelle hasta la cancha de carbón donde es distribuido por medio del apilador de carbón (stacker) para formar las pilas de carbón.

La cancha de carbón tiene una capacidad de almacenar hasta 200,000 toneladas. El carbón de la cancha es recogido por dos equipos semi automáticos, que son los recuperadores de carbón (reclaimers), los cuales, por medio de una banda de paleta, recogen el carbón de la pila y lo depositan sobre fajas transportadoras, las cuales conducen el carbón hasta los silos de almacenamiento de calderos. Esta operación de cargado de silos hasta el alimentador y luego al pulverizador de carbón donde es triturado y molido hasta convertirse en polvo (70% pasante malla N°200) y luego a través de un flujo de aire templado, es transportado por los tubos hacia los quemadores del caldero, donde las partículas de carbón se encienden formando la llama hogar.

Los gases calientes pasan por el exterior de los tubos del sobre calentador, recalentador y economizador antes de dejar el caldero. Luego pasan por el precipitador electrostático donde queda atrapada la ceniza volante y finalmente son emitidas a la atmosfera a través de la chimenea.

**Figura 2.1** Sobre proceso de obtención de Carbón Pulverizado.



ENGIE Energía Perú se creó en 1996 bajo la denominación social de Powerfin Perú S.A. Al año siguiente, modificó su nombre a Energía del Sur S.A. y, posteriormente, el 2007, pasó a ser EnerSur S.A. Finalmente, el 2016, adopta el nuevo nombre de su grupo corporativo y pasó a llamarse ENGIE Energía Perú S.A. (**Fuente:** <http://engie-energia.pe> y elaboración propia).

La Planta posee una turbina a vapor con una potencia nominal de 135 MW, cuenta con una cancha de carbón con capacidad de almacenamiento para 200 mil toneladas y un muelle de 1,250 metros de largo diseñado para buques de 70 mil toneladas de desplazamiento. Dispone de dos plantas desalinizadoras que proveen de agua industrial y potable a la operación de la central y una planta de tratamiento de aguas servidas destinada a la forestación de las áreas circundantes a la central.

Consciente de la necesidad de utilizar adecuadamente los recursos naturales, cuidarlos y preservarlos para las futuras generaciones, ENGIE Energía Perú S.A. tiene como meta prevenir y mitigar los efectos ambientales que pudieran causar la producción y transmisión de la energía eléctrica.

Desde el 2004, ENGIE Energía Perú cuenta con la certificación ISO 9001 para sus procesos de generación y comercialización de energía que le permite contar con una política de calidad dirigida a que cada persona de la empresa oriente su trabajo al logro de la máxima satisfacción del cliente, tanto interno como externo, incrementando así el valor de la empresa para el accionista.

El Grupo ENGIE considera fundamental la certificación de sus filiales a nivel mundial, en materia de procesos, negocio, medio ambiente y seguridad. Por tal motivo, ENGIE Energía Perú cuenta con las recertificaciones ISO 9001:2008 (Gestión de la calidad), ISO 14001:2004 (Gestión del medio ambiente) y OHSAS 18001:2007 (Gestión de seguridad y salud ocupacional) que aseguran la implementación de un sistema de gestión integrado enfocado en calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional que cumple con los requisitos de estas tres normas, así como con la normatividad legal aplicable a nuestras actividades.

Algunas de las acciones que ENGIE Energía Perú S.A. viene realizando para el cuidado y preservación del medio ambiente son:

- Uso y tratamiento del agua de mar.
- Tratamiento de las aguas servidas.
- Proyecto de forestación.
- El precipitador electrostático, el cual atrapa casi el 100% de las partículas de ceniza volante que acompañan a los gases de combustión del caldero; es decir limpia estos gases antes de su salida a la atmósfera, evitando así que el aire se contamine.

El carbón de diseño garantizado contractualmente es el carbón: “PT Adaro de Indonesia”, cuyas propiedades físico químicas del carbón de garantía está dentro del rango de las especificaciones del Estudio de Impacto Ambiental comprometidas por ENGIE Energía Perú S.A. para la Central Térmica de ILO21.

La combustión de carbón pulverizado (PF) es el método usado para quemar carbón para generación eléctrica.

El sistema de preparación del carbón, secado, molienda al tamaño especificado y alimentación del combustible mediante transporte neumático a los quemadores, está completamente integrado con la caldera. El aire que transporta el carbón es una pequeña fracción del aire total de combustión. El resto del aire de combustión es inyectado separadamente y mezclado con el combustible en la cámara de combustión. Las paredes de la cámara de combustión están refrigeradas por vapor. El diseño de la cámara de combustión tiene que suministrar suficiente tiempo de residencia para garantizar una perfecta combustión y enfriar las cenizas volantes por debajo de su temperatura de reblandecimiento, evitando su acumulación sobre los intercambiadores de calor.

El carbón es molido, pulverizado e inyectado con aire a la caldera. El carbón pulverizado tiene una gran área superficial, lo cual facilita su combustión en los quemadores. El calor generado es usado para producir vapor a altas presiones y temperaturas para activar las turbinas y generar electricidad. En la actualidad casi toda la electricidad generada en el mundo en plantas térmicas a carbón es producida usando sistemas de carbón pulverizado.

Las emisiones de la combustión de carbón pulverizado pueden ser reducidas mediante tecnologías de limpieza. Los precipitadores electrostáticos y/o filtros de manga pueden remover más del 99% de la ceniza volante de los gases de combustión. Los métodos de desulfurización de gases de combustión pueden remover entre 90-97% de los óxidos de azufre de los gases y pueden convertirlos en yeso para uso en construcción.

El edificio de turbinas está situado con su eje mayor orientado en dirección NO-SE, prácticamente paralelo a la línea de playa. Los ejes de cada caldera y del edificio de turbinas son perpendiculares. Entre el edificio de turbinas y cada caldera se encuentran situados los silos de carbón del tipo cilíndrico cónico, son tres silos por grupo, con sus pulverizadores correspondientes en la parte inferior.

El eje de los precipitadores electrostáticos está a continuación de las calderas, seguido se encuentra la chimenea, con un tubo común para los gases de salida de las dos calderas. Tiene 130 m de altura, 4,95 m. de diámetro interior y es de hormigón con un liner de acero. También se encuentran dentro de esta área los silos de cenizas y de escoria, dotados de una fácil accesibilidad.

**Figura 2.2.** Vista General de la Central termoeléctrica ILO 21



**Fuente:** ENGIE Energía Perú

**Figura 2.3.** Vistas del Exterior e Interior de la Central termoeléctrica ILO 21



**Fuente:** *ENGIE Energía Perú*

### 2.3. Hipótesis

La adición de las cenizas volantes de carbón, en porcentajes óptimos, influye significativamente sobre la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de Variables

#### 3.1.1. Variable Independiente (V.I)

- Cenizas Volantes de Carbón.

#### 3.1.2. Variables Dependientes (V.D)

- Resistencia a la Compresión.
- Permeabilidad

**Tabla 3.1:** Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse.	Ensayos de los Agregados.	Contenido de Humedad (%)
			Granulometría – MF
			Gravedad Específica (gr/cc) y Absorción (%)
			Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
			Abrasión los Ángeles (%)
		Diseño de Mezcla.	Resistencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )
			Relación a/c
			Dosificación del Concreto (kg)
			Dosificación de las Cenizas Volantes de Carbón (kg)
		Capacidad de carga soportada.	Carga máxima (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Área (cm <sup>2</sup> )
			Curva carga/edad (Kg/cm <sup>2</sup> )/(días)

*Fuente: Elaboración propia*

- Permeabilidad

**Tabla 3.2:** Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Permeabilidad	La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.	Características de las probetas concreto elaborados.	Forma (ud)
			Dimensiones (cm)
			Espesor (cm)
			Condiciones de curado (Temperatura)
			Edad de la probeta en el momento del ensayo (días)
		Altura del fleco Capilar.	Presión (Bar)
			Columna de agua (mca)
		Ensayo a la permeabilidad.	Tiempo de exposición con el agua (horas)
			Humedad de las probetas de concreto (%)
			Profundidad absorbida de agua (cm)

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2. Diseño de investigación.

El proyecto de investigación está trabajado a escala en laboratorio; en otras palabras, una recreación del fenómeno que acontece en la realidad.

El modelo en el cual está basado el proyecto de investigación es **Cuasi experimental**, debido a que se tomaron grupos que ya están integrados, por lo que las unidades de análisis no se asignan al azar.

**Figura 3.1:** Diseño de esquema que representa la investigación.

<i>GE</i>	<i>O<sub>1</sub></i>	<i>X</i>	<i>O<sub>2</sub></i>
<i>GC</i>	<i>O<sub>1</sub></i>	-	<i>O<sub>2</sub></i>

**Fuente:** Buscador de Google.

Dónde:

GE = Grupo experimental.

GC = Grupo testigo o control.

X = Tratamiento experimental.

- = Ausencia de tratamiento experimental.

O<sub>2</sub>=Post-prueba o medición posterior al tratamiento experimental.

### 3.3. Unidad de estudio.

04 Probetas: 02 probetas cilíndricas un patrón y una reforzada con ceniza volante de carbón según la Norma NTP 339.034 y 02 probetas cilíndricas un patrón y una reforzada con ceniza volante de carbón según la Norma UNE-EN 12390-8.

### 3.4. Población

Probetas cilíndricas elaboradas en el laboratorio de tecnología del concreto de la Universidad Privada del Norte, según las normas NTP 339.034 y UNE-EN 12390-8.

### 3.5. Muestra.

Para hallar el tamaño de muestra de nuestra Investigación, se ha tomado la siguiente formula, teniendo en cuenta que nuestra variable es cuantitativa:

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

Z= es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador.

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés.

E= % del estimador o en absoluto (unidades). Fijada por el investigador.

$n_0$ = Tamaño de la muestra.

Se tomaron las siguientes consideraciones para el **Ensayo de Resistencia a la Compresión**:

Z= El nivel de confianza para esta investigación será de 98% (1.98).

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio será de 0.083

E= El limite aceptable de error muestral se estimará en 3% (0.03).

Reemplazando los valores en la formula se obtiene:

$$n_0 = \frac{(1.98^2)(0.083^2)}{(0.03^2)}$$
$$n_0 = 30$$

Se tomaron las siguientes consideraciones para el **Ensayo de Permeabilidad**:

Z= El nivel de confianza para esta investigación será de 98% (1.98).

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio será de 0.063

E= El limite aceptable de error muestral se estimará en 4% (0.04).

Reemplazando los valores en la formula se obtiene:

$$n_0 = \frac{(1.98^2)(0.063^2)}{(0.04^2)}$$

$$n_0 = 10$$

Por lo tanto, nuestra muestra tendrá una total de 40 probetas; 30 probetas para el ensayo de Resistencia a la Compresión: 10 probetas con el diseño de mezcla patrón y 20 probetas reforzadas con cenizas volantes de carbón y 10 probetas para el ensayo de Permeabilidad: 2 probetas con el diseño de mezcla patrón y 8 probetas reforzadas con cenizas volantes de carbón. En las siguientes tablas se detalla las cantidades de probetas según las dosificaciones.

**Tabla 3.3.** Probetas de Concreto Patrón

Patrón				
N° de Ensayos	N° Probetas(Curado)			N° Total de Probetas
	3 días	7 días	28 días	
2	02	02	04	08

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 3.4:** Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (1.5%)

Cenizas Volantes de Carbón (1.5%)				
N° de Ensayos	N° Probetas(Curado)			N° Total de Probetas
	3 días	7 días	28 días	
2	02	02	04	08

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 3.5:** Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (3%)

Cenizas Volantes de Carbón (3%)				
N° de Ensayos	N° Probetas(Curado)			N° Total de Probetas
	3 días	7 días	28 días	
2	02	02	04	08

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 3.6:** Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (4.5%)

Cenizas Volantes de Carbón (4.5%)				
N° de Ensayos	N° Probetas(Curado)			N° Total de Probetas
	3 días	7 días	28 días	
2	02	02	04	08

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 3.7:** Probetas de Concreto + Cenizas Volantes de Carbón (6%)

Cenizas Volantes de Carbón (6%)				
N° de Ensayos	N° Probetas(Curado)			N° Total de Probetas
	3 días	7 días	28 días	
2	02	02	04	08

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 3.8:** Total de Probetas para Muestra/Población

Tipo de Concreto	N° de Probetas
Patrón	8
Cenizas Volantes de Carbón (1.5%)	8
Cenizas Volantes de Carbón (3%)	8
Cenizas Volantes de Carbón (4.5%)	8
Cenizas Volantes de Carbón (6%)	8
<b>Total de Probetas</b>	<b>40</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.6. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos.**

#### **3.6.1. Descripción de las Técnicas de Investigación e Instrumentos.**

- La técnica principal para la recolección de datos es el Diagrama de Flujo, que viene a ser una representación pictórica de los pasos realizados en el proceso. Útil para determinar cómo funciona realmente el proceso para obtener un resultado. Los diagramas de flujo se pueden aplicar a cualquier aspecto del proceso desde el flujo de materiales hasta los pasos para hacer la venta u ofrecer un producto. (Ver Anexo N°1, pág. 121)

#### **3.6.2. Procedimientos de Recolección de Datos.**

- Para el procedimiento de recolección de datos, se rigió en una ordenada serie de pasos los cuales se realizan con referencia a Normas.

##### **3.6.2.1. Selección de Cantera**

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013) dice que, se debe tener en consideración: Ubicación, Potencia, Condiciones de Explotación, características principales de los materiales que puedan obtenerse, rendimientos, propiedad y disponibilidad de uso de cantera.

##### **3.6.2.2. Ensayos de los Agregados**

- **NTP 400.010 2002**

AGREGADOS. Extracción y preparación de la muestra.

La presente Norma Técnica Peruana establece los procedimientos del muestreo del agregado grueso, fino y global, para los propósitos siguientes:

- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.
- Aceptación o rechazo de los materiales

- **NTP 339.185 2002**

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Este método de ensayo establece el procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje de determinado por este método.

- **NTP 400.037 2002**

AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón.

Esta Norma Técnica Peruana se aplica para el contratista, el proveedor del hormigón (Concreto) u otros vendedores como parte del documento de venta en que se describe el material a proporcionar. Los requisitos de gradación son igualmente válidos para ser usados en las especificaciones que definen la calidad y otras características del agregado.

- **NTP 400.012 2013**

AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Esta Norma Técnica Peruana se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales. Los resultados serán utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos que exige la especificación técnica de la obra y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de agregados. Los datos también pueden ser utilizados para correlacionar el esponjamiento y el embalaje.

- **NTP 400.017 2011**

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.

Esta Norma Técnica Peruana establece la determinación de la densidad de masa (“Peso unitario”) del agregado en condición suelto o compactado, y calcula los vacíos entre partículas en agregados finos, gruesos o mezcla de ambos basados en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a los agregados que no excedan los 125 mm como tamaño nominal máximo.

- **NTP 400.019 2002**

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

Esta Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 1/2 pulg) para determinar la resistencia a la degradación utilizando la máquina de Los Ángeles.

- **NTP 400.021 2013**

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (espeso específico) y absorción del agregado grueso.

Establece un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregado grueso (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.

- **NTP 400.022 2013**

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (espeso específico) y absorción del agregado fino.

Establece un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregado fino (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.

### **3.6.2.3. Diseño de Mezcla**

Para el diseño de Mezcla de Concreto, se tomará los siguientes pasos para determinar los resultados:

#### **3.6.2.3.1. Materiales para la Dosificación del Concreto**

Para las cantidades requeridas para el diseño de Mezcla de Concreto, se tomará los resultados obtenidos en laboratorio de los Ensayos de los Agregados, en el cual las normas han sido definidas en el Ítem 3.6.2.2.

#### **3.6.2.3.2. Cenizas Volantes de Carbón**

Las cenizas volantes de carbón, serán obtenidas de la Central Termoeléctrica Ilo 21 y serán añadidas en las siguientes dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6%.

#### **3.6.2.3.3. Diseño de Mezcla de Concreto**

Este proceso se aplicará para determinar las cantidades de materiales por metro cubico de concreto pueden ser determinados; cuando se emplea el método del comité 211 del ACI, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado.
- Selección del asentamiento.
- Selección del volumen unitario de agua de diseño.
- Selección del contenido de aire.
- Selección de la relación agua cemento por resistencia y durabilidad.
- Determinación del factor cemento.
- Determinación del contenido del agregado grueso.
- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos.
- Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
- Determinación del peso seco del agregado fino.

- Determinación de los valores de diseño del cemento.
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Determinación de la proporción en peso.

#### **3.6.2.3.4. Elaboración de Probetas**

Para el proceso de elaboración de las muestras es necesario:

- Ensayo de agregados: Se necesita en primera instancia conocer las características del agregado a emplear, para poder elaborar el diseño de mezcla.
- Diseño de mezcla y prueba: inicialmente, se generará el cálculo estimado para el diseño de mezcla con el Método de ACI 211. Con estos datos se ensayaran probetas cilíndricas estándar para determinar la resistencia a la compresión y el nivel de permeabilidad.

#### **3.6.2.3.5. Ensayo de Resistencia a la Compresión**

Para determinar la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas reforzadas con Cenizas Volantes de Carbón, se realizarán los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en la NTP 339.034.

Este método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. Posteriormente la resistencia a la compresión de las probetas reforzadas con CV será calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

Se registrará así la curva del  $f_c$  (carga máxima) soportada por las probetas reforzadas con cenizas volantes de carbón obtenidas del ensayo.

##### **3.6.2.3.5.1. Objetivo**

Determinar de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de concreto.

#### **3.6.2.3.5.2. Máquina**

La máquina de ensayo será de capacidad conveniente suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga indicada. La verificación de la calibración de la máquina de ensayo debe tener conformidad con la ASTM E 4 y esta debe ser operada por energía (no manual) y aplicar la carga continua sin intermitencia ni detenimiento.

#### **3.6.2.3.5.3. Preparación y Colocación de Probetas**

Las bases de compresión de las probetas que no sean planas dentro los 0,050 mm, serán cortadas o cepilladas para cumplir la tolerancia indicada, o capeadas de conformidad con la NTP 339.037 o cuando se la permita, la NTP 339.216.

Para el ensayo se debe colocar el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo y el bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta de ensayo y colocar el cilindro sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado.

#### **3.6.2.3.5.4. Carga**

La carga será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s.

El ensayo culmina cuando la velocidad del esfuerzo decrece debido a la fractura del espécimen.

#### **3.6.2.3.6. Ensayo de Profundidad de Penetración de Agua Bajo Presión**

Para determinar la profundidad de penetración de agua en las probetas cilíndricas reforzadas con Cenizas Volantes de Carbón, se realizarán los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en la UNE-EN 12390-8.

Este método consiste en aplicar agua bajo presión a la superficie de la probeta reforzada con CV por un periodo de 72 horas constante. A continuación, se divide la probeta por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de penetración del frente de agua.

Se registrará así la curva del nivel máximo de penetración de agua en las probetas reforzadas con cenizas volantes de carbón obtenidas del ensayo.

#### **3.6.2.3.6.1. Objetivo**

Determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigones endurecidos que han sido curados en agua.

#### **3.6.2.3.6.2. Máquina**

La máquina de ensayo consistirá en cualquier equipo en el que la probeta de ensayo, de dimensiones dadas, se pueda situar de tal manera que a presión del agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se visualice la presión aplicada de forma continua. En este caso el equipo usado será el PermeaTor.

#### **3.6.2.3.6.3. Preparación y Colocación de Probetas**

Las probetas serán cúbicas, cilíndricas o prismáticas de longitud de lado, o diámetro, no menor de 150 mm. Las cuales inmediatamente después de ser desoldadas, se desbastan la superficie de la cara de la probeta que va a estar expuesta a la presión del agua con un cepillo de púas metálicas.

El ensayo debe comenzar cuando las probetas tengan al menos una edad de 28 días. No se debe aplicar el agua a presión a la cara de acabado de la probeta. Esta muestra se coloca en el aparato de ensayo y se aplica al agua una presión.

#### **3.6.2.3.6.4. Presión**

La presión que debe ejercerse sobre el agua es de 5 bar o  $500 \pm 50$  kPa durante  $72 \pm 2$  horas. El cual debe ser controlado periódicamente para mantener la presión ejercida.

### **3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos**

- Para el procesamiento de los datos, se usará hojas de cálculo en Microsoft Excel, los cuales estarán acordes con las normas antes utilizadas.
- Para una mejor interpretación de los datos obtenidos, se dispondrán en tablas y gráficos estadísticos.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Selección de la Cantera

La cantera donde se obtuvo las muestras de los agregados para sus respectivos ensayos y para la elaboración de las probetas (cilíndricas), tiene como razón social Transportes y Agregados Barreto S.A.C.

De todas las canteras de la zona, se eligió la cantera Barreto, por contar con la disposición de transporte y extracción, producción de agregado solicitado, contaba con personal calificado para que nos diera los datos requeridos, y además de contar con una razón social establecida

Esta cantera se encuentra ubicada a 3.5 km del eje de la Panamericana Norte (a 10 min del Óvalo Huanchaco). La cantera tiene como productos a: Hormigón TMN 1", Piedra  $\frac{3}{4}$ , Piedra  $\frac{1}{2}$ , Arena Gruesa, Arena Fina, Gravilla y Confitillo, en un área de 12 hectáreas y una producción diaria de 90 m<sup>3</sup> Hormigón TMN 1" ,60 m<sup>3</sup> Piedra, y 50 m<sup>3</sup> Piedra  $\frac{3}{4}$ .

De acuerdo a la Norma NTP 400.010, se extrajeron muestras para realizar los Ensayos de Laboratorio, 2 m<sup>3</sup> de arena gruesa y 2 m<sup>3</sup> de agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ ".

En las **Tablas 4.1** y **4.2** se muestra la ubicación y los datos de la Cantera.

**Tabla 4.1.** Datos de Ubicación la Cantera

Ubicación	Carretera Panamericana Norte (Ov. Huanchaco – Milagro)
Distancia	3.5 km
Referencia	10 min. del Ovalo Huanchaco lado Izquierdo

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 4.1.** Ubicación de la Cantera



*Fuente: Google Maps - Elaboración Propia*

**Tabla 4.2.** Datos de la Cantera

<b>Razón Social:</b>	<b>Transportes y Agregados Barreto S.A.C</b>
<b>RUC:</b>	20481348073
<b>Área:</b>	12 hectáreas
<b>Productos:</b>	Hormigón TMN 1"
	Piedra ¾
	Piedra ½
	Arena Gruesa
	Arena Fina
	Gravilla
	Confitillo
<b>Producción Diaria:</b>	90 m3 Hormigón TMN 1"
	60 m3 Piedra
	50 m3 Piedra ¾
<b>Equipos:</b>	Zaranda vibratoria
	Retroexcavadora
	Cargador Frontal
	Volquete

*Fuente: Elaboración Propia*

## 4.2. Ensayo de Agregados

### 4.2.1. AGREGADOS: Extracción y preparación de las muestras – NTP 400.010

Para la realización de los ensayos de los agregados gruesos y finos se extrajeron muestras de la cantera Barreto ubicada en la Carretera Panamericana Norte (Ov. Huanchaco – Milagro), aproximadamente 3.5 Km., el muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto, se tuvo la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.

