

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE  
ALTA RESISTENCIA INICIAL DE UNA MARCA DE CEMENTO  
ECUATORIANA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**MARÍA FERNANDA BARRAGÁN ESQUIVEL**

**mafer.barragan2010@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. MERCEDES VILLACIS TRONCOSO, M. Sc**

**mercedes.villacis@epn.edu.ec**

**DMQ, septiembre 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, MARÍA FERNANDA BARRAGÁN ESQUIVEL declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**MARÍA FERNANDA BARRAGÁN ESQUIVEL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MARÍA FERNANDA BARRAGÁN ESQUIVEL, bajo mi supervisión.

---

**ING. MERCEDES VILLACIS, MSC.  
DIRECTOR**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**REVISOR1 DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**REVISOR2 DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

“A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultando del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas”.

(Reglamento de graduación de EPN)

MARÍA FERNANDA BARRAGÁN

ING. MERCEDES VILLACIS, M. Sc.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Pilar y Alonso por ser el pilar de mi vida, quienes con su apoyo y su esfuerzo han logrado guiarme y convertirme en la persona que soy ahora.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis padres Alonso y Pilar por guiarme en este camino, por la fortaleza que me brindan para seguir adelante en cada circunstancia y permitirme llegar hasta este importante momento de mi vida, gracias por sus sacrificios en todos estos años que me ayudaron a cumplir muchas metas y sueños.

A mis hermanas Jenny y Cris por siempre apoyarme en cada momento y nunca dejarme que me rinda en ninguna circunstancia.

A mis amigos German y Kleber por brindarme su apoyo y amistad por todo este tiempo de carrera universitaria, siempre apoyándome y levantándome cuando lo necesitaba.

A mis amigos por estar siempre guiándome con su esfuerzo.

Al laboratorio del LEMSUR por ayuda en los ensayos que hicieron posible este trabajo de titulación.

A mi tutora Ing. Mercedes Villacis, por el apoyo y paciencia en el desarrollo de este trabajo, por los consejos que he recibido con sus conocimientos a lo largo de mi trabajo y vida universitaria.

Al laboratorio de materia condensada de física con sus ensayos esta tesis no habría sido posible

# TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
TABLA DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.5 ENFOQUE .....	2
1.6 PRÁCTICA .....	3
1.7 MATERIALES .....	3
1.7.1 CEMENTO .....	3
1.7.2 TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS .....	3
1.7.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	4
1.7.4 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO .....	8
1.7.5 ETAPAS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN EL CEMENTO .....	15
1.7.6 ARENA .....	16
2 METODOLOGÍA .....	18
2.1 ENSAYOS .....	18
CEMENTO .....	18
2.1.1 DENSIDAD REAL .....	18
2.1.2 DENSIDAD APARENTE .....	21
RIPIO .....	24
2.1.3 GRANULOMETRÍA .....	24

2.1.4	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN .....	28
2.1.5	DENSIDAD APARENTE .....	32
2.1.6	ABRASIÓN .....	35
<b>ARENA .....</b>		<b>39</b>
2.1.7	DENSIDAD APARENTE .....	39
2.1.8	GRANULOMETRÍA .....	40
2.1.9	COLORIMETRÍA .....	43
2.1.10	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN .....	44
<b>2.2 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.....</b>		<b>47</b>
2.2.1	Selecciones de proporciones .....	48
2.2.2	Asentamiento y tamaño máximo de los agregados .....	48
2.2.3	Estimación de la cantidad de agua necesaria .....	48
2.2.4	Selección de la relación agua- cemento.....	49
2.2.5	Estimaciones de la cantidad de agregado grueso .....	49
<b>3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>53</b>
<b>3.1 Pruebas .....</b>		<b>53</b>
3.1.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	53
3.1.2	RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE CONCRETO.....	55
3.1.3	PERMEABILIDAD .....	56
3.1.4	COMPRESIÓN DE CUBOS .....	57
3.1.5	DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	58
<b>3.2 Resultados .....</b>		<b>60</b>
3.2.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	60
3.2.2	RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE CONCRETO.....	63
3.2.3	PERMEABILIDAD .....	65
3.2.4	COMPRESIÓN DE CUBOS .....	66
3.2.5	DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	70
<b>3.3 Conclusiones .....</b>		<b>74</b>
<b>3.4 Recomendaciones .....</b>		<b>75</b>
<b>4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>76</b>
<b>5 ANEXOS .....</b>		<b>76</b>
ANEXO 1 .....		77
ANEXO 2.....		78
ANEXO 3.....		79