### 4.2.2. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado – NTP 339.185.2002

Se siguió el procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

Para el agregado Grueso, se tomó de la muestra 3 kg para determinar su contenido de humedad, el cual fue de 0.60%. Este valor más adelante se ajustó para el diseño de mezcla de concreto. En la **Tabla 4.3.**, se observan el procesamiento de datos.

**Tabla 4.3.** Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

TARA	1	2	3
PESO DE TARA (g)	239.63	214.21	268.10
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	3239.80	3214.42	3268.24
PESO MUESTRA SECA + TARA (g)	3222.57	3197.58	3248.77
PESO DEL AGUA (g)	17.23	16.84	19.47
PESO MUESTRA SECA(g)	2982.94	2983.37	2980.67
% DE HUMEDAD	0.58	0.56	0.65
<b>PROMEDIO (%)</b>	<b>0.60</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

Para el agregado Fino, se tomó de la muestra 1 kg para determinar su contenido de humedad el cual fue de 0.57%. Este valor más adelante se ajustó para el diseño de mezcla de concreto. En la **Tabla 4.4.**, se observan el procesamiento de datos.

**Tabla 4.4.** Contenido de Humedad del Agregado Fino

TARA	1	2	3
PESO DE TARA (g)	165.38	137.12	139.17
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	1165.38	1137.12	1139.18
PESO MUESTRA SECA + TARA (g)	1159.66	1131.53	1133.61
PESO DEL AGUA (g)	5.72	5.59	5.57
PESO MUESTRA SECA(g)	994.28	994.41	994.44
% DE HUMEDAD	0.58	0.56	0.56
<b>PROMEDIO (%)</b>	<b>0.57</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.3. AGREGADOS: Especificaciones normalizadas para agregados en concreto - NTP 400.037.2002

Para el agregado grueso, se utilizó los tamices del HUSO 56 establecido en la Norma NTP 400.037.2002 nuestro agregado tiene un TMN 1", por eso se optó por la utilización de este Huso.

**Tabla 4.5.** Huso Granulométrico del Agregado Grueso

HUSO 56			
TAMIZ	DIÁMETRO(mm)	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
1 1/2"	38.1	100	100
1"	25.4	90	100
3/4"	19.1	40	85
1/2"	12.7	10	40
3/8"	9.5	0	15
N°4	4.76	0	5
<b>Mf=</b>		<b>6.95</b>	<b>7.60</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Nuestra Granulometría obtuvo un  $M_f = 7.57$  que es óptimo, el cual cumple con la tabla de Huso 56 ya que el módulo de finura ( $M_f$ ) del agregado grueso debe estar dentro de los límites de 6.95 a 7.60.

Para el agregado fino, se utilizó los tamices establecidos en la Norma NTP 400.037.2002

**Tabla 4.6.** Huso Granulométrico del Agregado Fino

TABLA N° 02			
TAMIZ	DIÁMETRO(mm)	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.76	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.15	0	10
<b>Mf=</b>		<b>1.18</b>	<b>3.71</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Nuestra Granulometría se obtuvo un  $M_f = 2.66$  que es óptimo, el cual cumple con la tabla de Huso 56 ya que el módulo de finura ( $M_f$ ) del agregado fino debe estar dentro de los límites de 1.18 a 3.71.

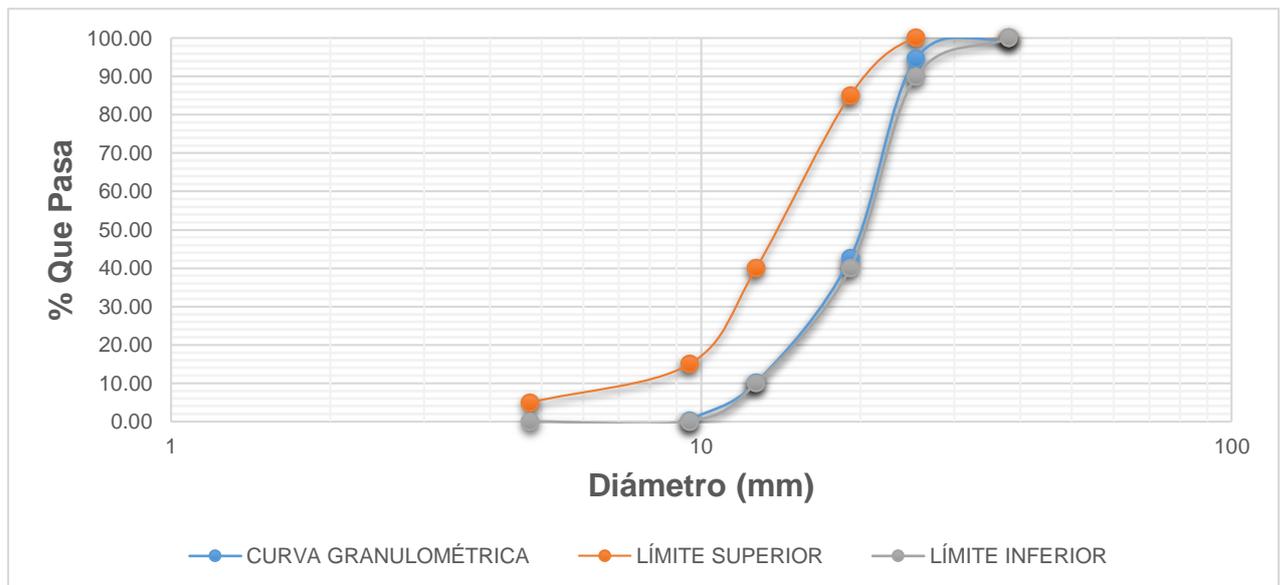
#### 4.2.4. AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global - NTP 400.012.2013

Los ensayos de granulometría se realizaron de acuerdo a la Norma NTP 400.012.2013.

##### 4.2.4.1. Granulometría agregado grueso

Del ensayo realizado a la muestra de agregado grueso proveniente de la cantera Barreto, se obtiene un material con la siguiente granulometría:

**Figura 4.2.** Granulometría del Agregado Grueso



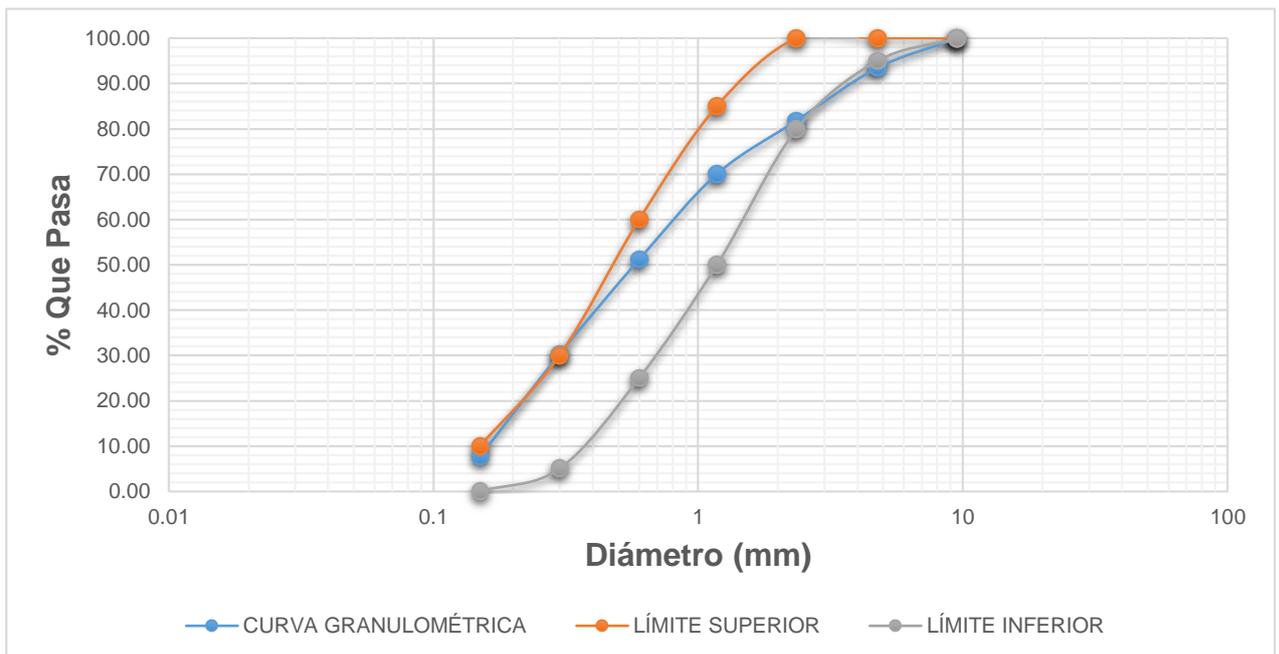
**Fuente:** Elaboración Propia

De la **Fig. 4.2** se observa que el agregado fino la mayor proporción de la curva se encuentra dentro los límites máximo y mínimo de la NTP 400.037.2002, se obtuvo un  $M_f = 7.57$ , que está dentro de los límites 6.95 y 7.60, por lo tanto es óptimo para la elaboración de probetas cilíndricas estándar.

#### 4.2.4.2. Granulometría agregado fino

Del ensayo realizado a la muestra de agregado fino proveniente de la cantera Barreto, se obtiene un material con la siguiente granulometría:

**Figura 4.3.** Granulometría del Agregado Grueso



**Fuente:** *Elaboración Propia*

De la **Fig. 4.3.** se observa que el agregado fino la mayor proporción de la curva se encuentra dentro los límites máximo y mínimo de la NTP 400.037.2002, se obtuvo un  $M_f = 2.66$ , que está dentro de los límites 1.18 y 3.71, por lo tanto es óptimo para la elaboración de probetas cilíndricas estándar.

**4.2.5. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados - NTP 400.017.2011**

**4.2.5.1. Peso unitario del agregado grueso**

Del ensayo realizado a la muestra de agregado grueso proveniente de la cantera Barreto, se obtiene el siguiente peso unitario.

**Tabla 4.7.** Datos para el Peso Unitario del Agregado Grueso

Datos	
Peso (molde) (kg)	5.505
Peso (molde+agua) (kg)	19.406
Peso (agua) (kg)	13.901
Factor (kg/m <sup>3</sup> )	1000.000
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4.8.** Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Grueso

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra) (kg)	27.315	27.220	27.180
Peso Suelto (muestra) (kg)	21.810	21.715	21.675
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1568.952	1562.118	1559.240
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1563</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** se tomara el valor de **1560 kg/m<sup>3</sup>**, debido a que la Norma nos dice que debemos reportar los resultados de densidad de masa con exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 4.9.** Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra) (kg)	29.210	29.255	29.275
Peso Compactado (muestra) (kg)	23.705	23.750	23.770
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Compactado Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1705.273	1708.510	1709.949
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1708</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

Se obtuvo el valor de 1563 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Suelto Seco (PUSS) y 1708 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Compactado Seco (PUCS), para los ensayos del agregado grueso de la cantera Barreto de acuerdo a la norma de Peso Unitario NTP 400.017.2011. Estos valores serán los que utilizaremos para el diseño de mezcla.

#### 4.2.5.2. Peso unitario del agregado fino

Del ensayo realizado a la muestra de agregado fino proveniente de la cantera Barreto, se obtiene el siguiente peso unitario.

**Tabla 4.10.** Datos para el Peso Unitario del Agregado Fino

Datos	
Peso (molde) (kg)	5.505
Peso (molde+agua) (kg)	19.406
Peso (agua) (kg)	13.901
Factor (kg/m <sup>3</sup> )	1000.000
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4.11.** Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Fino

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra) (kg)	29.667	30.335	30.240
Peso Suelto (muestra) (kg)	24.162	24.830	24.735
Volumen del Molde (m3)	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m3)	1738.148	1786.202	1779.368
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1768</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** se tomara el valor de **1770 kg/m<sup>3</sup>**, debido a que la Norma nos dice que debemos reportar los resultados de densidad de masa con exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 4.12.** Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra) (kg)	31.890	32.080	31.850
Peso Compactado (muestra) (kg)	26.385	26.575	26.345
Volumen del Molde (m3)	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Compactado Seco (Kg/m3)	1898.065	1911.733	1895.187
<b>Promedio (Kg/m3)</b>	<b>1902</b>		

*Fuente: Elaboración Propia.*

Se obtuvo el valor de 1768 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Suelto Seco (PUSS) y 1902 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Compactado Seco (PUCS), para los ensayos del agregado fino de la cantera Barreto de acuerdo a la norma de Peso Unitario NTP 400.017.2011. Estos valores los utilizaremos para el diseño de mezcla.

#### 4.2.6. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles - NTP 400.019.2002

Mediante éste ensayo se determina el desgaste de los agregados, establecido para agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) – NTP 400.019.2002.

El ensayo se realizó a las muestras de agregado grueso, para las pruebas se usó la gradación “A” (agregados menores de 1 ½”), utilizando una masa de 5kg y 12 esferas.

**Tabla 4.13.** Porcentaje de desgaste por abrasión

DATOS	
PESO MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO (g)	5000.00
PESO MUESTRA SECA DESPUÉS DE ENSAYO (g)	4241.00
NÚMERO DE ESFERAS	12.00
<b>% DE DESGASTE</b>	<b>15.18</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

De la **Tabla 4.13** el porcentaje de desgaste es de 15.18%. Este resultado nos demuestra que este agregado tiene buena resistencia al desgaste por abrasión para la producción de pavimentos rígidos.

#### 4.2.7. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso - NTP 400.021.2013

**Tabla 4.14.** Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

ENSAYO	
A= Masa de la muestra secada al horno en aire, g	2998.00
B= Masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g	3030.00
C= Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.	1916.00
a) Densidad relativa (Gravedad Específica) (OD)= $A/(B-C)$	2.69
b) Densidad relativa (Gravedad Específica) (SSD)= $B/(B-C)$	2.72
c) Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente) = $A/(A-C)$	2.77
d) Absorción, $\%=100 [(B-A) /A]$	1.07

*Fuente: Elaboración Propia*

De la **Tabla. 4.14** se observa que el agregado tiene una Gravedad Específica (OD) de 2.69 gr/cc, Gravedad Específica (SSD) de 2.72, Densidad Relativa Aparente de 2.77 y Absorción de 1.07%.

#### 4.2.8. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino - NTP 400.022.2013

**Tabla 4.15.** Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

ENSAYO	
A= Masa de la muestra seca al horno, g.	496.00
B= Masa del Picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g.	652.60
C= Masa del Picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g.	962.00
S= Masa de la muestra de Saturado Superficialmente Seca	500.00
a) Densidad relativa (Gravedad Específica) (OD)= $A/(B+S-C)$	2.60
b) Densidad relativa (Gravedad Específica) (SSD)= $S/(B+S-C)$	2.62
c) Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente) = $A/(B+A-C)$	2.66
d) Absorción, $\%=100 [(S-A) /A]$	0.81

*Fuente: Elaboración Propia*

De la **Tabla. 4.15** se observa que el agregado fino tiene una Gravedad Específica (OD) de 2.60 gr/cc, Gravedad Específica (SSD) de 2.62, Densidad Relativa Aparente de 2.66 y Absorción de 0.81%.

### 4.3. Diseño de Mezcla de Concreto

#### 4.3.1. Materiales para la Dosificación del Concreto

Para la elaboración de las probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm, las cuales serán sometidas a los ensayos de resistencia a la compresión y de profundidad de penetración de agua bajo presión, es necesario que los materiales cumplan con las condiciones y exigencias de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas.

##### 4.3.1.1. Cemento

Para la elección del cemento, se tuvo en cuenta que a la mezcla se incorporará cenizas volantes de carbón (CV) en 4 distintas dosificaciones. El cemento es el componente más activo del concreto, es por ello que el comportamiento del concreto se verá influenciado por la calidad y propiedades del cemento a elegir.

Para el diseño de mezcla se optó por usar el Cemento Portland Tipo GU, debido a que nuestra resistencia de diseño es de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Las probetas cilíndricas deberán alcanzar un curado mínimo de 28 días para realizar os ensayos de resistencia a la compresión y de profundidad de penetración de agua bajo presión. A continuación, se presenta las propiedades físicas del cemento a utilizar:

**Figura 4.4.** Propiedades Físicas el Cemento Portland Tipo GU

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5470	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.0	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.99	NO ESPECIFICA
<b>Resistencia Compresión :</b>			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	23.4 (238)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	29.6 (302)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	36.7 (374)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

*Fuente: Certificado de Calidad del Cemento Portland Tipo GU*

#### **4.3.1.2. Agregados**

Para el diseño de mezcla de concreto se utilizará los valores obtenidos después de haber realizado todos los ensayos acordes con las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Es recomendable, para la elaboración de las probetas cilíndricas, que todas las mezclas empleen los mismos agregados. El contenido del agregado grueso y agregado fino, serán los mismos a ser empleados en el diseño de mezcla patrón así con el diseño de concreto más cenizas volantes de carbón.

##### **4.3.1.2.1. Agregado Grueso**

El agregado extraído de la Cantera Barreto tiene un TMN de 1", de acuerdo a su granulometría su Módulo de Finura (Mf) es de 7.56 encontrándose entre los límites del Huso 56.

Su Contenido de humedad es de 0.60%.

Su Peso unitario suelto seco es de 1563 kg/cm<sup>3</sup> y su Peso unitario compactado seco es de 1708 kg/cm<sup>3</sup>.

El agregado grueso proveniente de la cantera Barreto tiene una gravedad específica de 2.69 gr/cc, densidad relativa de 2.72, densidad relativa aparente de 2.77 y absorción de 1.07%.

Su porcentaje de desgaste es de 15.18 % con la gradación A.

##### **4.3.1.2.2. Agregado Fino**

El agregado extraído de la Cantera Barreto de acuerdo a su granulometría su Módulo de Finura (Mf) es de 2.66 encontrándose entre los límites de acuerdo a la Tabla 02 de la Norma NTP 400.037.2002

Su Contenido de humedad es de 0.57%.

Su Peso unitario suelto seco es de 1768 kg/cm<sup>3</sup> y su Peso unitario compactado seco es de 1902 kg/cm<sup>3</sup>.

El agregado grueso proveniente de la cantera Barreto tiene una gravedad específica de 2.60 gr/cc, densidad relativa de 2.62, densidad relativa aparente de 2.66 y absorción de 0.81%.

#### 4.3.1.2.3. Agua

El agua para la elaboración de los diseños de mezcla será potable, libre de residuos orgánicos esto no constituyo un problema debido a que la fuente de agua e encontraba cerca al lugar donde se realizaron las mezclas de concreto.

#### 4.3.2. Cenizas Volantes de Carbón

Las cenizas volantes de carbón que se añadirán en el diseño de mezcla del concreto son partículas individuales que están en el rango de 1  $\mu\text{m}$  a más de 1mm de tamaño. Las partículas de cenizas volantes apropiadas para ser usadas como puzolana en concreto pasan en su mayoría el tamiz N°325 (45 $\mu\text{m}$ ) con contenidos de humedad presentes menores a 1%. Su composición química es compleja, la mayoría son de naturaleza silícea y de bajo contenido de óxido de calcio, es decir: óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), además de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ).

Existen dos clases comunes en nuestro medio, las de Clase F son normalmente producidas por carbón con alto calor de energía, tales como los carbones bituminosos y antracíticos y raramente contienen más del 15% de óxido de calcio. Las cenizas de Clase C sub-bituminosas típicamente contienen más del 20% de óxido de calcio y tienen propiedades cementantes y puzolánicas.

Las cenizas volantes de carbón, obtenidas de la central termoeléctrica Ilo 21, usadas son del tipo F; producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y carbones bituminosos y cuya suma de óxidos ácidos es mayor al 70%. Según estudios en el 2014, se extrajo una muestra de cenizas volantes de carbón (CV) de la central termoeléctrica Ilo 21 y fue sometida a análisis químicos y arrojó los siguientes resultados:

**Figura 4.5.** Propiedades Químicas de la Ceniza Volante de Carbón

Descripción de muestra	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ceniza volante	54,32	25,36	0,18	0,05	1,18	0,03	1,27	1,93	0,05

**Fuente:** Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda-Arequipa.

### 4.3.3. Diseño de Mezcla de Concreto (Dosificaciones)

En primer lugar, se determinarán las propiedades físicas de los insumos. Luego se elegirá la resistencia, después se obtiene la mejor proporción de agregados para obtener la menor cantidad de vacíos.

Tomando como base el concreto patrón, se realiza el diseño mezclas del concreto con cenizas volantes de carbón. Para finalmente, adoptando como referencia los diseños anteriores se realiza el diseño de mezclas de concreto con las dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de CV.

#### 4.3.3.1. Datos requeridos para el diseño

Para la obtención del diseño de mezclas del concreto patrón, concreto más cenizas volantes de carbón tenemos los siguientes datos requeridos para el diseño:

#### Agregado Grueso:

**Tabla 4.16.** Propiedades Físicas del Agregado Grueso

Peso Específico:	2690 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Seco Compactado:	1708 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Seco Suelto:	1563 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad:	0.55%
Absorción:	1.07%
Módulo de finura:	7.56

*Fuente: Elaboración propia*

**Nota:** el contenido de humedad, fue recalculado cuando se realizaron los diseños de mezcla

**Agregado Fino:**

**Tabla 4.17.** Propiedades Físicas del Agregado Fino

Peso Específico:	2600 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Seco Compactado:	1902 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Seco Suelto:	1768 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad:	0.96%
Absorción:	0.81%
Módulo de finura:	2.66

*Fuente: Elaboración propia*

**Nota:** el contenido de humedad, fue recalculado cuando se realizaron los diseños de mezcla

**4.3.3.2. Diseño de mezcla Patrón**

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, sin Ceniza Volante de Carbón, con consideraciones de un agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal de 1" y relación a/c de 0.55; y con la cantidad de materiales que se muestra en la **Tabla 4.18**.

**Tabla 4.18.** Dosificación del Concreto Patrón

Materiales	Peso Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (50 L)
Cemento Tipo GU	367	0.1244	367	367	18.350
Agua	202	0.2019	205	202	10.230
Agregado Fino	803	0.2987	808	812	40.394
Agregado Grueso	949	0.3651	958	957	47.913
<b>Total</b>	<b>2321</b>	<b>1.0000</b>	<b>2338</b>	<b>2338</b>	<b>116.887</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** La tanda de 50 L, debido a que es el volumen de 8 probetas cilíndricas.

#### 4.3.3.3. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (1.5%)

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 1.5% del peso del Cemento, con consideraciones de un agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal de 1" y relación a/c de 0.55; y con la cantidad de materiales que se muestra en la **Tabla 4.19**.

**Tabla 4.19.** Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (1.5%)

Materiales	Peso Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (50 L)
Cemento Tipo GU	367	0.1244	367	367	18.350
Agua	202	0.2019	205	202	10.230
Agregado Fino	803	0.2987	808	812	40.394
Agregado Grueso	949	0.3651	958	957	47.913
Ceniza Volante de Carbón (1.5% Cemento GU)					0.275
<b>Total</b>	<b>2321</b>	<b>1.0000</b>	<b>2338</b>	<b>2338</b>	<b>117.162</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** La tanda de 50 L, debido a que es el volumen de 8 probetas cilíndricas.

#### 4.3.3.4. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (3%)

Se elaboró un concreto de acuerdo al procedimiento del método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 3% del peso del Cemento, con consideraciones de un agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal de 1" y relación a/c de 0.55; y con la cantidad de materiales que se muestra en la **Tabla 4.20**.

**Tabla 4.20.** Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (3%)

Materiales	Peso Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (50 L)
Cemento Tipo GU	367	0.1244	367	367	18.350
Agua	202	0.2019	205	202	10.230
Agregado Fino	803	0.2987	808	812	40.394
Agregado Grueso	949	0.3651	958	957	47.913
Ceniza Volante de Carbón (3% Cemento GU)					0.551
<b>Total</b>	<b>2321</b>	<b>1.0000</b>	<b>2338</b>	<b>2338</b>	<b>117.438</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** La tanda de 50 L, debido a que es el volumen de 8 probetas cilíndricas.

#### 4.3.3.5. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (4.5%)

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 4.5% del peso del Cemento, con consideraciones de un agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal de 1" y relación a/c de 0.55; y con la cantidad de materiales que se muestra en la **Tabla 4.21**.

**Tabla 4.21.** Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (4.5%)

Materiales	Peso Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (50 L)
Cemento Tipo GU	367	0.1244	367	367	18.350
Agua	202	0.2019	205	202	10.230
Agregado Fino	803	0.2987	808	812	40.394
Agregado Grueso	949	0.3651	958	957	47.913
Ceniza Volante de Carbón (4.5% Cemento GU)					0.826
<b>Total</b>	<b>2321</b>	<b>1.0000</b>	<b>2338</b>	<b>2338</b>	<b>117.713</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** La tanda de 50 L, debido a que es el volumen de 8 probetas cilíndricas.

#### 4.3.3.6. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (6%)

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 6% del peso del Cemento, con consideraciones de un agregado grueso de Tamaño Máximo Nominal de 1" y relación a/c de 0.55; y con la cantidad de materiales que se muestra en la **Tabla 4.22**.

**Tabla 4.22.** Dosificación del Concreto Patrón + Ceniza Volante de Carbón (6%)

Materiales	Peso Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (50 L)
Cemento Tipo GU	367	0.1244	367	367	18.350
Agua	202	0.2019	205	202	10.230
Agregado Fino	803	0.2987	808	812	40.394
Agregado Grueso	949	0.3651	958	957	47.913
Ceniza Volante de Carbón (6% Cemento GU)					1.101
<b>Total</b>	<b>2321</b>	<b>1.0000</b>	<b>2338</b>	<b>2338</b>	<b>117.988</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** La tanda de 50 L, debido a que es el volumen de 8 probetas cilíndricas

#### 4.4. Elaboración de Probetas: Muestras Cilíndricas

En esta parte del desarrollo de la tesis, se elaboraron un total de 40 probetas cilíndricas según la NTP 339.034, como dimensiones de 15 cm x 30 cm.

Las probetas cilíndricas fueron elaboradas de acuerdo a nuestro diseño de mezcla, el cual fue calculado según la norma ACI 211. Luego de realizadas se desencofraron en 24 horas y puestas a curar en una piscina del laboratorio de la Universidad Privada del Norte a una temperatura ambiente. El tiempo de curado al que fueron expuestas las probetas fue de 3, 7 y 28 días.

El procedimiento utilizado para la elaboración de las probetas fue el siguiente: Verte los materiales necesarios al trompo para su mezclado, luego de esto se procede a realizar el vaciado en 3 capas a las

probetas cilíndricas, en cada capa se dio 25 golpes con una varilla para que así el concreto fresco se acomode y no deje espacios vacíos.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se dejó curar a diferentes edades de 3, 7 y 28 días, para realizar el análisis de las resistencias.

Para el ensayo de permeabilidad se debe dejar curar un mínimo 28 de días antes de realizar el ensayo.

En las **Tablas 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27** se tienen las fechas de elaboración de las probetas curadas, se tienen las edades de curado de las probetas cuando se realizó los ensayos de resistencia a la compresión y de profundidad de penetración de agua bajo presión.

**Tabla 4.23.** Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas Patrón

Fechas de Elaboración y Desencofrado de Probeta Patrón								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	MP1-3d	MP2-3d	MP1-7d	MP2-7d	MP1-28d	MP2-28d	MP3-28d	MP4-28d
Elaboración	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016	09/11/2016
Desencofrado	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016
Ensayo a la Compresión	12/11/2016	12/11/2016	16/11/2016	16/11/2016	07/12/2016	07/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4.24.** Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 1.5% CV

+Fechas de Elaboración y Desencofrado de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (1.5%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M1.5%1-3d	M1.5%2-3d	M1.5%1-7d	M1.5%2-7d	M1.5%1-28d	M1.5%2-28d	M1.5%3-28d	M1.5%4-28d
Elaboración	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016
Desencofrado	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016
Ensayo a la Compresión	13/11/2016	13/11/2016	17/11/2016	17/11/2016	08/12/2016	08/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4.25.** Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 3% CV

Fechas de Elaboración y Desencofrado de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (3%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M3%1-3d	M3%2-3d	M3%1-7d	M3%2-7d	M3%1-28d	M3%2-28d	M3%3-28d	M3%4-28d
Elaboración	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016
Desencofrado	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016
Ensayo a la Compresión	14/11/2016	14/11/2016	18/11/2016	18/11/2016	09/12/2016	09/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

Fechas de Elaboración y Desencofrado de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (4.5%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M4.5%1-3d	M4.5%2-3d	M4.5%1-7d	M4.5%2-7d	M4.5%1-28d	M4.5%2-28d	M4.5%3-28d	M4.5%4-28d
Elaboración	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016
Desencofrado	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016
Ensayo a la Compresión	15/11/2016	15/11/2016	19/11/2016	19/11/2016	10/12/2016	10/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	27/02/2017	27/02/2017

**Tabla 4.26.** Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 4.5% CV

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4.27.** Elaboración, Desencofrado y Curado de Probetas + 6% CV

Fechas de Elaboración y Desencofrado de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (6%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M6%1-3d	M6%2-3d	M6%1-7d	M6%2-7d	M6%1-28d	M6%2-28d	M6%3-28d	M6%4-28d
Elaboración	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016
Desencofrado	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016
Ensayo a la Compresión	16/11/2016	16/11/2016	20/11/2016	20/11/2016	11/12/2016	11/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	27/02/2017	27/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

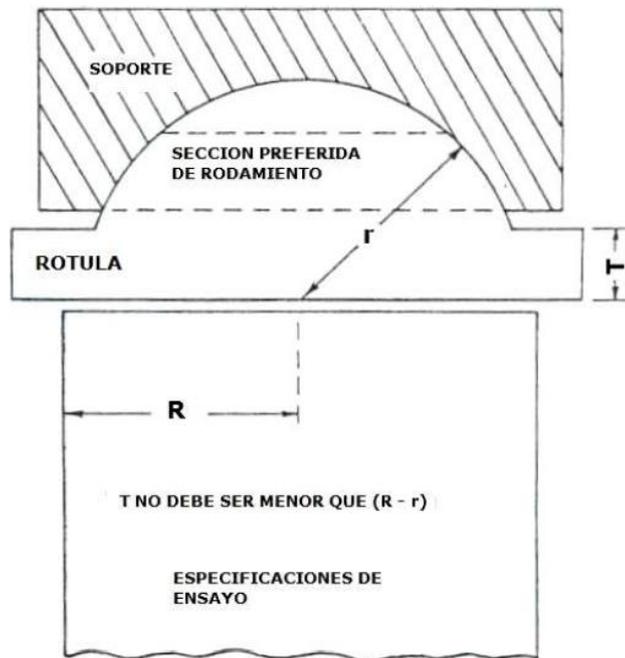
## 4.5. Ensayo de la Resistencia a la Compresión

### 4.5.1. Carga

A continuación, se explica la colocación de la carga sobre las probetas cilíndricas, y la dinámica del ensayo:

- La máquina de ensayo aplicó una carga a velocidad continua y sin detenimientos de  $(0.25 \pm 0.05)$  MPa/s sobre la cara plana de la probeta.
- El ensayo acabo cuando la probeta comienza a mostrar algún tipo de fractura en ella.
- La carga máxima se registró en la pantalla de la máquina de ensayo de resistencia a la compresión y luego se anotó como dato.

**Figura 4.6.** Disposición de la Carga durante el Ensayo



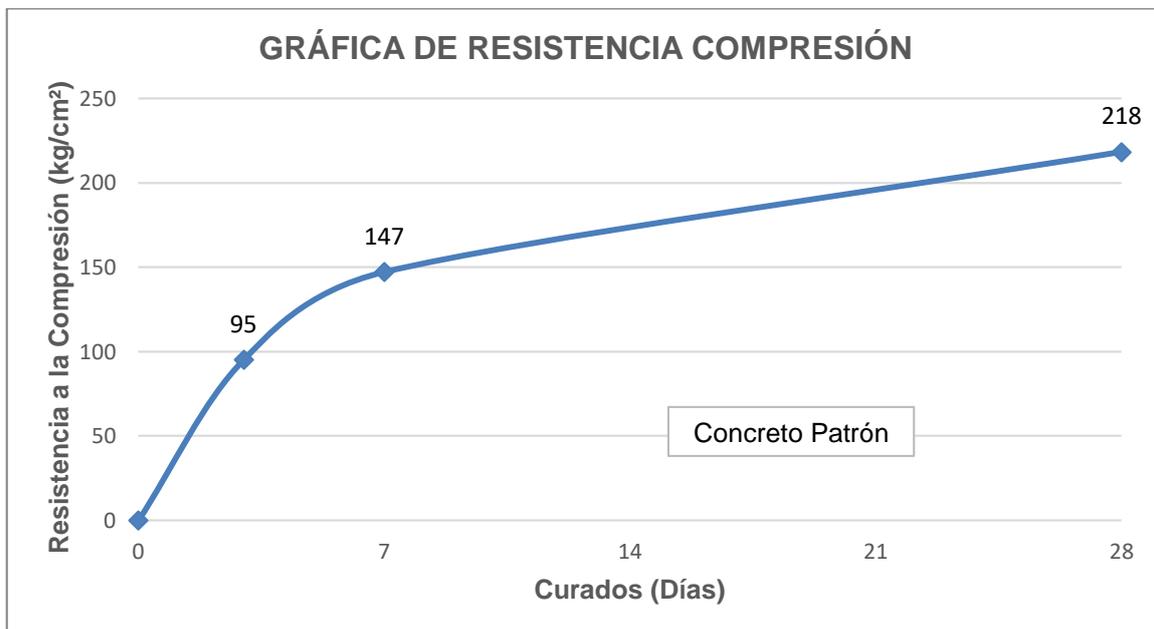
**Fuente:** NTP 339.034

#### 4.5.2. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 30cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la carga máxima y la fractura total al cabo de 3, 7 y 28 días. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.6**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la carga sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó a aplicar la carga a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta comenzó a mostrar fisuras y la carga a descender.

En la **Figura 4.7**, muestra la carga máxima promedio alcanzada, en un concreto patrón, para cada edad de curado, a los 3 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 95 kg/cm<sup>2</sup>, para los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 147 kg/cm<sup>2</sup> mientras que a los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 218 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 4.7.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón



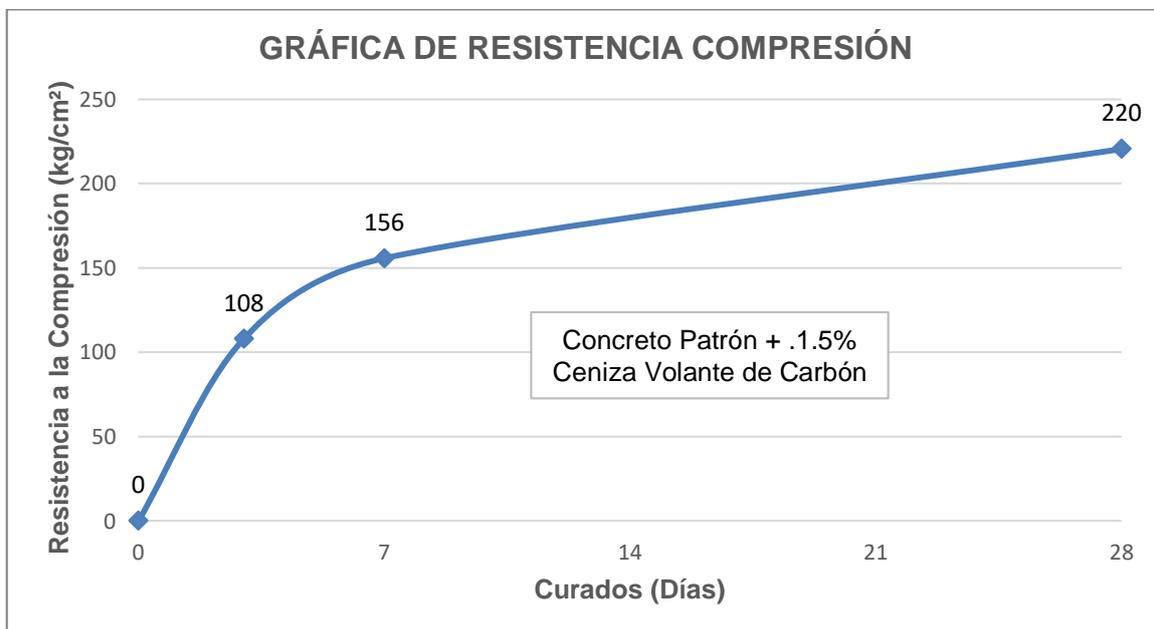
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.5.3. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 1.5% C.V.C

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 30cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la carga máxima y la fractura total al cabo de 3, 7 y 28 días. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.6**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la carga sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó a aplicar la carga a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta comenzó a mostrar fisuras y la carga a descender.

En la **Figura 4.8**, muestra la carga máxima promedio alcanzada, en un concreto adicionado con 1.5% de ceniza volante, para cada edad de curado; a los 3 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 108 kg/cm<sup>2</sup>, para los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 156 kg/cm<sup>2</sup> mientras que a los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 220 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 4.8.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 1.5% CVC



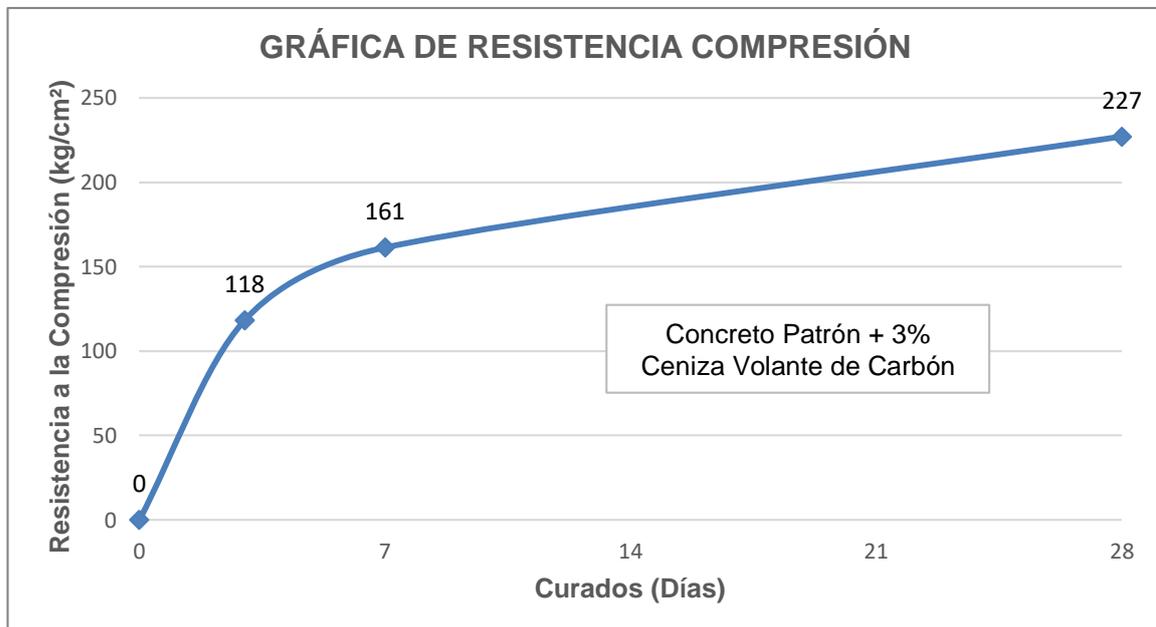
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.5.4. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 3% C.V.C

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 30cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la carga máxima y la fractura total al cabo de 3, 7 y 28 días. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.6**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la carga sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó a aplicar la carga a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta comenzó a mostrar fisuras y la carga a descender.

En la **Figura 4.9**, muestra la carga máxima promedio alcanzada, en un concreto adicionado con 3% de ceniza volante, para cada edad de curado; a los 3 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 118 kg/cm<sup>2</sup>, para los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 161 kg/cm<sup>2</sup> mientras que a los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 227 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 4.9.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 3% CVC



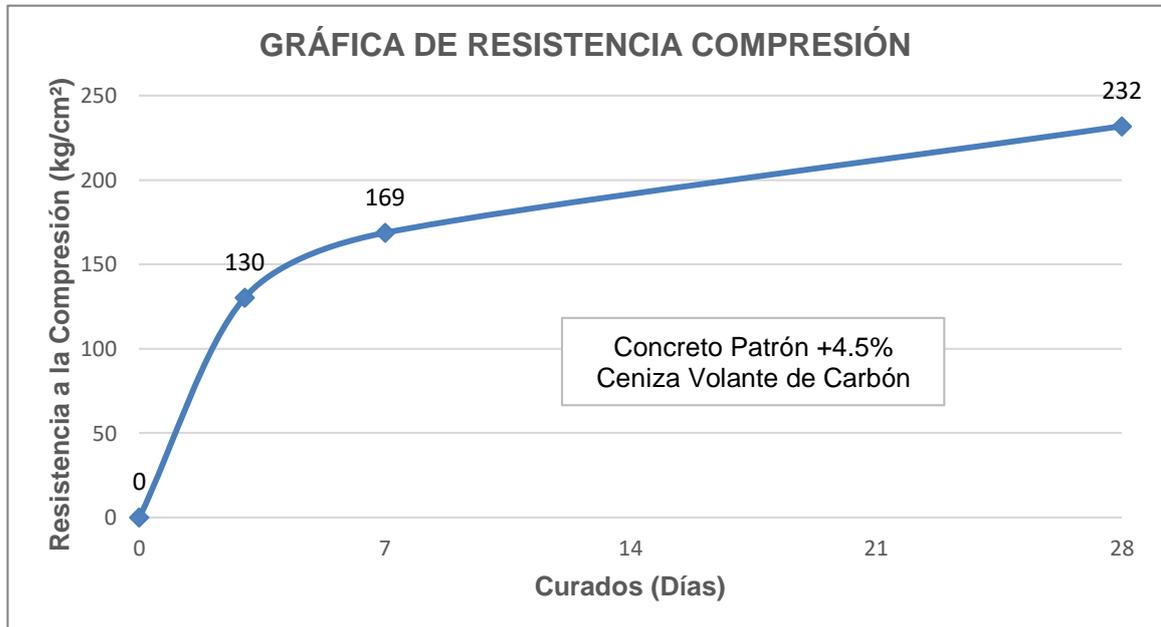
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.5.5. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 4.5% C.V.C

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 30cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la carga máxima y la fractura total al cabo de 3, 7 y 28 días. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.6**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la carga sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó a aplicar la carga a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta comenzó a mostrar fisuras y la carga a descender.

En la **Figura 4.10**, muestra la carga máxima promedio alcanzada, en un concreto adicionado con 4.5% de ceniza volante, para cada edad de curado; a los 3 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 130 kg/cm<sup>2</sup>, para los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 169 kg/cm<sup>2</sup> mientras que a los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 232 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 4.10.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 4.5% CVC



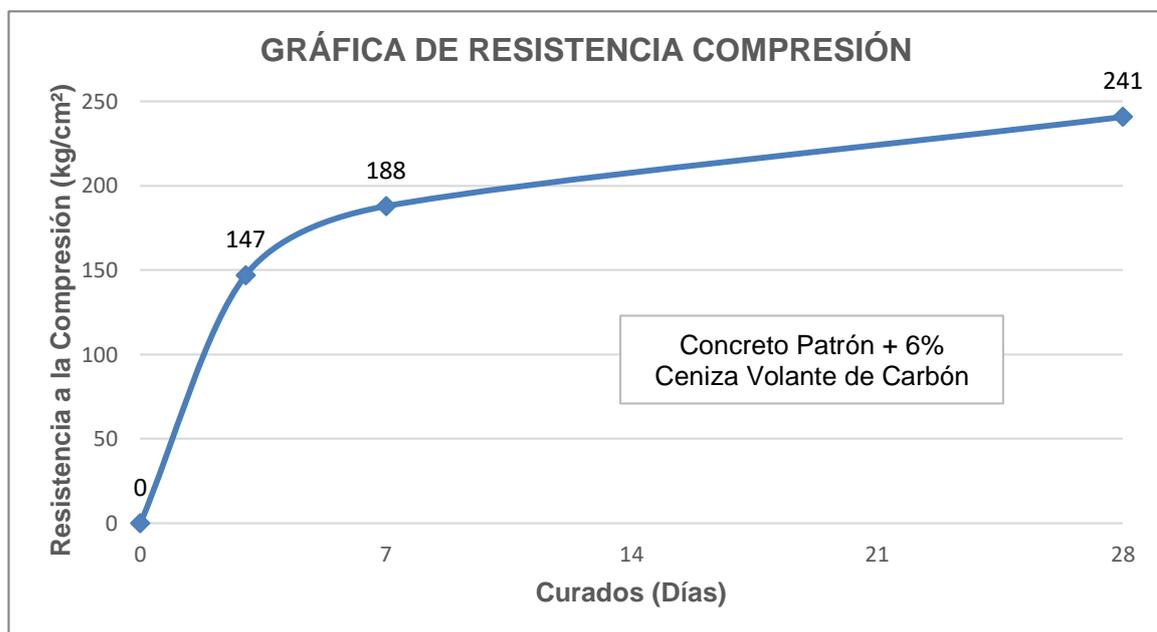
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.5.6. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 6% C.V.C

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 30cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la carga máxima y la fractura total al cabo de 3, 7 y 28 días. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.6**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la carga sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó a aplicar la carga a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta comenzó a mostrar fisuras y la carga a descender.

En la **Figura 4.11**, muestra la carga máxima promedio alcanzada, en un concreto adicionado con 6% de ceniza volante, para cada edad de curado; a los 3 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 147 kg/cm<sup>2</sup>, para los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 188 kg/cm<sup>2</sup> mientras que a los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 241 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 4.11.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón + 6% CVC



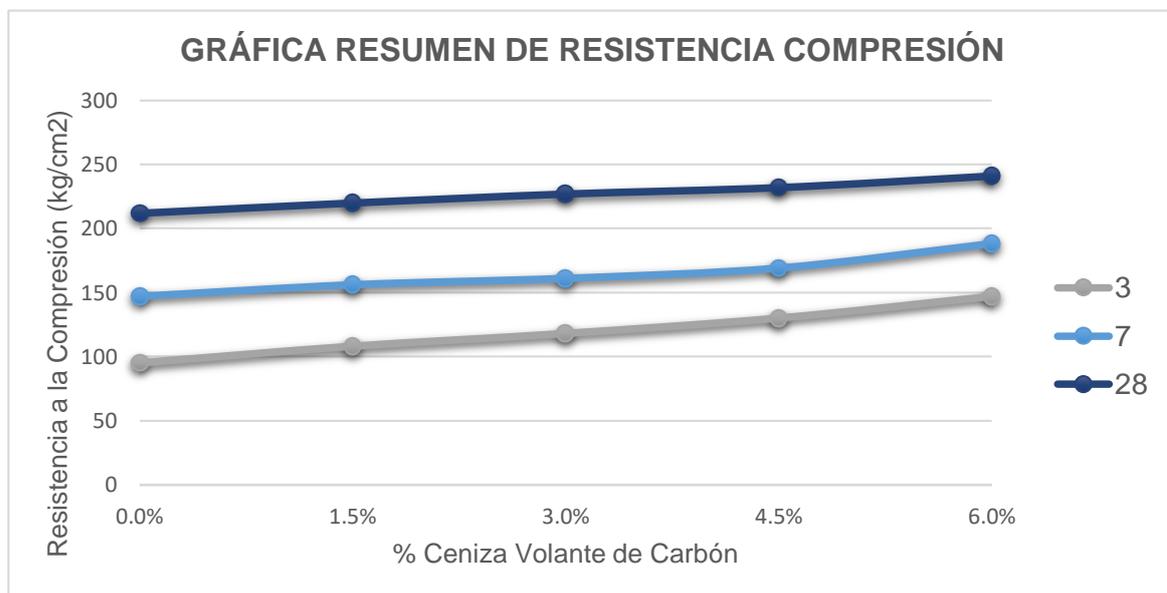
*Fuente: Elaboración Propia*

Después de los resultados expuestos es posible apreciar la mayor capacidad de soporte de carga que otorga el refuerzo con la ceniza volante de carbón. Este tipo adición trae como efecto el aumento de la resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta las consecuencias sobre la resistencia a la compresión del concreto, se muestra que existen diferencias en las cargas máximas soportadas de los concretos adicionados respecto a los del concreto patrón. El incremento en la resistencia con las adiciones de cenizas volantes de carbón se nota claramente comparando los valores obtenidos. Por lo tanto, a mayor capacidad de soporte de carga, mayor prestación del concreto para requerimientos de la resistencia a la compresión.

La incorporación de cenizas volantes de carbón en las proporciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% aumentó la **resistencia a la compresión** del concreto, es decir la estructura, puede soportar mayor carga incluso para la que fue diseñada. Desde esta perspectiva el uso de cenizas aparece como una buena opción de adición en el concreto para aumentar la resistencia a la compresión de este.

**Figura 4.12.** Resumen de Resistencia a la Compresión del Concreto



**Fuente:** Elaboración Propia

En la **Figura 4.12**, se muestra el resumen de los datos obtenidos en función al porcentaje de ceniza volante de carbón y según el número de días transcurridos; donde se trazan los valores máximos de la resistencia a la compresión. El porcentaje óptimo está dentro del rango aproximado del 1.5% al 6% de contenido de ceniza volante de carbón, donde al ser incorporados a la mezcla generan un aumento considerable en la resistencia del concreto.

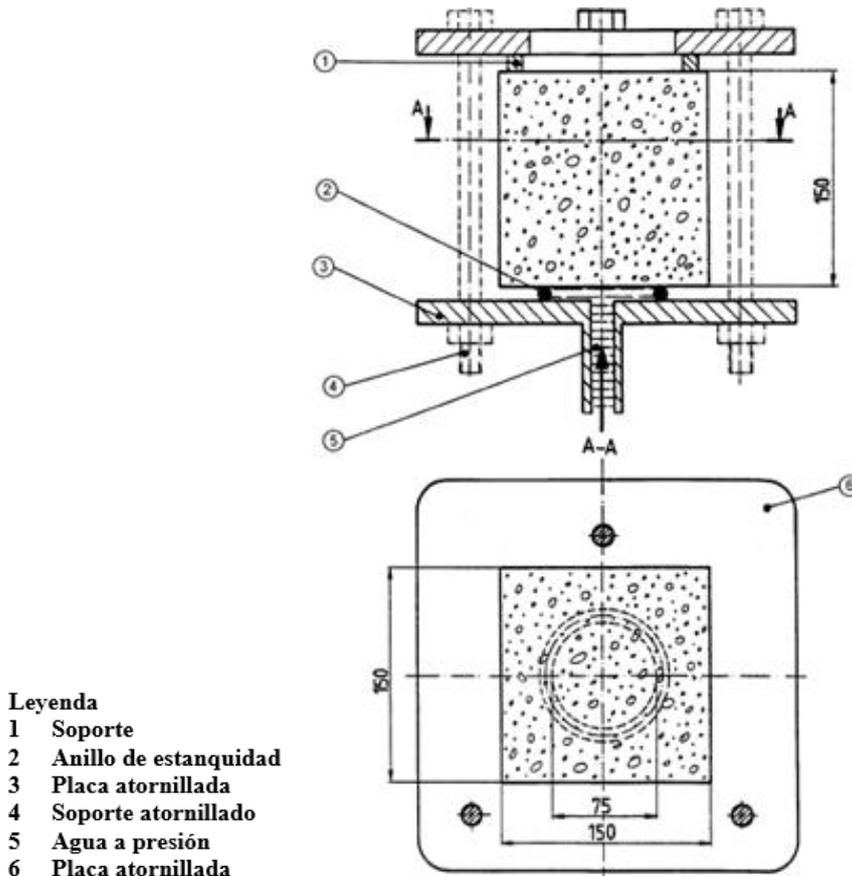
## 4.6. Ensayo de la Permeabilidad

### 4.6.1. Presión

A continuación, se explica la colocación de las probetas cilíndricas para ser sometidas a presión, y la dinámica del ensayo:

- La máquina de ensayo ejerció una presión de agua de 5 bar o  $500 \pm 50$  kPa durante  $72 \pm 2$  horas, la cual estuvo controlada periódicamente para mantener la presión inicial.
- El ensayo acabo cuando la probeta cumple el tiempo indicado en la norma ( $72 \pm 2$  horas).
- La profundidad de penetración máxima se registró al momento de retirar las probetas y ensayarlas a tracción indirecta para poder visualizar claramente la medida de penetración.

**Figura 4.13.** Disposición de la Presión durante el Ensayo



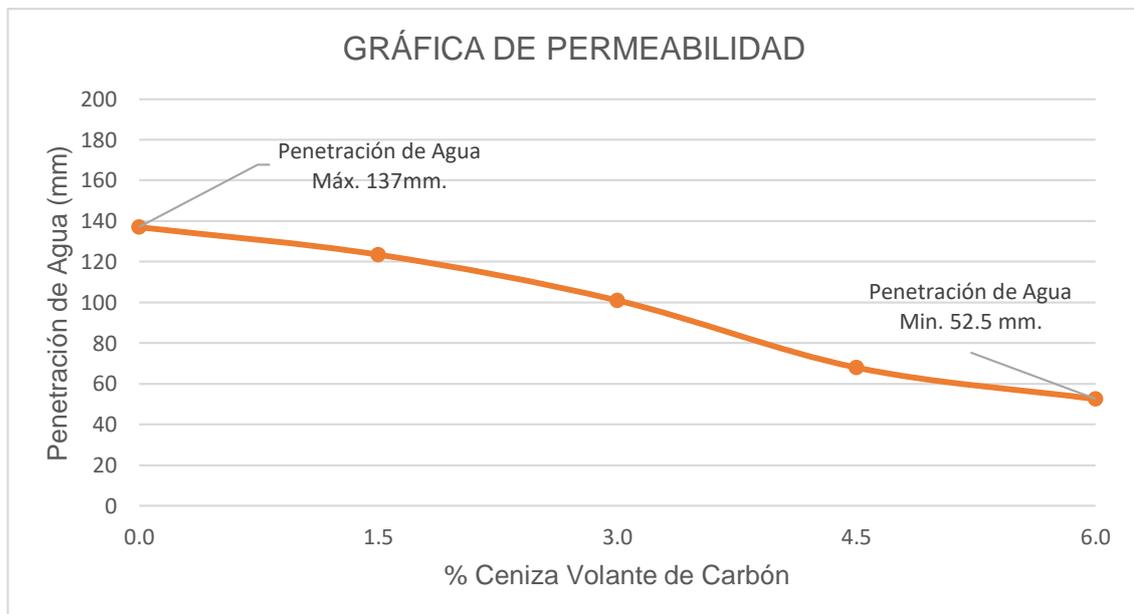
*Fuente: UNE-EN 12390-8*

#### 4.6.2. Profundidad de Penetración de Agua Bajo Presión

El ensayo se llevó a cabo sobre probetas: muestras cilíndricas de 15cm x 15cm. Se ensayaron 02 probetas con el fin de obtener la profundidad de penetración de agua. La probeta cilíndrica se colocó de forma vertical en la máquina de ensayo acorde de la **Figura 4.13**, previamente se alineo la probeta para que reciba de forma uniforme la presión de agua sobre su base plana. La máquina de ensayo comenzó aplicar la presión de agua a una velocidad constante e ininterrumpida. La toma de datos se dio cuando la probeta cumplió su tiempo mínimo expuesto.

En la **Figura 4.14**, muestra la profundidad de penetración de agua máxima y mínima alcanzada, en un concreto patrón sin adición se obtuvo una profundidad de penetración de agua de 137mm mientras que para un concreto patrón adicionado con cenizas volantes se obtuvo: para una adición de 1.5% CVC se tiene una profundidad de penetración de 123.5mm, con 3% CVC se tiene una profundidad de penetración de 101mm, con 4.5% CVC se tiene una profundidad de penetración de 68mm mientras que con 6% CVC se tiene una profundidad de penetración de 52.5mm.

**Figura 4.14.** Profundidad de Penetración de Agua



**Fuente:** Elaboración Propia

Luego de los resultados expuestos es posible apreciar la disminución de la penetración de agua en un concreto que ha sido reforzado con la ceniza volante de carbón. Este tipo de adición en la mezcla de concreto trae como resultado la baja permeabilidad en los concretos.

Tomando en cuenta las consecuencias que se generan en la permeabilidad del concreto, se expone que existen diferencias en los valores de las profundidades de penetración de agua en los concretos adicionados respecto a los del concreto patrón. Esta notable disminución de la permeabilidad en el concreto adicionado con cenizas volantes de carbón se aprecia comparando los resultados obtenidos. Por lo tanto, a menor penetración de agua, mayor prestación del concreto para requerimientos de baja permeabilidad.

La adición de cenizas volantes de carbón en la mezcla, en proporciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% disminuyó la permeabilidad del concreto, es decir puede bloquear la penetración de agua en su interior. Desde esa perspectiva el uso de cenizas volantes de carbón aparece como una buena opción de adición en el concreto para disminuir la permeabilidad en este.

**Tabla 4.28.** Comparación de Resultado de Permeabilidad

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD										
PROBETAS	CONCRETO PATRÓN		CONCRETO + 1.5% CVC		CONCRETO + 3% CVC		CONCRETO + 4.5% CVC		CONCRETO + 6% CVC	
Permeabilidad (mm)	136	138	121	126	103	99	67	69	49	56
Promedio (mm)	137		123.5		101		68		52.5	

*Fuente: Elaboración Propia*

En la **Tabla 4.28**, se resumen los datos obtenidos luego del ensayo de permeabilidad, para cada tipo de concreto. Los resultados de la permeabilidad se obtuvieron a partir de la profundidad de penetración de agua que se dio en los concretos ensayados.

## **CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN**

### **5.1. Análisis de los Resultados Obtenidos**

#### **Selección de la Cantera**

La clasificación y selección de la cantera Barreto, se realizó teniendo en cuenta principalmente la producción de agregado, así como su disposición de transporte y extracción. Entre las canteras de la zona, la cantera Barreto cuenta con personal calificado para proporcionar los datos requeridos y necesarios, también cuenta con una razón social establecida. Para proceder con los Ensayos de Laboratorio se extrajeron muestras, conforme a la Norma NTP 400.010, 2 m<sup>3</sup> de arena gruesa y 2 m<sup>3</sup> de agregado grueso de 3/4". Luego de ensayar los agregados acordes a las Normas Técnicas Peruanas y analizar los resultados obtenidos, se puede decir que la Cantera Barreto tiene agregados que cumplen los requisitos para elaborar nuestro diseño y por ende fueron aptos para realizar nuestras probetas.

#### **Ensayos de los Agregados**

##### **Contenido de Humedad**

Para determinar el contenido de humedad en el agregado grueso, se tomó una muestra de 3 kg. Luego de ensayar la muestra seleccionada se obtuvo un resultado de 0.60%. En cuanto al agregado fino, para determinar su contenido de humedad, se tomó una muestra 1 kg, el cual al ser ensayado se obtuvo un resultado de 0.57%. Para nuestro diseño de mezcla se ajustaron los valores obtenidos. En cuanto a la conservación del agregado, se procedió a guardarlo en baldes y sacos para que mantengan su contenido de humedad.

##### **Análisis Granulométrico**

Los ensayos realizados al agregado grueso proveniente de la cantera Barreto, arrojan una curva que se encuentra dentro de los límites mínimos establecidos en la NTP 400.037:2014, el cual se usará para la elaboración de las muestras: probetas cilíndricas. Los resultados arrojan un M<sub>f</sub> de 7.56, el cual se encuentra dentro de 6.95 y 7.60 el rango establecido en la norma.

Los ensayos realizados al agregado fino proveniente de la cantera Barreto, arrojan una curva que se encuentra dentro los límites máximos y mínimos de la NTP 400.037:2014, pese a que la curva sale ligeramente del límite mínimo, en los puntos de la malla N°3/8" y N°4, se usa para la elaboración de las muestras: probetas cilíndricas. Los resultados arrojan un M<sub>f</sub> de 2.66, el cual se encuentra dentro de 1.18 y 3.71 el rango establecido en la norma.

### **Peso Unitario**

Para el agregado grueso proveniente de la cantera Barreto se obtuvo el valor de 1563 kg/m<sup>3</sup>, para Promedio Peso Unitario Suelto Seco (PUSS) y el valor de 1708 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Compactado Seco (PUCS), luego de realizar el ensayo de acuerdo a la norma de Peso Unitario NTP 400.017.2011. Estos valores serán los que utilizaremos para el diseño de mezcla.

Para el agregado fino proveniente de la cantera Barreto se obtuvo el valor de 1768 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Suelto Seco (PUSS) y el valor de 1902 kg/m<sup>3</sup> para Promedio Peso Unitario Compactado Seco (PUCS), luego de realizar el ensayo de acuerdo a la norma de Peso Unitario NTP 400.017.2011. Estos valores los utilizaremos para el diseño de mezcla.

### **Peso Específico**

De acuerdo a los ensayos realizados al agregado fino proveniente de la cantera Barreto, se obtuvo una gravedad específica de 2.60 gr/cc, densidad relativa de 2.62, densidad relativa aparente de 2.66 y absorción de 0.81%.

De acuerdo a los ensayos realizados al agregado grueso proveniente de la cantera Barreto, se obtuvo una gravedad específica de 2.69 gr/cc, densidad relativa de 2.72, densidad relativa aparente de 2.77 y absorción de 1.07%.

Luego de analizar los resultados obtenidos y verificar que se encuentran dentro de los rangos establecidos y según los requerimientos en la parte de diseño de mezcla de concreto, serán tomados para hallar las cantidades de agregado.

### **Desgaste por Abrasión Los Ángeles**

El porcentaje de desgaste que se obtuvo es de 15.18%, luego de que se realizó el ensayo a las muestras de agregado grueso. Para las pruebas se usó la gradación "A" (agregados menores de 1 1/2."), utilizando una masa de 5 kg y 12 esferas.

Analizando el resultado podemos concluir que este agregado tiene buena resistencia al desgaste por abrasión.

### **Diseño de Mezcla de Concreto**

Con el diseño de mezcla patrón se ha logrado obtener un concreto de acuerdo al procedimiento del método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para una tanda de 50 L:

Cemento GU: 18.35 kg

Agua: 10.23 kg

Agregado Grueso: 47.91 kg

Agregado Fino: 40.39 kg

Ceniza Volante de Carbón (1.5%): 0.275 kg

Ceniza Volante de Carbón (3%): 0.551 kg

Ceniza Volante de Carbón (4.5%): 0.826 kg

Ceniza Volante de Carbón (6%): 1.101 kg

### **Elaboración de Muestras: Probetas Cilíndricas**

Las probetas cilíndricas se elaboraron según la NTP 339.034 y se utilizaron tanto para los ensayos de resistencia a la compresión como para las pruebas de permeabilidad. Las medidas de las probetas cilíndricas fueron de 15cm x 30cm, sin embargo, para el ensayo de permeabilidad se adaptaron las probetas a la medida de 15cm x 15cm. El método usado fue: Verter la mezcla del trompo en capas, hacia las probetas y dar unos 25 golpes con la varilla por cada una de ellas hasta lograr que el concreto fresco se acomode a los espacios dentro del molde. Se obtuvieron 40 probetas cilíndricas, que fueron curados en una piscina del laboratorio de la Universidad Privada del Norte hasta realizar los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad.

### **Ensayo de Resistencia a la Compresión**

La valoración de los resultados se realizó tomando la carga máxima soportada para luego despejarla y hallar la resistencia a la compresión ( $f_c$ ).

Para una edad de curado de 3 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de 95 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de 108 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de 118 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de 130 kg/cm<sup>2</sup> y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de 147 kg/cm<sup>2</sup>.

Para una edad de curado de 7 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de  $147 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de  $156 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de  $161 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de  $169 \text{ kg/cm}^2$  y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de  $188 \text{ kg/cm}^2$ .

Para una edad de curado de 28 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de  $218 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de  $220 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de  $227 \text{ kg/cm}^2$ , para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de  $232 \text{ kg/cm}^2$  y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de  $241 \text{ kg/cm}^2$ .

Como podemos analizar en los resultados a los 3, 7 y 28 días las probetas de concreto con contenido entre el 1.5% y 6% de ceniza volante de carbón alcanzan mayores resistencias, por lo tanto, las cenizas volantes pueden contribuir a mejorar la resistencia a la compresión del concreto a edades tan tempranas como los 28 días, dándole la calidad requerida. Del mismo modo es viable diseñar mezclas con adiciones de ceniza volante de carbón con las mismas resistencias especificadas con la seguridad que a edades mayores a los 28 días su incremento resistente será mayor que los concretos normales. Con esta investigación podemos corroborar esta afirmación, ya que, en todas las dosificaciones realizadas, a medida que aumente la edad de curado del concreto, aumenta también la resistencia en él. Desde otro punto, podemos decir que los concretos que incorporan este tipo de residuo logran excelente propiedades mecánicas y mayor durabilidad por su resistencia a los agresivos ácidos y a la reacción árido-álcali; sin embargo, es necesario tener en cuenta que la reacción de hidratación de la ceniza volante es más lenta que la del cemento Portland, por ello, se obtiene mejores resistencias, pero en periodos de tiempo más largos.

Por lo tanto, la resistencia a la compresión se define como la capacidad de soporte de carga por unidad de área, entonces cuando la resistencia a la compresión en una estructura es alta ayuda a que este soporte la máxima carga antes de colapsar. Incorporado a esto la ceniza volante reduce la generación de calor de hidratación, aumenta la resistencia a la acción de los sulfatos y aparte se obtiene un producto sustentable ya que es un desecho industrial contaminante.

## Ensayo de Permeabilidad

La valoración de la permeabilidad se realizó midiendo la profundidad de penetración de agua que se dio en las probetas ensayadas: Para el Concreto Patrón se obtiene una profundidad de penetración de agua promedio de 137mm, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una profundidad promedio de 123.5mm, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una profundidad de penetración promedio de 101mm, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una profundidad de penetración de agua promedio 68mm y finalmente para el Concreto + 6%CVC se obtiene una penetración promedio de 52.5mm.

Luego de analizar los resultados de las probetas de concreto con contenido de ceniza volante de carbón disminuyen la permeabilidad en él, por lo tanto, las cenizas volantes pueden contribuir a mejorar la durabilidad del concreto a través de la impermeabilidad. Es por esto que es factible diseñar mezclas con adiciones de ceniza volante de carbón con la seguridad de que se obtendrán concretos impermeables o de baja permeabilidad. Esta afirmación es corroborada por la presente investigación, ya que, en todas las dosificaciones realizadas, a medida que aumenta el porcentaje de ceniza volante de carbón disminuye el nivel de penetración de agua.

El uso de grandes volúmenes de ceniza volante de carbón aumenta la impermeabilidad en el concreto, esto se debe a que las partículas finas de las cenizas volantes se alojan en los espacios entre las partículas de cemento lo que consecuentemente también incrementa la durabilidad en el concreto. Desde esa perspectiva el uso de cenizas volantes de carbón, muy aparte de ser un desecho industrial contaminante, aparece como una buena opción de adición en el concreto para disminuir la permeabilidad en él y considerarse un producto sostenible.

## 5.2. Análisis Comparativos de Costos Unitarios

A continuación, presentamos los análisis de costo unitarios, considerando material para un 1m<sup>3</sup> de concreto patrón y concreto con cenizas volantes de carbón. En los anexos 36, 37, 38, 39, 40 y 41 presentamos en detalle los análisis de costos unitarios. El cual se puede resumir en lo siguiente:

Costo por 1m<sup>3</sup> de:

- Concreto Patrón: S/. 293.97
- Concreto Patrón + 1.5% CVC: S/. 306.74
- Concreto Patrón + 3% CVC: S/. 319.50
- Concreto Patrón + 4.5% CVC: S/. 332.26
- Concreto Patrón + 6% CVC: S/. 345.01

Como se puede apreciar los costos del concreto con dosificaciones de ceniza volante de carbón de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% exceden en 4.34%, 8.69%, 13.03% y 17.36% respectivamente al costo del concreto patrón. Sin embargo, el exceso que se genera se debe al costo de transporte de la ceniza volante de carbón y no directamente al costo del insumo, ya que este es considerado un desecho industrial y no genera costo adquirirlo.

Por otro lado, se puede analizar que la diferencia que existe en los costos de producción de los concretos adicionados es mínima y sin embargo puede afectar de manera positiva sobre algunas de las propiedades del concreto endurecido. Así mismo podemos reutilizar un desecho industrial para contribuir con el medio ambiente y producir concretos sostenibles.

Del mismo modo la ceniza volante de carbón puede utilizarse para todo tipo de estructuras que requieran aumentar la resistencia a la compresión o generar concretos impermeables. Tales sea su uso en:

- Losas Industriales.
- Losas de pavimentos.
- Obras de arte, drenajes y badenes en carreteras.
- Tanques de aguas industriales, tanques elevados y reservorios.
- Canales de irrigación y represas.
- Zapatas, cimientos, sobre cimientos y muros.
- Puentes y pilotes.

## CONCLUSIONES

- Se aumentó la resistencia a la compresión y disminuyó la permeabilidad en el concreto patrón añadiendo dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de ceniza volante de carbón. Por lo tanto, a mayor capacidad de soporte de cargar, mayor prestación del concreto para requerimientos de resistencia a la compresión; por otro lado, a menor penetración de agua en el concreto, mayor prestación de concretos de baja permeabilidad.
- Al analizar la adición de cenizas volantes de carbón en la mezcla se observó el aumento que se genera en la resistencia a la compresión en función a las dosificaciones y al tiempo de curado.
- Al analizar la adición de cenizas volantes de carbón en la mezcla se observó la disminución de penetración de agua que se genera en el ensayo de permeabilidad en función a las dosificaciones aplicadas.
- Se realizó un diseño de concreto de acuerdo al procedimiento del método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para una tanda de 50 L (Volumen equivalente para 8 Probetas Cilíndricas):

Cemento GU: 18.35 kg

Agua: 10.23 kg

Agregado Grueso: 47.91 kg

Agregado Fino: 40.39 kg

Ceniza Volante de Carbón (1.5%): 0.275 kg

Ceniza Volante de Carbón (3%): 0.551 kg

Ceniza Volante de Carbón (4.5%): 0.826 kg

Ceniza Volante de Carbón (6%): 1.101 kg

- La aplicación de las cenizas volantes de carbón en los concretos se dio en 4 diferentes dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6%. Se desarrolló el ensayo de resistencia a la compresión en 30 probetas cilíndricas de 15cm x 30cm. La muestra se sometió a una carga constante hasta llegar al colapso, luego se procedió con la toma de datos y se halló las resistencias máximas. Del mismo modo, se desarrolló el ensayo de permeabilidad en un total de 10 probetas cilíndricas de 15cm x 15cm. La muestra fue sometida a una presión constante de 5 bar por un período de 72 horas, luego se procedió a la rotura y a la toma de la profundidad máxima de penetración de agua.

- Los datos obtenidos se resumen en la **Figura 4.12**, donde se muestran las curvas de crecimiento de la resistencia a la compresión, en función a los días de curado y a las dosificaciones añadidas. Para una edad de curado de 3 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de 95 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de 108 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de 118 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de 130 kg/cm<sup>2</sup> y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de 147 kg/cm<sup>2</sup>. Para una edad de curado de 7 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de 147 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de 156 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de 161 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de 169 kg/cm<sup>2</sup> y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de 188 kg/cm<sup>2</sup>. Para una edad de curado de 28 días: el Concreto Patrón obtiene una resistencia a la compresión promedio de 218 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una resistencia promedio de 220 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una resistencia de 227 kg/cm<sup>2</sup>, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una resistencia de 232 kg/cm<sup>2</sup> y para el Concreto + 6%CVC se obtiene una resistencia a la compresión promedio de 241 kg/cm<sup>2</sup>.
- Los datos obtenidos se resumen en la **Figura 4.14**, donde se muestra la curva de disminución de la permeabilidad en el concreto, en función a las dosificaciones de ceniza volante de carbón añadidas. Para el Concreto Patrón se obtiene una profundidad de penetración de agua promedio de 137mm, para el Concreto + 1.5%CVC se obtiene una profundidad promedio de 123.5mm, para el Concreto + 3%CVC se obtiene una profundidad de penetración promedio de 101mm, para el Concreto + 4.5%CVC se obtiene una profundidad de penetración de agua promedio 68mm y finalmente para el Concreto + 6%CVC se obtiene una penetración promedio de 52.5mm.
- La incorporación de ceniza volante de carbón para influenciar en la resistencia a la compresión de un concreto requiere de una dosificación que se encuentra entre el 1.5% y 6%, para generar un aumento significativo, lo que quiere decir que una estructura puede resistir mucha más carga para la que fue diseñada antes del colapso. En cuanto a la permeabilidad la dosificación óptima está por encima del 6%, sin embargo, las dosificaciones utilizadas fueron de gran incidencia, ya que genera una disminución considerable en la permeabilidad de un concreto.

## RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones científicas se recomienda evaluar dosificaciones mayores al 6% de ceniza volante de carbón y conseguir elaborar concretos impermeables que se encuentren por debajo de los 30mm de penetración de agua.
- Se podría recomendar para próximas investigaciones, considerar para las mezclas de concreto con cenizas volantes de carbón una edad de diseño mayor a los 28 días, ya que este tipo de adición se activan en su totalidad a mayores edades de curado.
- Así mismo, se propone experimentar la acción de la ceniza volante como reemplazo del cemento en dosificaciones y así optimizar la reutilización de este desecho industrial, reduciendo costos.
- Para próximas investigaciones se propone utilizar las cenizas volantes de carbón y evaluar nuevas propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, tales como la trabajabilidad, densidad y la durabilidad.
- Se recomienda su aplicación para losas industriales, losa de pavimentos, obras de arte y drenajes en carretas, badenes, tanques de aguas industriales, reservorios, canales y uso en general en obras que requieran baja permeabilidad.

## REFERENCIAS

1. AENOR (2001) Norma UNE-EN 12390-8. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión. Madrid, España.
2. Artículo 29 – Ministerio de Fomento. (2011) “Aditivos”. Comisión Permanente del Hormigón del Reino de España.  
<http://www.fomento.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0535>.
3. Camacho, J.M. (2009). “Verificación del cumplimiento de la norma ASTM c-494 por los aditivos acelerantes de agua y retardantes de fragua y sus efectos en los concretos usando cemento tipo ico y cemento tipo ms”. (Tesis de Licenciatura). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
4. Cifuentes, Álvaro y Ferrer, Carlos. Análisis de comportamiento mecánico a edades tardías del concreto hidráulico con adiciones de cenizas volantes de Termopaipa. Tesis de grado. Bucaramanga, 2006. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.
5. Chereque (1993). Mecánica de fluidos (2.<sup>a</sup> ed.). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
6. Grupo Polpaico (2008). Manual del constructor, Chile.
7. HUAQUISTO CÁCERES, Samuel. Efecto de la ceniza volante en la resistencia del concreto en condiciones de clima natural. Artículo original.
8. INACAL (2016). Norma Técnica Peruana 334.009. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. Lima, Perú.
9. INACAL (2015). Norma Técnica Peruana 339.034. CONCRETO Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Lima, Perú.

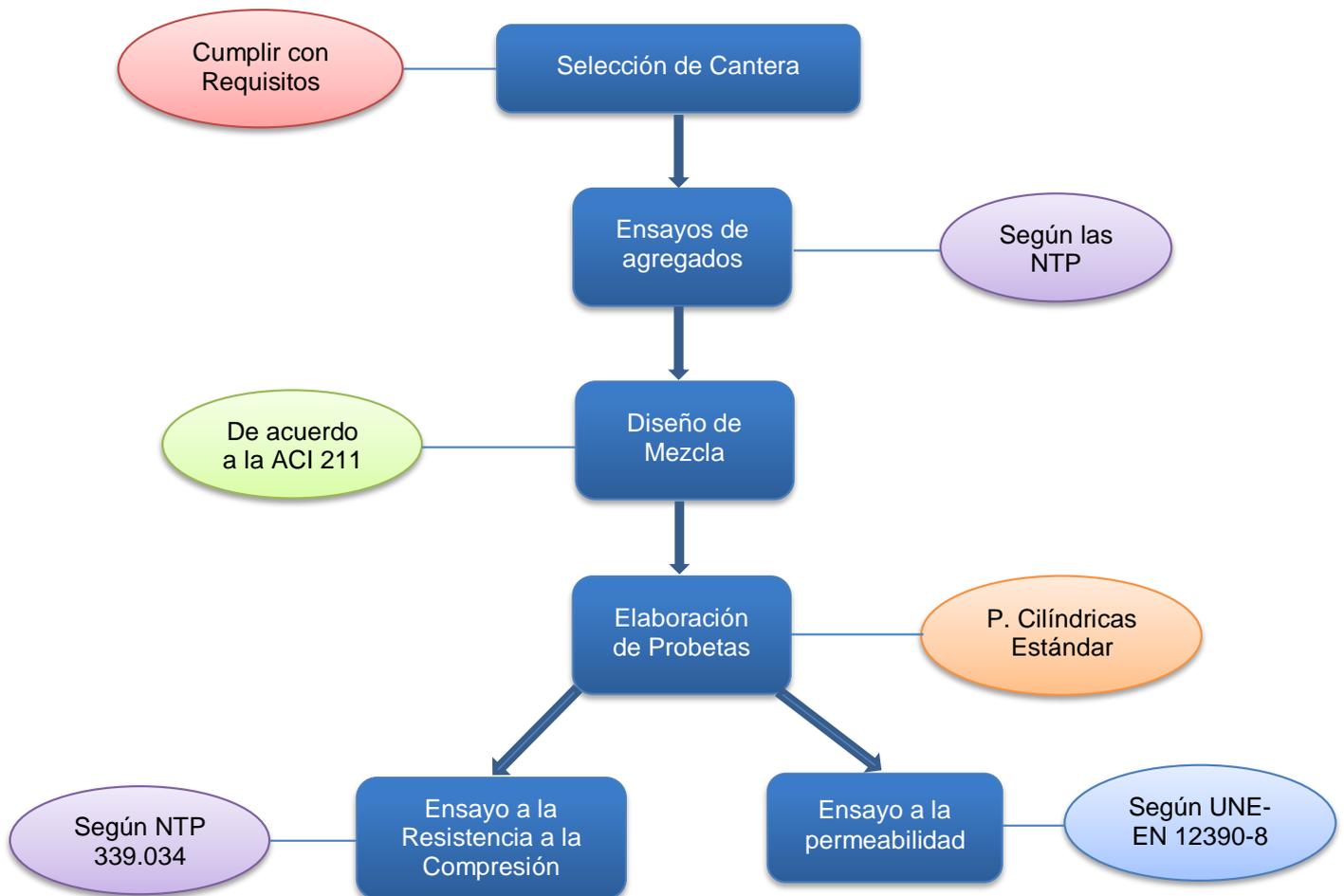
10. INACAL (2013). Norma Técnica Peruana 339.185. AGREGADOS Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima, Perú.
11. INACAL (2011). NTP 400.010 AGREGADOS Extracción y preparación de las muestras. Lima, Perú.
12. INACAL (2013). Norma Técnica Peruana 400.012. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, Perú.
13. INACAL (2011). Norma Técnica Peruana 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. Lima, Perú.
14. INACAL (2014). Norma Técnica Peruana 400.019. AGREGADOS Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Lima, Perú.
15. INACAL (2013). Norma Técnica Peruana 400.021. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Lima, Perú.
16. INACAL (2013). Norma Técnica Peruana 400.022. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Lima, Perú.
17. INACAL (2014). Norma Técnica Peruana 400.037. AGREGADOS Especificaciones Normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú.
18. Instituto Mexicano del cemento y del concreto. (2010). Revista Construcción y Tecnología. [En línea] Recuperado el 10 de Julio de 2012. <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php>.
19. Irving (1992). Mecánica de fluidos (2ª ed.). México, México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.

20. Juan Pablo Fernández Curotto (2008) "Humedad proveniente de suelos en las edificaciones" (Tesis para optar el título de Ingeniero). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
21. Molina, Moragues y Gálvez J. La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Pórtland en la durabilidad del hormigón.
22. Reyes, Juan y Rodríguez, Yamid. Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla en un 3%, 4% y 7% respecto al peso de la mezcla. Bucaramanga, 2010, 147p. Tesis de grado (Ingeniero Civil). Universidad Pontificia Boliviana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de ingenierías.
23. Rivva, E.S. (2002). Lograr un concreto más durable frente a agentes agresivos la propiedad más importante es la permeabilidad. (Tesis de Licenciatura). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
24. Rodríguez y Aguilera, E.S. (2011). Mejoramiento de las propiedades del concreto mediante la aplicación de aditivos en la región San Martín, (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
25. Simba, E.S. (2007). La impermeabilización en construcciones nuevas y existentes. (Tesis de Licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

## ANEXOS

### ANEXO N°01. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

**Figura 5.1:** Diagrama de Flujo para la Recolección de Información.



**Fuente:** Elaboración Propia.

ANEXO N°02. CERTIFICADO DE CALIDAD DEL CEMENTO PORTLAND TIPO GU

Figura 5.2: Especificaciones Cemento Portland Tipo GU.



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montembo Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 696 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



**CEMENTO MOCHICA**  
Cemento Portland Tipo GU

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157  
Pacasmayo, 16 de Junio del 2018

SGC-H&C-06-00002  
Versión 01

PROPIEDADES FÍSICAS		CP 8AA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	<b>3</b>	Mínimo 12
Expansión en Autoclave	%	<b>0.08</b>	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	<b>5470</b>	NO ESPECÍFICA
Retenido M325	%	<b>4.8</b>	NO ESPECÍFICA
Densidad	g/mL	<b>2.99</b>	NO ESPECÍFICA
<b>Resistencia Compresión :</b>			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>23.4 (238)</b>	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>29.8 (302)</b>	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>36.7 (374)</b>	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
<b>Tiempo de Fragado Vicat :</b>			
Fragado Inicial	min	<b>136</b>	Mínimo 45
Fragado Final	min	<b>204</b>	Máximo 420
<b>Expansión Barra de Mortero a 14 días</b>			
	%	<b>0.007</b>	Máximo 0.020

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-05-2016 al 31-05-2016  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Abril 2016  
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Abril 2016



**Ing. Ivanoff Rojas**  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Esta totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Fuente: PACASMAYO

**ANEXO N°3. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONTENIDO DE HUMEDAD  
N.T.P. 339.185**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : \*ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA\*

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** PIEDRA 3/4"

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO SAC"

**FECHA:** 28/04/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

<b>TARA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE TARA (g)	239.63	214.21	268.10
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	3239.80	3214.42	3268.24
PESO MUESTRA SECA + TARA (g)	3222.57	3197.58	3248.77
PESO DEL AGUA (g)	17.23	16.84	19.47
PESO MUESTRA SECA (g)	2982.94	2983.37	2980.67
‰ DE HUMEDAD	0.58	0.56	0.65
<b>PROMEDIO (‰)</b>	<b>0.60</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°4. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONTENIDO DE HUMEDAD  
N.T.P. 339.185**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO SAC"

**FECHA:** 29/04/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

<b>TARA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE TARA (g)	165.38	137.12	139.17
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	1165.38	1137.12	1139.18
PESO MUESTRA SECA + TARA (g)	1159.66	1131.53	1133.61
PESO DEL AGUA (g)	5.72	5.59	5.57
PESO MUESTRA SECA (g)	994.28	994.41	994.44
‰ DE HUMEDAD	0.58	0.56	0.56
<b>PROMEDIO (‰)</b>	<b>0.57</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**N.T.P. 400.012**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** PIEDRA ZARANDEADA

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 30/04/2016

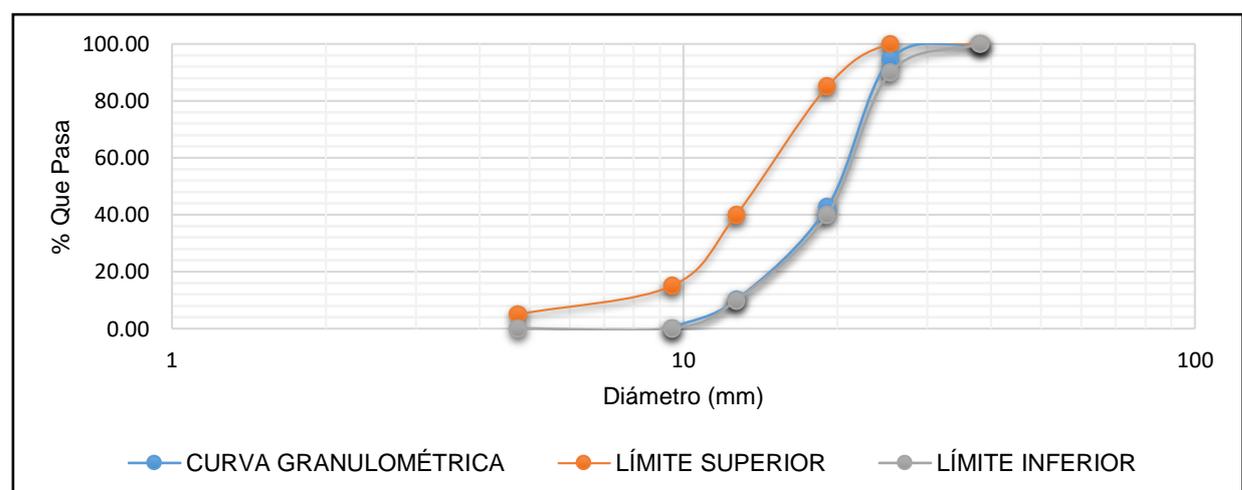
**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSE STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

<b>PESO DE LA MUESTRA (g)</b>						5202	
<b>TAMIZADO EN SECO PIEDRA 3/4"</b>							
TAMIZ	ABERT. (mm)	NTP 400.037		P.RETENIDO (g)	P.RETENIDO (%)	P.R.ACUMULADO (%)	% PASA
		MIN.	MÁX.				
1 1/2"	38.1	100	100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	90	100	273.50	5.37	5.37	94.63
3/4"	19.1	40	85	2709.00	52.08	57.45	42.55
1/2"	12.7	10	40	1687.50	32.44	89.90	10.10
3/8"	9.5	0	15	512.50	9.85	99.75	0.25
N°4	4.76	0	5	4.00	0.08	99.83	0.17
PLATO				9.00	0.17	100.00	
TOTAL				5201.50	100.00		

<b>PÉRDIDA %</b>	0.01
<b>MF</b>	7.57

<b>TMN</b>	1"
<b>TM</b>	1 1/2"



*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°6. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
N.T.P. 400.012

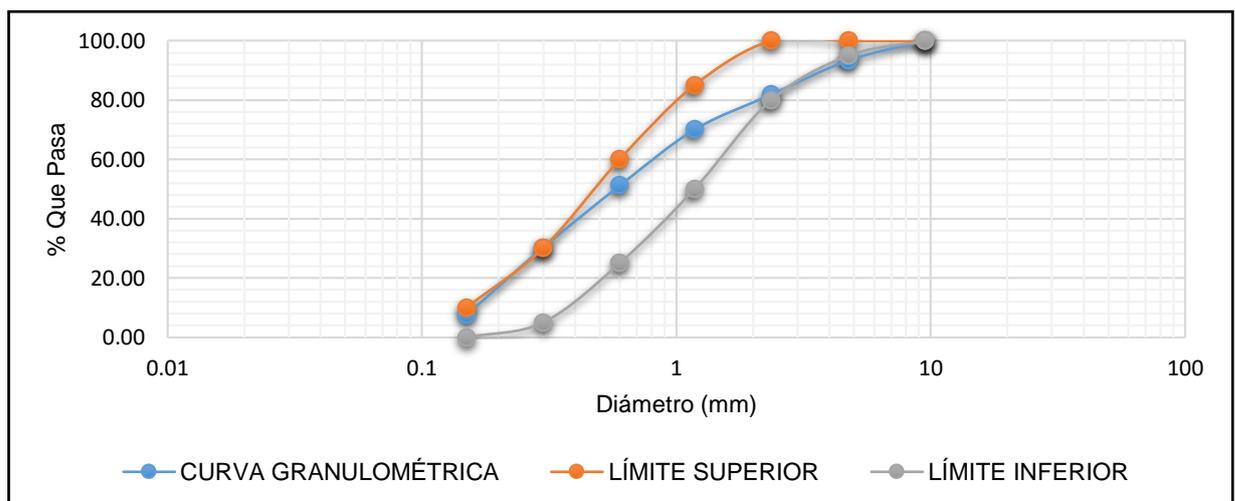
### A) DATOS GENERALES:

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"  
**UBICACIÓN**: LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN  
**MUESTRA**: ARENA GRUESA  
**CANTERA**: "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"  
**FECHA**: 30/04/2016  
**TESISTAS**: CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

### B) DATOS TÉCNICOS:

				P. DE LA MUESTRA (g)	2000.00		
TAMIZADO EN SECO ARENA GRUESA							
TAMIZ	ABERT. (mm)	NTP 400.037		P.RETENIDO (g)	P.RETENIDO (%)	P.R.ACUMULADO (%)	% PASA
		MIN.	MÁX.				
3/8"	3.5	100	100	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	35	100	131.00	6.55	6.55	93.45
N° 8	2.36	80	100	232.00	11.60	18.15	81.85
N° 16	1.18	50	85	236.00	11.80	29.96	70.04
N° 30	0.6	25	60	377.00	18.85	48.81	51.19
N° 50	0.3	5	30	417.50	20.88	69.69	30.31
N° 100	0.15	0	10	453.50	22.68	92.37	7.63
PLATO				152.50	7.63	100.00	
TOTAL				1939.50	100.00		

<b>PÉRDIDA %</b>	0.03
<b>MF</b>	2.66



Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO N°7. PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PESO UNITARIO  
N.T.P. 400.017.2011

### A) DATOS GENERALES:

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** PIEDRA 3/4"

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 04/05/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

### B) DATOS TÉCNICOS:

Datos	1
Peso (molde) (kg)	5.505
Peso (molde+agua)(kg)	19.406
Peso (agua) (kg)	13.901
Factor (kg/m <sup>3</sup> )	1000.000
<b>Volumen del Molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>0.014</b>

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra)(kg)	27.315	27.220	27.180
Peso Suelto (muestra) (kg)	21.810	21.715	21.675
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1568.952	1562.118	1559.240
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1563.437</b>		

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra)(kg)	29.210	29.255	29.275
Peso Compactado (muestra) (kg)	23.705	23.750	23.770
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Compactado Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1705.273	1708.510	1709.949
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1707.911</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°8. PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PESO UNITARIO  
N.T.P. 400.017.2011

### A) DATOS GENERALES:

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 03/05/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

### B) DATOS TÉCNICOS:

Datos	1
Peso (molde) (kg)	5.505
Peso (molde+agua)(kg)	19.406
Peso (agua) (kg)	13.901
Factor (kg/m <sup>3</sup> )	1000.000
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra)(kg)	29.667	30.335	30.240
Peso Suelto (muestra) (kg)	24.162	24.830	24.735
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1738.148	1786.202	1779.368
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1767.906</b>		

Datos	1	2	3
Peso (molde) (kg)	5.505	5.505	5.505
Peso (molde+muestra)(kg)	31.890	32.080	31.850
Peso Compactado (muestra) (kg)	26.385	26.575	26.345
Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	0.014	0.014	0.014
Peso Unitario Compactado Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1898.065	1911.733	1895.187
<b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1901.662</b>		

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°9. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN  
N.T.P. 400.021.2013**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : «ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA»

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** PIEDRA 3/4"

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 02/05/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

ENSAYO	
A= Masa de la muestra secada al horno en aire, g	2998.00
B= Masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g	3030.00
C= Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.	1916.00
a) Densidad relativa (Gravedad Específica) (OD)= $A/(B-C)$	2.69
b) Densidad relativa (Gravedad Específica) (SSD)= $B/(B-C)$	2.72
c) Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)= $A/(A-C)$	2.77
d) Absorción, $\% = 100 [(B-A)/A]$	1.07

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°10. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN  
N.T.P. 400.022.2013**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 02/05/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

<b>ENSAYO</b>	
A= Masa de la muestra seca al horno, g.	496.00
B= Masa del Picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g.	652.60
C= Masa del Picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g.	962.00
S= Masa de la muestra de Saturado Superficialmente Seca	500.00
a) Densidad relativa (Gravedad Específica) (OD)= $A/(B+S-C)$	2.60
b) Densidad relativa (Gravedad Específica) (SSD)= $S/(B+S-C)$	2.62
c) Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)= $A/(B+A-C)$	2.66
d) Absorción, % = $100 [(S-A)/A]$	0.81

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°11. DESGASTE POR ABRASIÓN LOS ÁNGELES DEL AGREGADO  
GRUESO**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**DESGASTE POR ABRASIÓN LOS ÁNGELES**  
**N.T.P. 400.019**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPM

**MUESTRA:** PIEDRA 3/4"

**CANTERA:** "TRANSPORTES Y AGREGADOS BARRETO"

**FECHA:** 05/05/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS TÉCNICOS:**

DATOS	1
PESO MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO (g)	5000.00
PESO MUESTRA SECA DESPUÉS DE ENSAYO (g)	4241.00
NÚMERO DE ESFERAS	12.00
‰ DE DESGASTE	15.18

*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°12. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE MEZCLA (CONCRETO PATRÓN)  
ACI 211

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**FECHA:** 12/10/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Consideraciones - Requisitos del Concreto											
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	f'cr Criterio ACI 318	f'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua x TM	Relación a/c	Cemento (Kg)	Modulo de Finura Global (Mfg)	Incidencia Agregado Grueso	Incidencia Agregado Fino	Slump requerido ( pulg )	Slump mín. LAB
							5.46				
C210	30	Tabla 5.3.2.1	250	202	0.55	367	4.87	0.550	0.450	A5	6

<b>EVALUACIÓN Y AJUSTES DE INCIDENCIAS DE AGREGADOS</b>	Mfg DISEÑO ==>	4.84	(Definido luego las pruebas industriales)
	EVALUACIÓN Mfg ==>	Conforme	

Dosificación del Concreto						
Materiales	%	Peso Seco ( kg/m <sup>3</sup> )	Volumen ( m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda 50 L
Material Cementante Total		367				
GU		367	0.1244	367	367	18.35
Ceniza Volante	0%					
Aqua		202	0.2019	205	202	10.23
Agregado Fino - Cantera Barreto		803	0.2987	807	812	40.37
Agregado Grueso - Cantera Barreto		949	0.3651	958	957	47.91
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2321</b>	<b>1.0001</b>	<b>2337</b>	<b>2337</b>	<b>116.856</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### ANEXO N°13. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN + 1.5% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLA (CONCRETO PATRÓN + 1.5% CENIZA VOLANTE)**  
ACI 211

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : \*ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA\*

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**FECHA:** 12/10/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Consideraciones - Requisitos del Concreto											
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	f'cr Criterio ACI 318	f'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua x TM	Relación a/c	Cemento (Kg)	Modulo de Finura	Incidencia Agregado Grueso	Incidencia Agregado Fino	Slump requerido ( pulg )	Slump mín. LAB
							Global (Mfg)				
C210	30	Tabla 5.3.2.1	250	202	0.55	367	4.87	0.550	0.450	A5	6

EVALUACIÓN Y AJUSTES DE INCIDENCIAS DE AGREGADOS	Mfg DISEÑO ==>	4.84	(Definido luego las pruebas industriales)
	EVALUACIÓN Mfg ==>	Conforme	

Dosificación del Concreto						
Materiales	%	Peso Seco ( kg/m <sup>3</sup> )	Volumen ( m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda 50 L
Material Cementante Total		373				
GU		367	0.1244	367	367	18.35
Ceniza Volante	1.5%	6	0.0023	6	6	0.28
Aqua		205	0.2049	208	205	10.38
Agregado Fino - Cantera Barreto		803	0.2987	807	812	40.37
Agregado Grueso - Cantera Barreto		949	0.3651	958	957	47.91
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2329</b>	<b>1.0054</b>	<b>2346</b>	<b>2346</b>	<b>117.283</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°14. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLA (CONCRETO PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE)**  
ACI 211

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : \*ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA\*

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**FECHA:** 12/10/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**Consideraciones - Requisitos del Concreto**

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	f'cr Criterio ACI 318	f'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua x TM	Relación a/c	Cemento (Kg)	Modulo de Finura Global (Mfg)	Incidencia Agregado Grueso	Incidencia Agregado Fino	Slump requerido ( pulg )	Slump mín. LAB
							5.46				
C210	30	Tabla 5.3.2.1	250	202	0.55	367	4.87	0.550	0.450	A5	6

**EVALUACIÓN Y AJUSTES DE INCIDENCIAS DE AGREGADOS**

Mfg DISEÑO ==> 4.84 (Definido luego las pruebas industriales)  
EVALUACIÓN Mfg ==> Conforme

**Dosificación del Concreto**

Materiales	%	Peso Seco ( kg/m <sup>3</sup> )	Volumen ( m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda 50 L
Material Cementante Total		378				
GU		367	0.1244	367	367	18.35
Ceniza Volante	3%	11	0.0045	11	11	0.55
Aqua		208	0.2079	211	208	10.53
Agregado Fino - Cantera Barreto		803	0.2987	807	812	40.37
Agregado Grueso - Cantera Barreto		949	0.3651	958	957	47.91
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2338</b>	<b>1.0107</b>	<b>2354</b>	<b>2354</b>	<b>117.710</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°15. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN + 4.5% CENIZA  
VOLANTE DE CARBÓN**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLA (CONCRETO PATRÓN + 4.5% CENIZA VOLANTE)**  
ACI 211

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : \*ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA\*

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**FECHA:** 12/10/2016

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Consideraciones - Requisitos del Concreto											
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	f'cr Criterio ACI 318	f'cr (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua x TM	Relación a/c	Cemento (Kg)	Modulo de Finura	Incidencia	Incidencia	Slump	Slump
							Global (Mfg)	Agregado Grueso	Agregado Fino	requerido ( pulg )	mín. LAB
C210	30	Tabla 5.3.2.1	250	202	0.55	367	5.46	0.550	0.450	A5	6

EVALUACIÓN Y AJUSTES DE INCIDENCIAS DE AGREGADOS	Mfg DISEÑO ==>	4.84	(Definido luego las pruebas industriales)
	EVALUACIÓN Mfg ==>	Conforme	

Dosificación del Concreto						
Materiales	%	Peso Seco ( kg/m <sup>3</sup> )	Volumen ( m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda 50 L
Material Cementante Total		384				
GU		367	0.1244	367	367	18.35
Ceniza Volante	4.5%	17	0.0068	17	17	0.83
Aqua		211	0.2109	214	211	10.68
Agregado Fino - Cantera Barreto		803	0.2987	807	812	40.37
Agregado Grueso - Cantera Barreto		949	0.3651	958	957	47.91
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2346</b>	<b>1.0160</b>	<b>2363</b>	<b>2363</b>	<b>118.136</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°16. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN + 6% CENIZA  
VOLANTE DE CARBÓN**

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
DISEÑO DE MEZCLA (CONCRETO PATRÓN + 6% CENIZA VOLANTE) ACI 211												
<b>A) DATOS GENERALES:</b>												
<b>TESIS</b> : *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA*												
<b>UBICACIÓN:</b> LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN												
<b>FECHA:</b> 12/10/2016												
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN												
Consideraciones - Requisitos del Concreto												
$f'c$ ( $kg/cm^2$ )	Desviación Estándar ( $kg/cm^2$ )	$f'cr$ Criterio ACI 318	$f'cr$ ( $kg/cm^2$ )	Agua x TM	Relación a/c	Cemento (Kg)	Modulo de Finura Global (Mfg)	Incidencia Agregado Grueso	Incidencia Agregado Fino	Slump requerido ( pulg )	Slump mín. LAB	
C210	30	Tabla 5.3.2.1	250	202	0.55	367	5.46 4.87	0.550	0.450	A5	6	
EVALUACIÓN Y AJUSTES DE INCIDENCIAS DE AGREGADOS							Mfg DISEÑO ==>	4.84	(Definido luego las pruebas industriales)			
							EVALUACIÓN Mfg ==>	Conforme				
Dosificación del Concreto												
Materiales	%	Peso Seco ( $kg/m^3$ )	Volumen ( $m^3$ )	Peso Húmedo ( $kg/m^3$ )	Peso SSS ( $kg/m^3$ )	Tanda 50 L						
Material Cementante Total		389										
GU		367	0.1244	367	367	18.35						
Ceniza Volante	6%	22	0.0091	22	22	1.10						
Aqua		214	0.2140	217	214	10.84						
Agregado Fino - Cantera Barreto		803	0.2987	807	812	40.37						
Agregado Grueso - Cantera Barreto		949	0.3651	958	957	47.91						
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>2355</b>	<b>1.0213</b>	<b>2371</b>	<b>2371</b>	<b>118.563</b>						

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO N°17. DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;"><b>DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS</b></p>					
<b>A) DATOS GENERALES:</b>					
<b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
Materiales	C.V.C (Kg/bolsa)	Cemento	Agua(L/bolsa)	Agregado Fino	Agregado Grueso
%	0%				
<b>Peso Seco ( kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	202	803	949
<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	205	808	957
<b>Proporción de Volumen (pie3 )</b>	0	1	23.39	1.84	2.49
%	1.5%				
<b>Peso Seco ( kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	202	803	949
<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	205	808	957
<b>Proporción de Volumen (pie3 )</b>	0.64	1	23.39	1.84	2.49
%	3%				
<b>Peso Seco ( kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	202	803	949
<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	205	808	957
<b>Proporción de Volumen (pie3 )</b>	1.28	1	23.39	1.84	2.49
%	4.5%				
<b>Peso Seco ( kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	202	803	949
<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	205	808	957
<b>Proporción de Volumen (pie3 )</b>	1.91	1	23.39	1.84	2.49
%	6%				
<b>Peso Seco ( kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	202	803	949
<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup> )</b>		367	205	808	957
<b>Proporción de Volumen (pie3 )</b>	2.55	1	23.39	1.84	2.49

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°18. FECHA DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE  
PROBETAS PATRÓN**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE PROBETA PATRÓN**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de Probeta Patrón								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	MP1-3d	MP2-3d	MP1-7d	MP2-7d	MP1-28d	MP2-28d	MP3-28d	MP4-28d
Elaboración	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016	9/11/2016
Descencofrado	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016
Ensayo a la Compresión	12/11/2016	12/11/2016	16/11/2016	16/11/2016	7/12/2016	7/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°19. FECHA DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE  
PROBETAS PATRÓN + 1.5% CENIZA VOLANTE**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE PROBETA PATRÓN + 1.5 % CENIZA VOLANTE**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (1.5%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M1.5%1-3d	M1.5%2-3d	M1.5%1-7d	M1.5%2-7d	M1.5%1-28d	M1.5%2-28d	M1.5%3-28d	M1.5%4-28d
Elaboración	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016	10/11/2016
Descencofrado	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016
Ensayo a la Compresión	13/11/2016	13/11/2016	17/11/2016	17/11/2016	8/12/2016	8/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°20. FECHA DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE  
PROBETAS PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE PROBETA PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (3%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M3%1-3d	M3%2-3d	M3%1-7d	M3%2-7d	M3%1-28d	M3%2-28d	M3%3-28d	M3%4-28d
Elaboración	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016	11/11/2016
Descencofrado	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016
Ensayo a la Compresión	14/11/2016	14/11/2016	18/11/2016	18/11/2016	9/12/2016	9/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	21/02/2017	21/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°21. FECHA DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE  
PROBETAS PATRÓN + 4.5% CENIZA VOLANTE**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE PROBETA PATRÓN + 4.5% CENIZA VOLANTE**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (4.5%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M4.5%1-3d	M4.5%2-3d	M4.5%1-7d	M4.5%2-7d	M4.5%1-28d	M4.5%2-28d	M4.5%3-28d	M4.5%4-28d
Elaboración	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016	12/11/2016
Descencofrado	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016
Ensayo a la Compresión	15/11/2016	15/11/2016	19/11/2016	19/11/2016	10/12/2016	10/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	27/02/2017	27/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°22. FECHA DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE  
PROBETAS PATRÓN + 6% CENIZA VOLANTE.**



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE PROBETA PATRÓN + 6% CENIZA VOLANTE**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de Probeta Patrón + Ceniza Volante de Carbón (6%)								
Fecha de Curado	3 días		7 días		28 días			
Denominación	M6%1-3d	M6%2-3d	M6%1-7d	M6%2-7d	M6%1-28d	M6%2-28d	M6%3-28d	M6%4-28d
Elaboración	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016	13/11/2016
Descencofrado	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016	14/11/2016
Ensayo a la Compresión	16/11/2016	16/11/2016	20/11/2016	20/11/2016	11/12/2016	11/12/2016	-	-
Ensayo a la Permeabilidad	-	-	-	-	-	-	27/02/2017	27/02/2017

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°23. RESULTADOS DE ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
3 DÍAS DE EDAD DE CURADO**

		<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>RESULTADOS DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b>							
<b>A) DATOS GENERALES:</b>							
<b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"							
<b>UBICACIÓN:</b> LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN							
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN							
<b>B) DATOS DE ENSAYO</b>							
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	MP1	3	17660	176.715	99.93	95	
02	MP2	3	15964	176.715	90.34		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M1.5%	3	17887	176.715	101.22	108	
02	M1.5%	3	20231	176.715	114.48		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M3%	3	21423	176.715	121.23	118	
02	M3%	3	20349	176.715	115.15		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M4.5%	3	21710	176.715	122.85	130	
02	M4.5%	3	24292	176.715	137.46		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M6%	3	24612	176.715	139.28	147	
02	M6%	3	27305	176.715	154.51		

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°24. RESULTADOS DE ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
7 DÍAS DE EDAD DE CURADO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESULTADOS DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN**

**A) DATOS GENERALES:**

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO  
ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN

**TESISTAS:** CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY  
PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN

**B) DATOS DE ENSAYO**

Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
01	MP1	7	26184	176.715	148.17	147
02	MP2	7	25836	176.715	146.20	

Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
01	M1.5%	7	26727	176.715	151.24	156
02	M1.5%	7	28299	176.715	160.14	

Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
01	M3%	7	27184	176.715	153.83	161
02	M3%	7	29836	176.715	168.84	

Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
01	M4.5%	7	29539	176.715	167.16	169
02	M4.5%	7	30055	176.715	170.08	

Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
01	M6%	7	33095	176.715	187.28	188
02	M6%	7	33311	176.715	188.50	

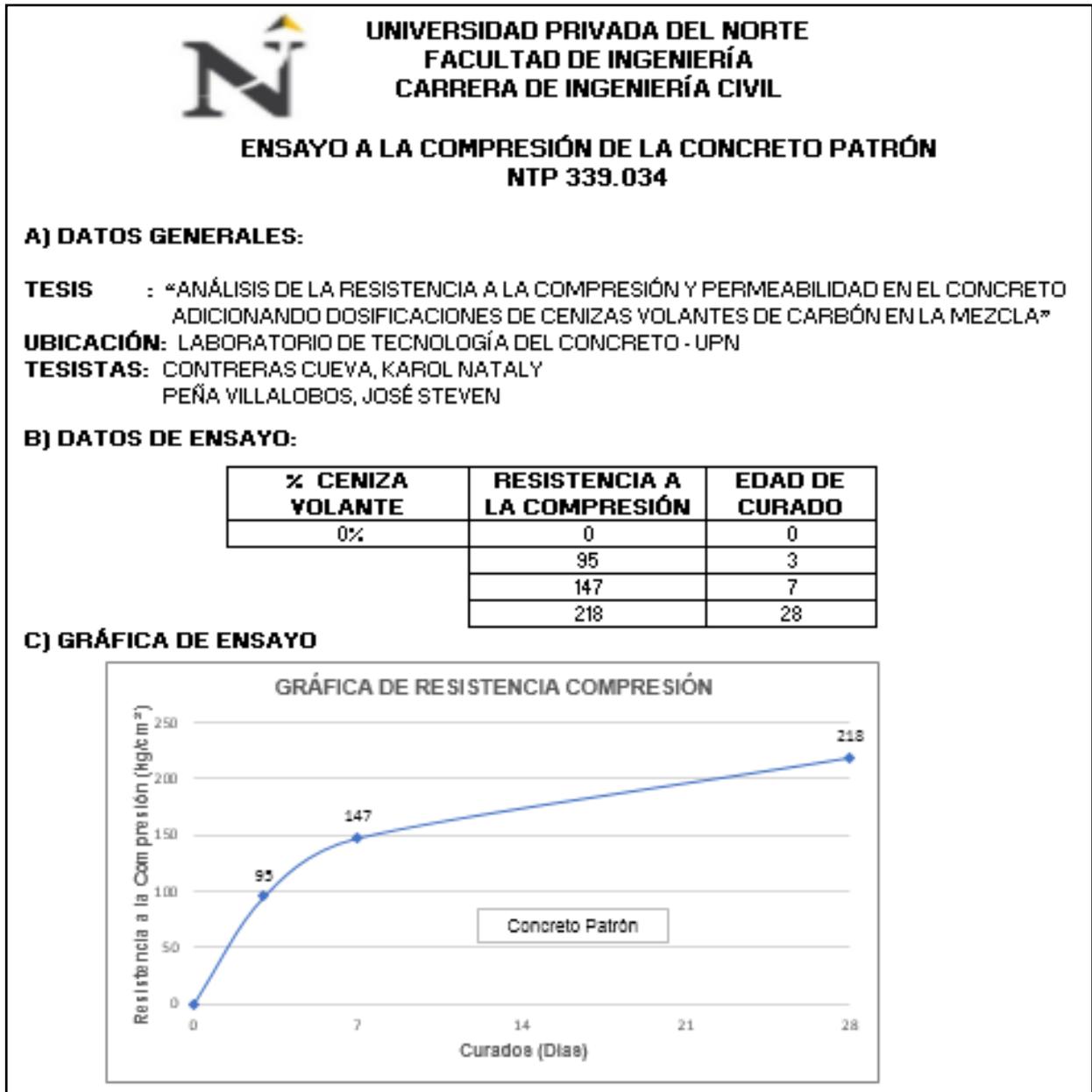
*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°25. RESULTADOS DE ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
28 DÍAS DE EDAD DE CURADO.**

		UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESULTADOS DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN							
A) DATOS GENERALES:							
<b>TESIS</b> : «ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA»							
<b>UBICACIÓN:</b> LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN							
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN							
B) DATOS DE ENSAYO							
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	MP1	28	37510	176.715	212.26	218	
02	MP2	28	39662	176.715	224.44		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M1.5%	28	40587	176.715	229.67	220	
02	M1.5%	28	37321	176.715	211.19		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M3%	28	38976	176.715	220.56	227	
02	M3%	28	41277	176.715	233.58		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M4.5%	28	40587	176.715	229.67	232	
02	M4.5%	28	41321	176.715	233.83		
Muestra N°	Denominación	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	
01	M6%	28	42121	176.715	238.36	241	
02	M6%	28	42952	176.715	243.06		

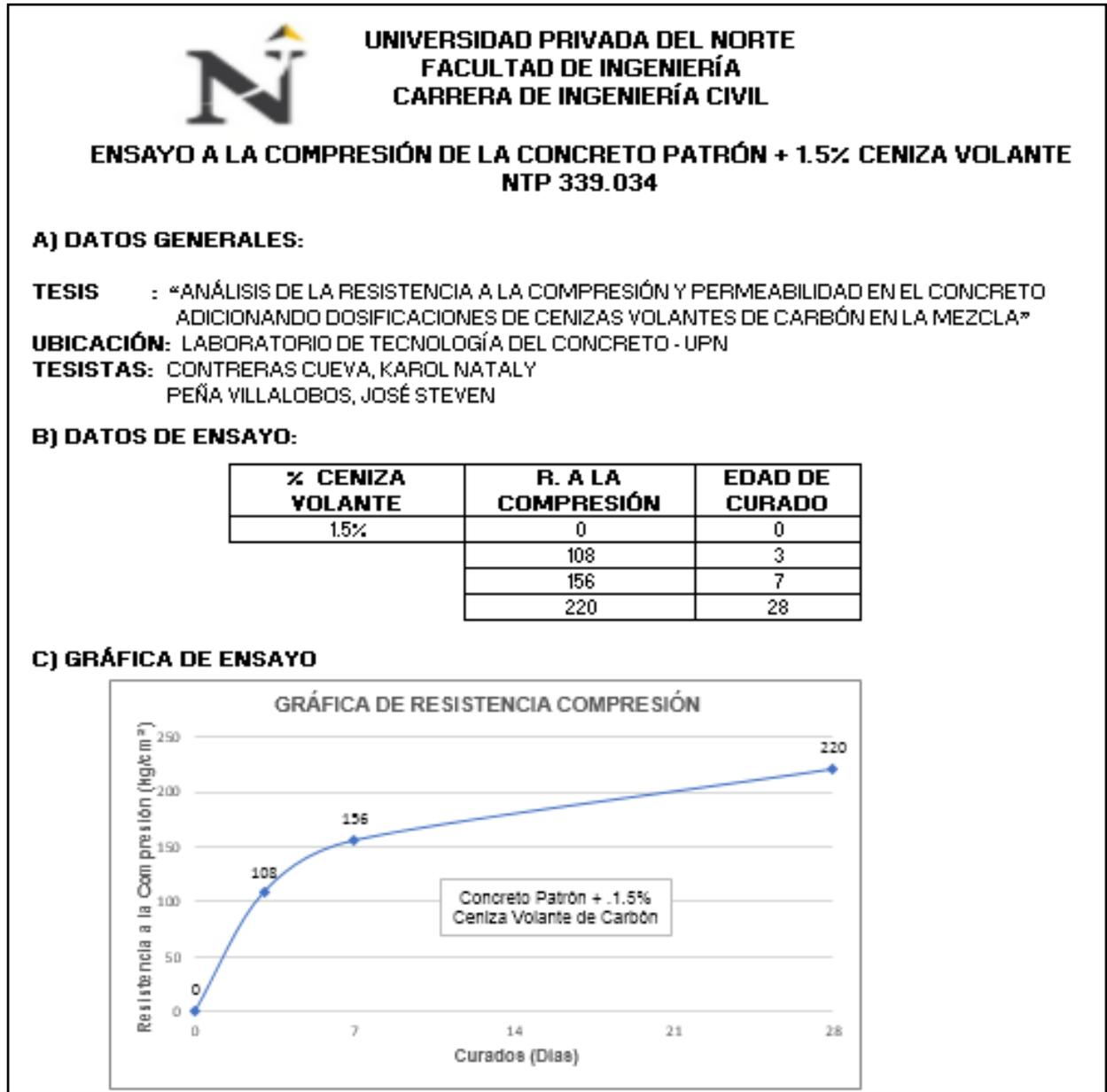
*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°26. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN**



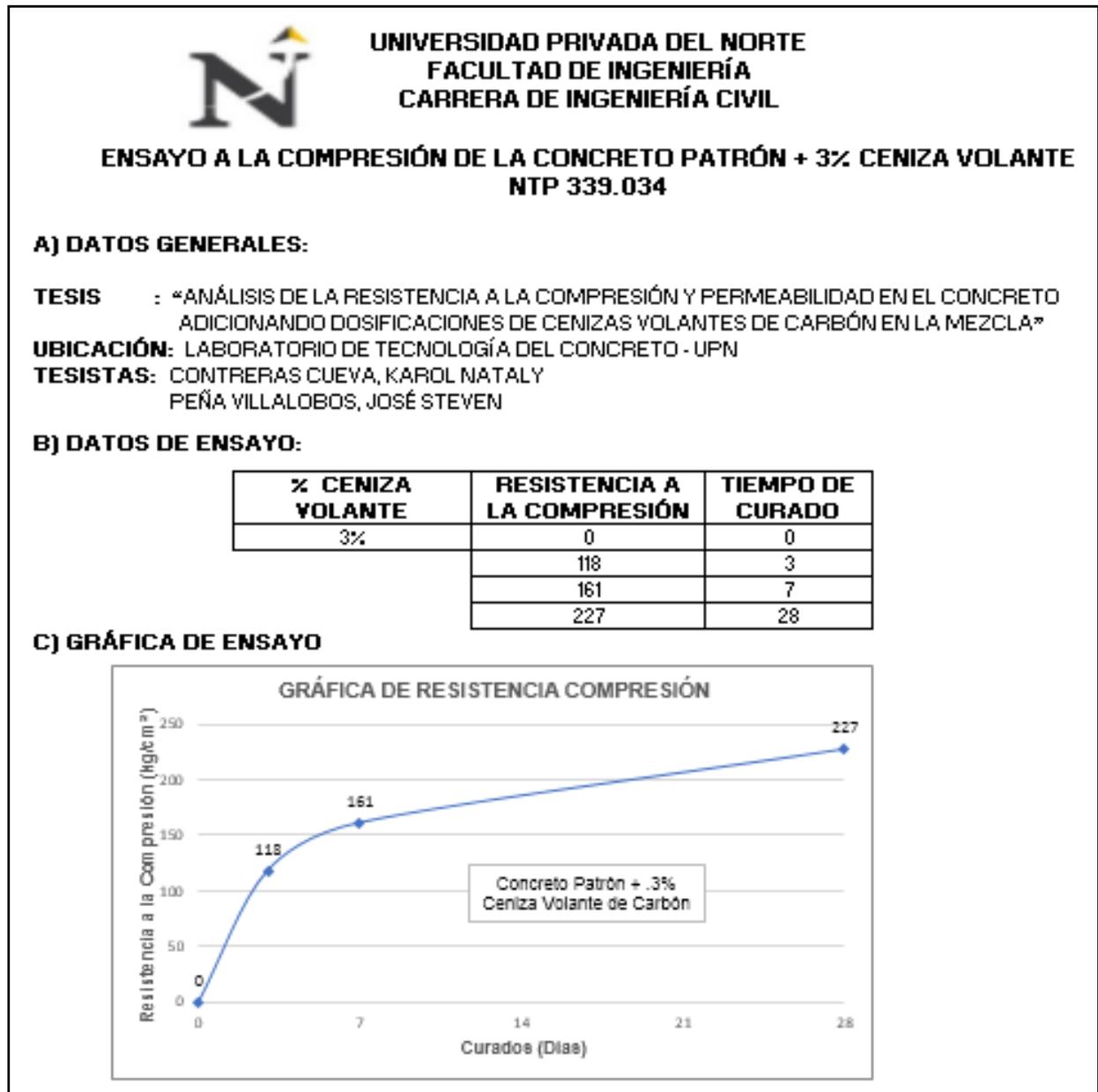
*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°27. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN + 1.5% CENIZA VOLANTE**



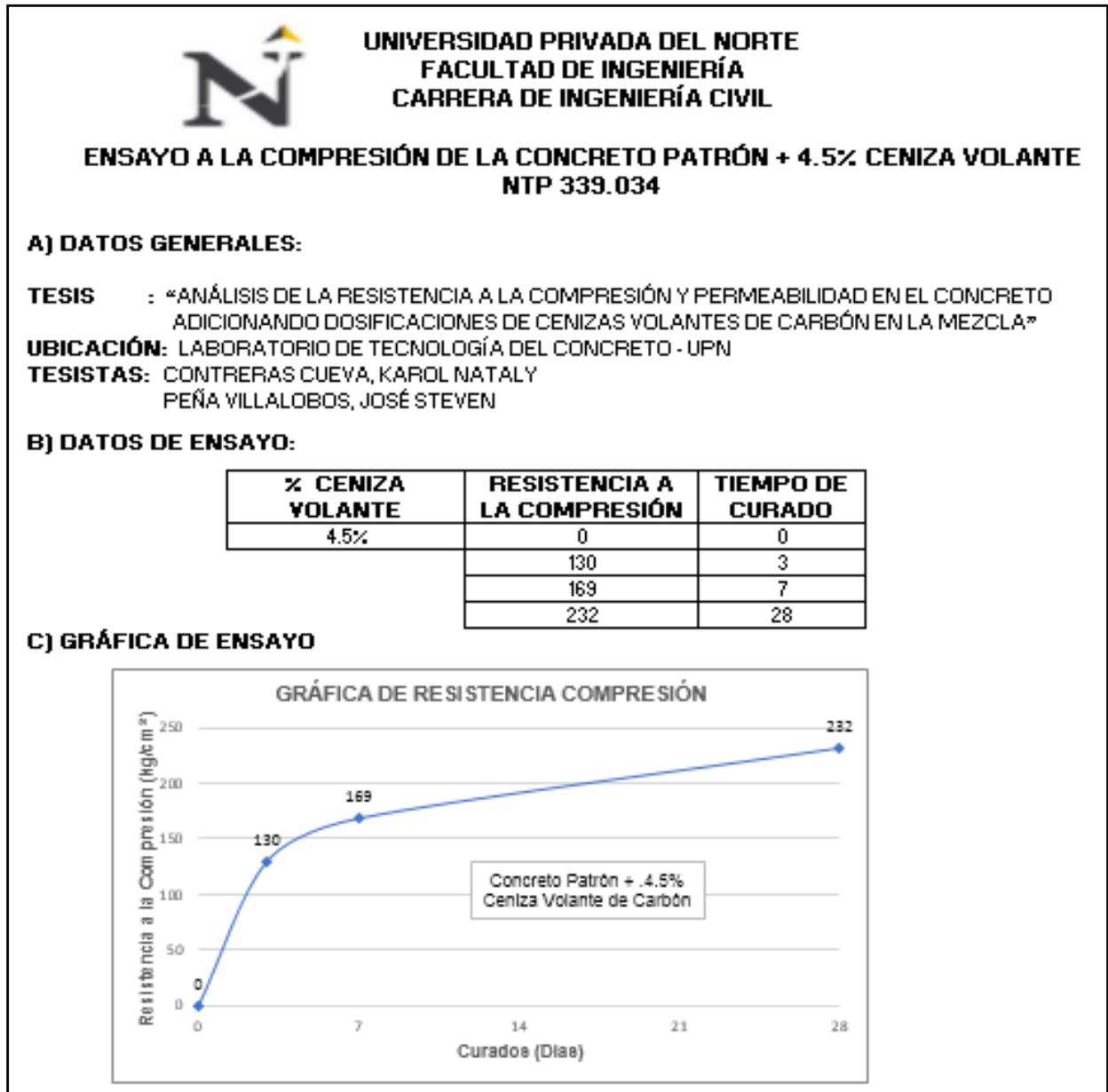
*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°28. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DEL CONCRETO PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE**



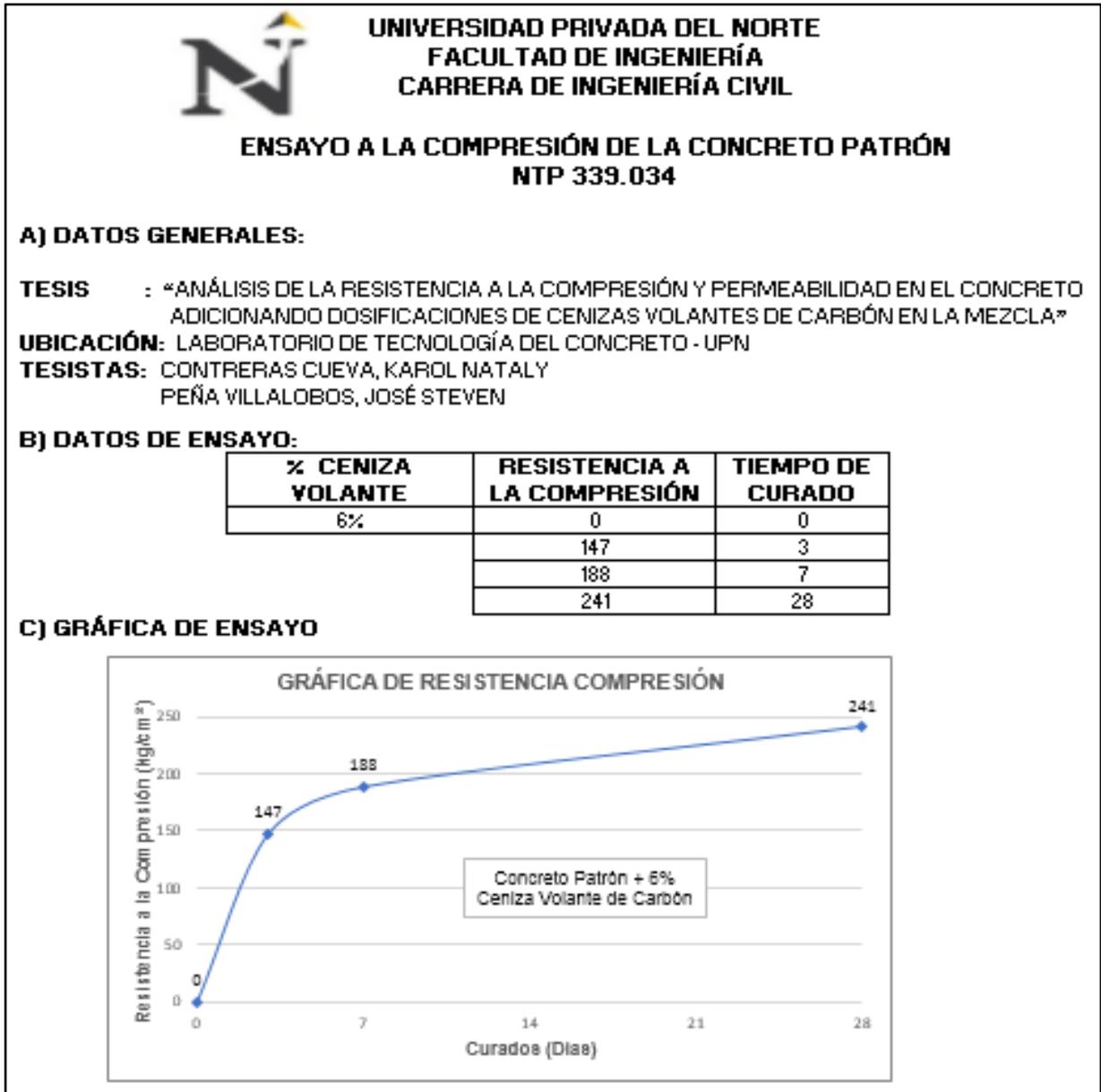
*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°29. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN + 4.5% CENIZA VOLANTE**



*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°30. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN + 6% CENIZA VOLANTE**



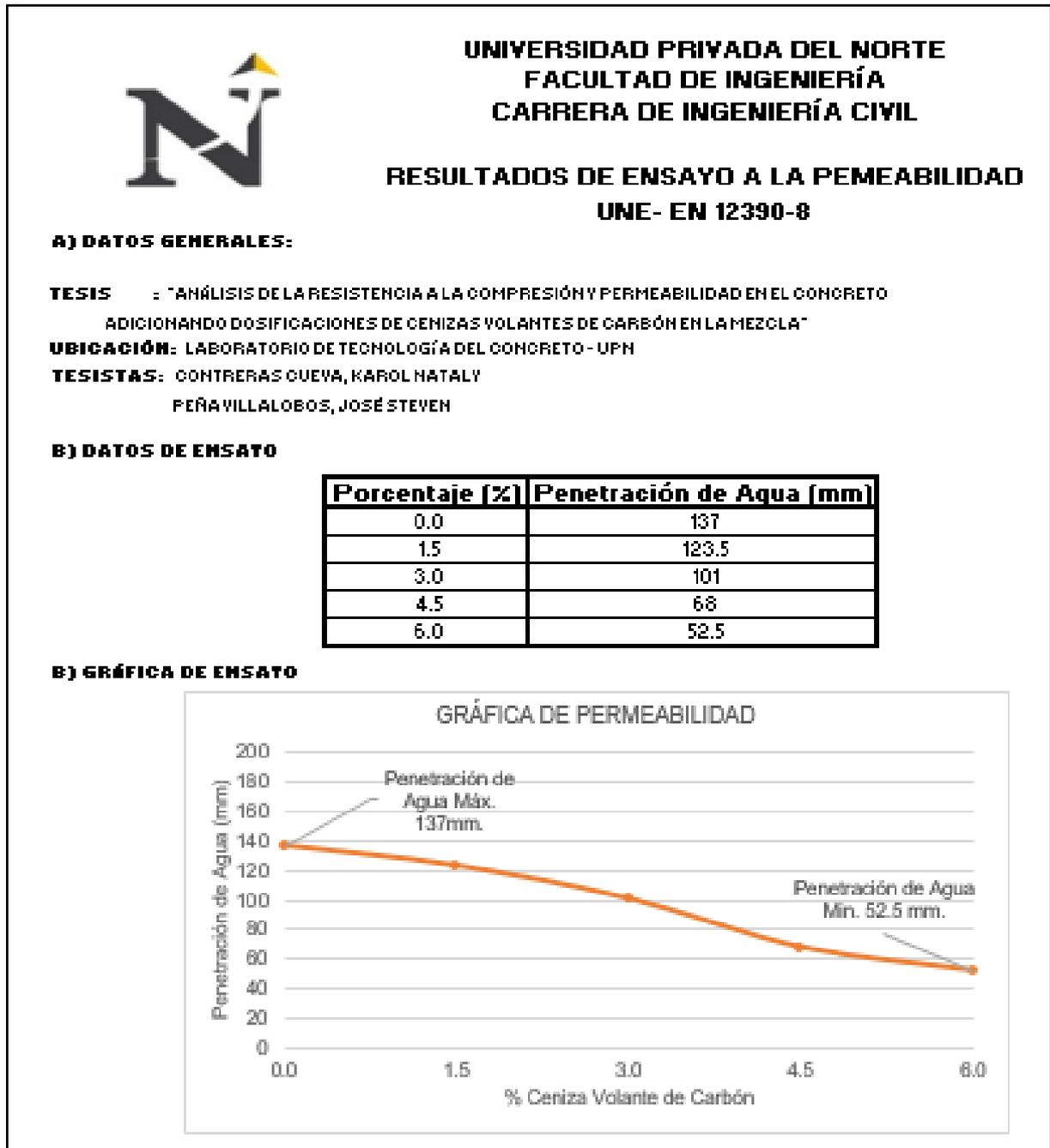
*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°31. RESULTADOS DE ENSAYO A LA PERMEABILIDAD

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
RESULTADOS DE ENSAYO A LA PERMEABILIDAD UNE- EN 12390-8								
<b>A) DATOS GENERALES:</b>								
<b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"								
<b>UBICACIÓN:</b> LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UPN								
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN								
<b>B) DATOS DE ENSAYO</b>								
Muestra N°	Denominación	Porcentaje(%)	Edad de Curado (días)	Edad de ensayo (días)	Relación(a/c)	Penetración de Agua (mm)	Tiempo (h)	Promedio de Penetración
01	MP1	0%	28	102	0.55	136	72	137
02	MP2	0%	28	102	0.55	138	72	
Muestra N°	Denominación	Porcentaje(%)	Edad de Curado (días)	Edad de ensayo (días)	Relación(a/c)	Penetración de Agua (mm)	Tiempo (h)	Promedio de Penetración
01	1.5%CV-1	1.5%	28	101	0.55	121	72	123.5
02	1.5%CV-2	1.5%	28	101	0.55	126	72	
Muestra N°	Denominación	Porcentaje(%)	Edad de Curado (días)	Edad de ensayo (días)	Relación(a/c)	Penetración de Agua (mm)	Tiempo (h)	Promedio de Penetración
01	3%CV-1	3%	28	100	0.55	103	72	101
02	3%CV-2	3%	28	100	0.55	99	72	
Muestra N°	Denominación	Porcentaje(%)	Edad de Curado (días)	Edad de ensayo (días)	Relación(a/c)	Penetración de Agua (mm)	Tiempo (h)	Promedio de Penetración
01	4.5%CV-1	4.5%	28	105	0.55	67	72	68
02	4.5%CV-2	4.5%	28	105	0.55	69	72	
Muestra N°	Denominación	Porcentaje(%)	Edad de Curado (días)	Edad de ensayo (días)	Relación(a/c)	Penetración de Agua (mm)	Tiempo (h)	Promedio de Penetración
01	6%CV-1	6%	28	104	0.55	49	72	52.5
02	6%CV-2	6%	28	104	0.55	56	72	

Fuente: Elaboración Propia

**ANEXO N°32. RESULTADOS PROMEDIO DE ENSAYO A LA PERMEABILIDAD**



*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°33. CERTIFICADO DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

 UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE

**CONSTANCIA**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

El que suscribe, Eddy Edwards Espejo Rodríguez, hace constar por medio de la presente que el Bach. José Steven Peña Villalobos, identificado con D.N.I N° 70470621, ha realizado ensayos de:

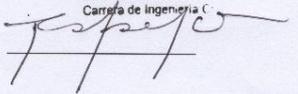
- Granulometría del Agregado Grueso y Fino
- Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso y Fino
- Peso Unitario del Agregado Grueso y Fino
- Contenido de Humedad del Agregado Grueso y Fino
- Abrasión de los Ángeles
- Peso Específico de la Ceniza Volante de Carbón
- Ensayo a la Compresión

Dichos ensayos se encuentran registrados en el cuaderno de control en las instalaciones del laboratorio de **Estructuras y Concreto** de esta universidad, requeridos para la tesis **"Análisis de la Resistencia a la Compresión y Permeabilidad en el Concreto adicionando dosificaciones de Cenizas Volantes de Carbón en la Mezcla"**; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 18 de Mayo del 2017

Eddy Espejo Rodríguez  
Coordinador de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería C



Av. Del Ejército 920, Urb. El Molino  
T. +51 (044) 606222  
www.upn.edu.pe

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO N°34. CERTIFICADO DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE

**CONSTANCIA**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

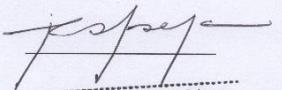
El que suscribe, Eddy Edwards Espejo Rodríguez, hace constar por medio de la presente que la Bach. Karol Nataly Contreras Cueva, identificada con D.N.I N° 48326087, ha realizado ensayos de:

- Granulometría del Agregado Grueso y Fino
- Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso y Fino
- Peso Unitario del Agregado Grueso y Fino
- Contenido de Humedad del Agregado Grueso y Fino
- Abrasión de los Ángeles
- Peso Específico de la Ceniza Volante de Carbón
- Ensayo a la Compresión

Dichos ensayos se encuentran registrados en el cuaderno de control en las instalaciones del laboratorio de **Estructuras y Concreto** de esta universidad, requeridos para la tesis "**Análisis de la Resistencia a la Compresión y Permeabilidad en el Concreto adicionando dosificaciones de Cenizas Volantes de Carbón en la Mezcla**"; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 18 de Mayo del 2017

  
Eddy Espejo Rodríguez  
Coordinador de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

Av. Del Ejército 920, Urb. El Molino  
T. +51 (044) 606222  
www.upn.edu.pe

**Fuente: Elaboración Propia**

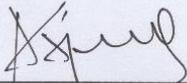
**ANEXO N°35. CERTIFICADO DE LA EMPRESA SIKA PERÚ SAC**



**CERTIFICADO**

Mediante el presente documento, certificamos que el Sr. José Steven Peña Villalobos con DNI 70470621 y la Srta. Karol Nataly Contreras Cueva con DNI 48326087, han realizado el ensayo: *"Profundidad de penetración de agua bajo presión bajo la Norma EN 12390-8"*, correspondiente a la elaboración de la Tesis que lleva como nombre: **"Análisis de la Resistencia a la Compresión y Permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla"** en las instalaciones del Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM) en el área de Concrete en las instalaciones de la Planta de Sika Perú SAC.

Lima, 02 de Marzo del 2017

  
Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
Jefe de Ventas – Región Norte  
Sika Perú SAC

*Fuente: Elaboración Propia*

### ANEXO N°36. COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRÓN

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL <b>COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRON</b>					
<b>TESIS</b> : *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA*					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
<b>PARTIDA:</b> CONCRETO F'c=210 kg/cm <sup>2</sup>				<b>PRECIO:</b> <b>SI. 293.97</b>	
<b>UNIDAD:</b> M3		<b>RENDIMIENTO:</b> 22.00		M3/DIA	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>70.16</b>
CAPATAZ	hh	1.0000	0.36364	23.08	8.39
OPERARIO	hh	1.0000	0.36364	19.23	6.99
OFICIAL	hh	1.0000	0.36364	15.94	5.80
PEÓN	hh	8.0000	2.90909	14.33	41.69
OPERADOR DE EQUIPO	hh	1.0000	0.36364	20.05	7.29
<b>MATERIALES</b>					<b>210.04</b>
ARENA GRUESA	m3		0.2987	35.00	10.45
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3651	55.00	20.08
CEMENTO PORTLAND TIPO GU	bls		8.6353	20.50	177.02
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1364	8.49	1.16
ACEITE MOTOR	gal		0.0045	34.60	0.16
AGUA	m3		0.2049	5.68	1.16
<b>EQUIPOS</b>					<b>13.77</b>
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 23 HP 11 P3	hm	1.0000	0.3636	26.60	9.67
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.0000	0.3636	5.48	1.99
HERRAMIENTO MANUAL	% MO		3.0000		2.10

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°37. COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRÓN + 1.5% CENIZA VOLANTE  
DE CARBÓN**

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> <p style="text-align: center;"><b>COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRON + 1.5% C.V.C</b></p>					
<b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
<b>PARTIDA:</b> CONCRETO F'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> + 1.5% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN				<b>PRECIO:</b> <b>SI. 306.74</b>	
<b>UNIDAD:</b> M3		<b>RENDIMIENTO:</b> 22.00		M3/DIA	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>70.16</b>
CAPATAZ	hh	1.0000	0.36364	23.08	8.39
OPERARIO	hh	1.0000	0.36364	19.23	6.99
OFICIAL	hh	1.0000	0.36364	15.94	5.80
PEÓN	hh	8.0000	2.90909	14.33	41.69
OPERADOR DE EQUIPO	hh	1.0000	0.36364	20.05	7.29
<b>MATERIALES</b>					<b>222.81</b>
ARENA GRUESA	m3		0.2987	35.00	10.45
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3651	55.00	20.08
CEMENTO PORTLAND TIPO GU	bls		8.6353	20.50	177.02
CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	kg		5.6700	2.25	12.76
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1364	8.49	1.16
ACEITE MOTOR	gal		0.0045	34.60	0.16
AGUA	m3		0.2079	5.68	1.18
<b>EQUIPOS</b>					<b>13.77</b>
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 23 HP 11 P3	hm	1.0000	0.3636	26.60	9.67
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP	hm	1.0000	0.3636	5.48	1.99
HERRAMIENTO MANUAL	¼ MO		3.0000		2.10

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°38. COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRÓN + 3% CENIZA VOLANTE  
DE CARBÓN**

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRON + 3% C.V.C</b>					
<b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
<b>PARTIDA:</b> CONCRETO F'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> + 3% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN				<b>PRECIO:</b>	<b>SI. 319.50</b>
<b>UNIDAD:</b> M3		<b>RENDIMIENTO:</b>		22.00	M3/DIA
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>70.16</b>
CAPATAZ	hh	1.0000	0.36364	23.08	8.39
OPERARIO	hh	1.0000	0.36364	19.23	6.99
OFICIAL	hh	1.0000	0.36364	15.94	5.80
PEÓN	hh	8.0000	2.90909	14.33	41.69
OPERADOR DE EQUIPO	hh	1.0000	0.36364	20.05	7.29
<b>MATERIALES</b>					<b>235.57</b>
ARENA GRUESA	m3		0.2987	35.00	10.45
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3651	55.00	20.08
CEMENTO PORTLAND TIPO GU	bls		8.6353	20.50	177.02
CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	kg		11.3400	2.25	25.52
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1364	8.49	1.16
ACEITE MOTOR	gal		0.0045	34.60	0.16
ÁGUA	m3		0.2079	5.68	1.18
<b>EQUIPOS</b>					<b>13.77</b>
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 23 HP 11 P3	hm	1.0000	0.3636	26.60	9.67
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP	hm	1.0000	0.3636	5.48	1.99
HERRAMIENTO MANUAL	¼ MO		3.0000		2.10

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°39. COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRÓN + 4.5% CENIZA VOLANTE  
DE CARBÓN**

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRON +4.5% C.V.C</b>					
<b>TESIS</b> : «ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA»					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
<b>PARTIDA:</b> CONCRETO F'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> + 4.5% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN				<b>PRECIO:</b> <b>SI. 332.26</b>	
<b>UNIDAD:</b> M3		<b>RENDIMIENTO:</b> 22.00		M3/DIA	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>70.16</b>
CAPATAZ	hh	1.0000	0.36364	23.08	8.39
OPERARIO	hh	1.0000	0.36364	19.23	6.99
OFICIAL	hh	1.0000	0.36364	15.94	5.80
PEÓN	hh	8.0000	2.90909	14.33	41.69
OPERADOR DE EQUIPO	hh	1.0000	0.36364	20.05	7.29
<b>MATERIALES</b>					<b>248.33</b>
ARENA GRUESA	m3		0.2987	35.00	10.45
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3651	55.00	20.08
CEMENTO PORTLAND TIPO GU	bls		8.6353	20.50	177.02
CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	kg		17.0100	2.25	38.27
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1364	8.49	1.16
ACEITE MOTOR	gal		0.0045	34.60	0.16
AGUA	m3		0.2079	5.68	1.18
<b>EQUIPOS</b>					<b>13.77</b>
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 23 HP 11P3	hm	1.0000	0.3636	26.60	9.67
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP	hm	1.0000	0.3636	5.48	1.99
HERRAMIENTO MANUAL	% MO		3.0000		2.10

*Fuente: Elaboración Propia*

**ANEXO N°40. COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRÓN + 6% CENIZA VOLANTE  
DE CARBÓN**

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>COSTO UNITARIO DE CONCRETO PATRON + 6% C.V.C</b>					
<b>TESIS</b> : *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA*					
<b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN					
<b>PARTIDA:</b> CONCRETO F'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> + 6% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN				<b>PRECIO:</b>	<b>SI. 345.01</b>
<b>UNIDAD:</b> M3		<b>RENDIMIENTO:</b>		22.00	M3/DIA
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>70.16</b>
CAPATAZ	hh	1.0000	0.36364	23.08	8.39
OPERARIO	hh	1.0000	0.36364	19.23	6.99
OFICIAL	hh	1.0000	0.36364	15.94	5.80
PEÓN	hh	8.0000	2.90909	14.33	41.69
OPERADOR DE EQUIPO	hh	1.0000	0.36364	20.05	7.29
<b>MATERIALES</b>					<b>261.08</b>
ARENA GRUESA	m3		0.2987	35.00	10.45
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3651	55.00	20.08
CEMENTO PORTLAND TIPO GU	bls		8.6353	20.50	177.02
CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	kg		22.6800	2.25	51.03
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1364	8.49	1.16
ACEITE MOTOR	gal		0.0045	34.60	0.16
AGUA	m3		0.2079	5.68	1.18
<b>EQUIPOS</b>					<b>13.77</b>
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 23 HP 11 P3	hm	1.0000	0.3636	26.60	9.67
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP	hm	1.0000	0.3636	5.48	1.99
HERRAMIENTA MANUAL	% MO		3.0000		2.10

*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°41. CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS UNITARIOS

	<p><b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b></p>	
	<p><b>COMPARATIVO DE COSTO UNITARIO</b></p>	
<p><b>TESIS</b> : "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO DOSIFICACIONES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EN LA MEZCLA"</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> CONTRERAS CUEVA, KAROL NATALY PEÑA VILLALOBOS, JOSÉ STEVEN</p>		
	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
	CONCRETO PATRÓN	S/. 293.97
	CONCRETO PATRÓN + 1.5% C.V.C	S/. 306.74
	CONCRETO PATRÓN + 3% C.V.C	S/. 319.50
	CONCRETO PATRÓN + 4.5% C.V.C	S/. 332.26
	CONCRETO PATRÓN + 6% C.V.C	S/. 345.01

*Fuente: Elaboración Propia*

## ANEXO N°42. PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 5.3:** Cantera Barreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.4:** Producción de la Cantera Barreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.5:** Agregado Grueso de la Cantera Barreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.6:** Agregado Fino de la Cantera Barreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.7:** Muestra del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.8:** Muestra del Agregado Fino



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.9:** Cuarteo del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.10:** Cuarteo del Agregado Fino



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.11:** Peso de Agregado Grueso para Contenido de Humedad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.12:** Muestra en el Horno de Agregado Grueso para Contenido de Humedad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.13:** Peso de Agregado Fino para Contenido de Humedad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.14:** Muestra en el Horno de Agregado Fino para Contenido de Humedad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.15:** Materiales para el Peso Específico del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.16:** Peso Sumergido del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.17:** Granulometría del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.18:** Tamizado del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.19:** Granulometría del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.20:** Peso del Agregado Fino Tamizado



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.21:** Peso Unitario del Agregado Grueso



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.22:** Peso Unitario del Agregado Fino



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.23:** Pisonado Agregado Fino



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.24:** Peso del Picnómetro con Masa y Agua



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.25:** Peso del material para Ensayo Abrasión Los Ángeles



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.26:** Vaciado del material en máquina de Ensayo Abrasión Los Ángeles



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.27:** Ensayo Abrasión Los Ángeles



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.28:** Material de Desgaste por Abrasión



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.29:** Peso Final del Desgaste por Abrasión



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.30:** Ensayo para el Peso específico de la Ceniza Volante de Carbón



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.31:** Trompo para Mezcla de Concreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.32:** Molde de Probeta Cilíndrica (0.15m x 0.30m)



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.33:** Mezcla del Concreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.34:** Probetas Cilíndricas de Concreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.35:** Curado de Probetas Cilíndricas de Concreto



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.36:** Recipiente para calentar el compuesto para el Capeado de Probetas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.37:** Dispositivo de alineación para Capeado de Probetas



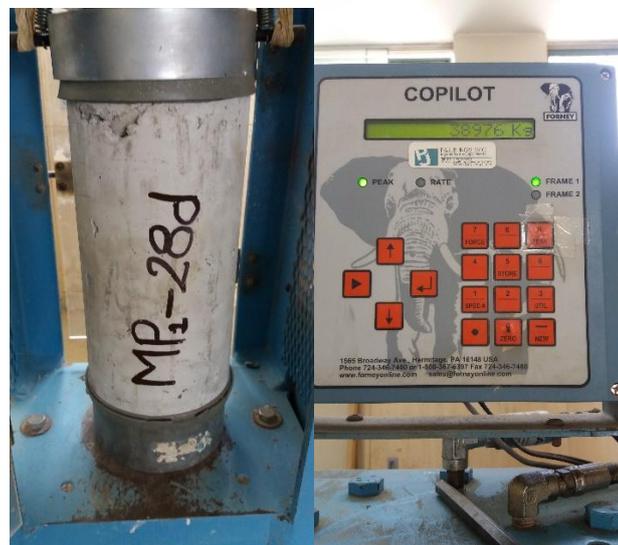
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.38:** Probetas de Concreto Capeadas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.39:** Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón



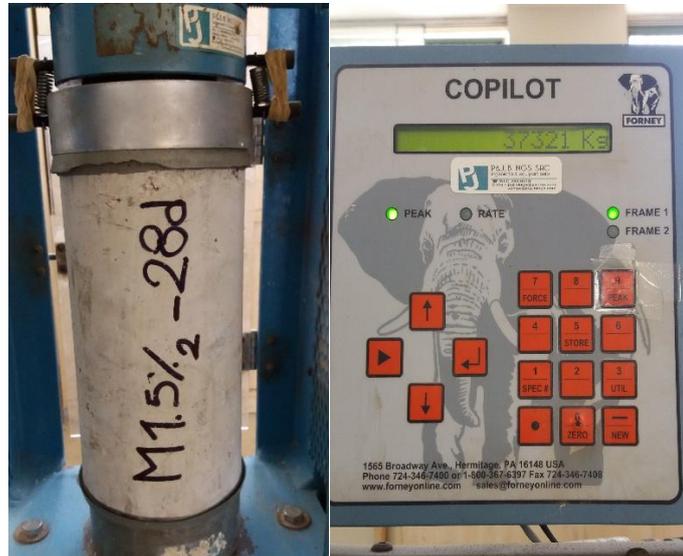
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.40:** Probeta Fisurada Concreto Patrón



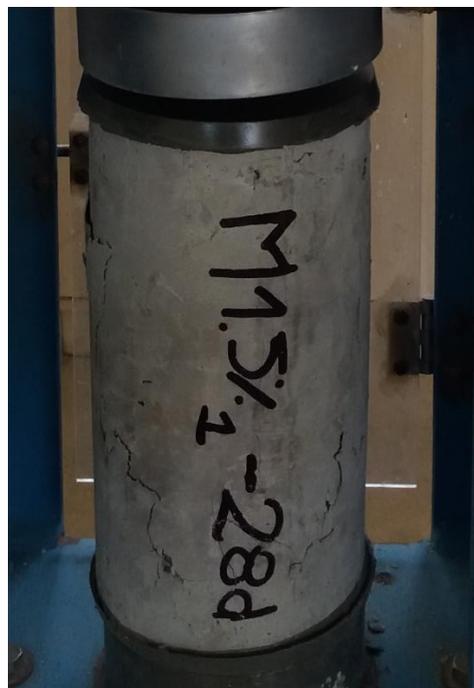
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.41:** Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 1.5% de Ceniza Volante



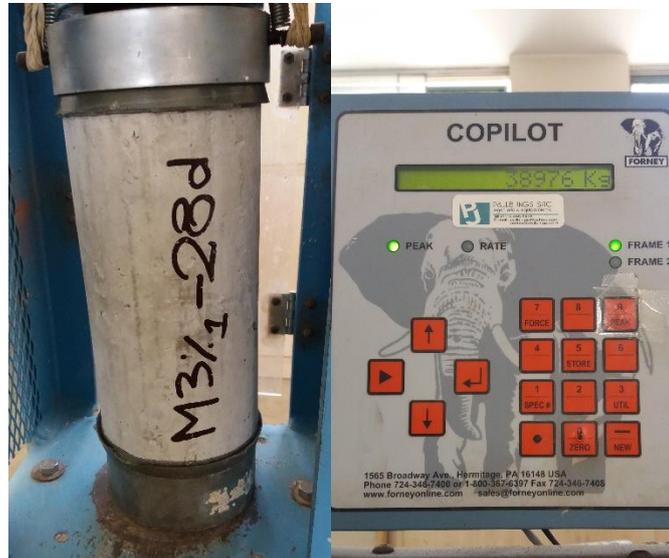
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.42:** Probeta Fisurada Concreto Patrón + 1.5% de Ceniza Volante



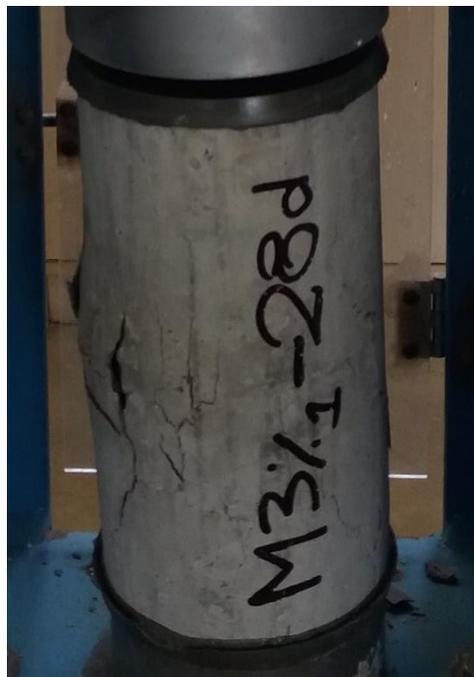
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.43:** Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 3% de Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.44:** Probeta Fisurada Concreto Patrón + 3% de Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.45:** Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 4.5% de Ceniza Volante



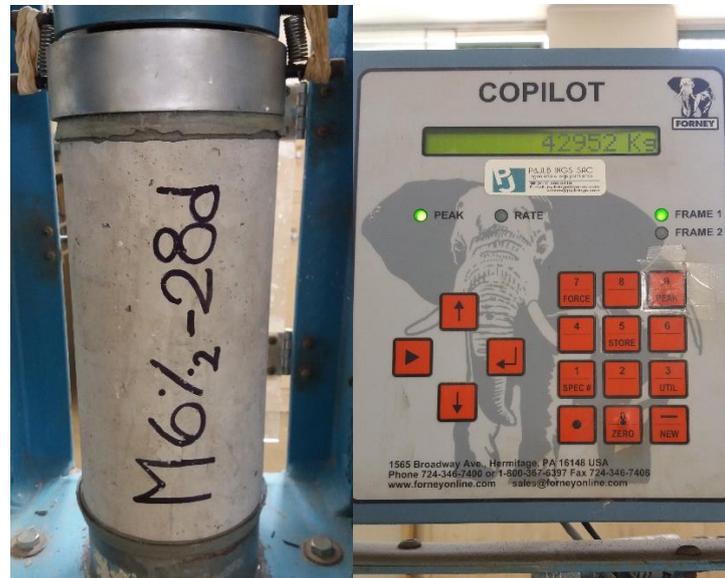
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.46:** Probeta Fisurada Concreto Patrón + 4.5% de Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.47:** Ensayo a la Compresión de Concreto Patrón + 6% de Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.48:** Probeta Fisurada Concreto Patrón + 6% de Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.49:** Visita a la Planta de Sika Perú en Lurín para ensayo de Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.50:** Probetas Para el Ensayo de la Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.51:** Adaptación de Probetas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.52:** Máquina para cortar las Probetas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.53:** Cortado de Probetas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.54:** Probetas Adaptadas para la máquina de Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.55:** Máquina para ensayo a la Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.56:** Probetas Ensayadas a Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.57:** Control de Presión Constante de Agua



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.58:** Abriendo pase de agua para cada Probeta



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.59:** Probetas después de permanecer bajo presión de agua



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.60:** Rotura de Probeta bajo Tracción Indirecta



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.61:** Medición de Penetración de Agua en la Probetas



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.62:** Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.63:** Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 1.5% Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.64:** Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 3% Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.65:** Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 4.5% Ceniza Volante



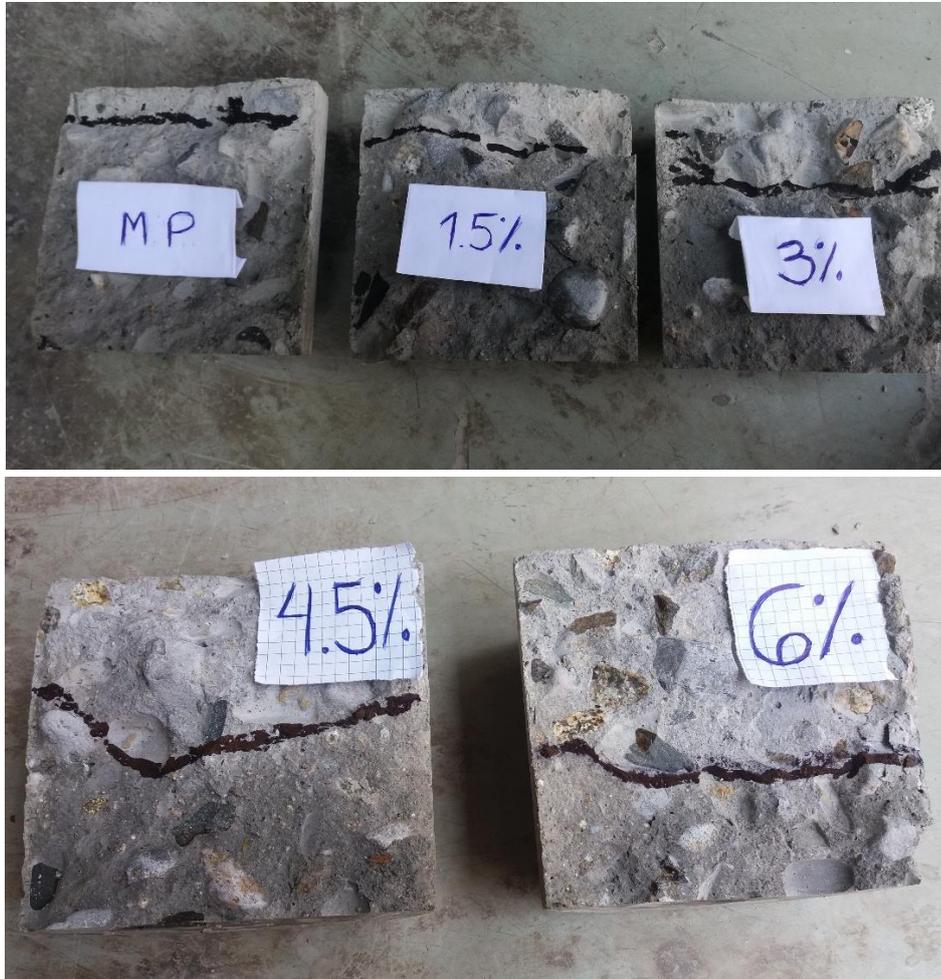
*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.66:** Resultado del Ensayo a la Permeabilidad de la Muestra Patrón + 6% Ceniza Volante



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 5.67:** Comparativa de Resultados de Ensayo a la Permeabilidad



*Fuente: Elaboración Propia*