ANEXO 4.....	80
ANEXO 5.....	81
ANEXO 6.....	82
ANEXO 7.....	83
ANEXO CEMENTO.....	84
ANEXO AGREGADOS .....	86
ANEXO ENSAYOS.....	92
ANEXO DRX 1D .....	96
ANEXO DRX 3D .....	97
ANEXO DRX 7D .....	98
ANEXO DRX 28D .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. 1. Composición química del cemento Portland</i>	5
<i>Tabla 1. 2. Composición química de los diferentes tipos de cemento</i>	5
<i>Tabla 1. 3 Granulometría de la arena de sílice 20 – 30</i>	17
<i>Tabla 1. 4 Propiedades básicas de la arena de sílice 20 – 30</i>	17
<i>Tabla 1. 5 Propiedades químicas de la arena de sílice 20 – 30</i>	18
<i>Tabla 2. 1 Densidad real del cemento</i>	21
<i>Tabla 2. 2 Densidad suelta del cemento</i>	23
<i>Tabla 2. 3 Densidad compactada del cemento</i>	23
<i>Tabla 2. 4 Requisitos de gradación para árido grueso</i>	24
<i>Tabla 2. 5. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso</i>	25
<i>Tabla 2. 6. Análisis granulométrico del agregado grueso</i>	27
<i>Tabla 2. 7 Coeficiente del árido grueso</i>	28
<i>Tabla 2. 8 Peso mínimo para ensayo de absorción</i>	30
<i>Tabla 2. 9 P.E y absorción del agregado grueso</i>	32
<i>Tabla 2. 10 Capacidad de los moldes</i>	33
<i>Tabla 2. 11 Densidad suelta del agregado grueso</i>	35
<i>Tabla 2. 12 Densidad compactada del agregado grueso</i>	35
<i>Tabla 2. 13 Gradación De La Muestra De Ensayo.</i>	36
<i>Tabla 2. 14 Carga Abrasiva</i>	37
<i>Tabla 2. 15 Datos para el ensayo de abrasión</i>	38
<i>Tabla 2. 16 Ensayo de abrasión</i>	39
<i>Tabla 2. 17 Densidad suelta del agregado fino</i>	40
<i>Tabla 2. 18 Densidad compactada del agregado fino</i>	40
<i>Tabla 2. 19. Requisitos de gradación para árido fino</i>	41
<i>Tabla 2. 20 Datos para análisis granulométrico en agregado fino</i>	42
<i>Tabla 2. 21 Resultados del análisis granulométrico del agregado fino</i>	42
<i>Tabla 2. 22 Resultados del P.E y absorción del agregado fino</i>	47
<i>Tabla 2. 23 Datos del cemento</i>	50
<i>Tabla 2. 24 Datos de la arena</i>	50
<i>Tabla 2. 25 Datos del ripio</i>	50
<i>Tabla 2. 26 Parámetros para la dosificación</i>	52
<i>Tabla 2. 27 Resultados de volumen de arena</i>	52
<i>Tabla 2. 28 Dosificación en peso de los agregados</i>	53

<i>Tabla 3. 1 Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 3. 2 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 1 día .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3. 3 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 1 día .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3. 4 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 3 días .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3. 5 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 3 días .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. 6 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 7 días.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. 7 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 7 días .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. 8 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 28 días.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. 9 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 28 días .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. 10 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 1 día.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3. 11 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 1 día .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3. 12 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 3 días .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3. 13 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 3 días.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3. 14 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 7 días.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3. 15 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 7 días.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3. 16 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 28 días .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3. 17 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 28 días.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3. 18 Resultados del ensayo de permeabilidad a cilindros .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3. 19 Datos para ensayo a compresión en cubos a 1 día .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3. 20 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 1 día.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3. 21 Datos para ensayo a compresión en cubos a 3 días .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3. 22 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 3 días .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3. 23 Datos para ensayo a compresión en cubos a 7 días .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3. 24 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 7 días .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3. 25 Datos para ensayo a compresión en cubos a 28 días .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3. 26 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 28 días .....</i>	<i>69</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Microestructura de la Alita _____	6
Figura 1. 2 Microestructura de la Belita _____	7
Figura 1. 3 Microestructura de la Celita y Ferrita _____	8
Figura 1. 4 Morfología de los diferentes tipos de C-S-H de acuerdo con S. Diamond. _____	9
Figura 1. 5. Silicato de calcio hidratado _____	9
Figura 1. 6 Portlandita _____	10
Figura 1. 7 Esquema del proceso de hidratación en una pasta a edad temprana _____	11
Figura 1. 8 Pasta de cemento hidratada $Ca(OH)_2$ y $C - S - H$ _____	11
Figura 1. 9 Representación esquemática de la hidratación de la pasta con una lata relación a/c hecha con un cemento Portland con alto contenido C3A _____	12
Figura 1. 10 Gel de Sílice a) acicular b) tubos c) cenizas volantes de hormigón (CSH) _____	13
Figura 1. 11 Placas de Portlandita _____	14
Figura 1. 12 Agujas de Etringita en poro _____	15
Figura 1. 13 Representación esquemática de los cambios en el proceso de hidratación _____	15
Figura 1. 14. Arena de sílice ASTM 20 - 30 _____	17
Figura 2. 1. Frasco de Le Chatelier.....	19
Figura 2. 2. Determinación de la densidad real del cemento .....	20
Figura 2. 3 Determinación densidad aparente del cemento.....	22
Figura 2. 4 Ensayo granulométrico del agregado grueso.....	26
Figura 2. 5 Curva granulométrica del árido grueso.....	28
Figura 2. 6 Ensayo de densidad del agregado grueso .....	30
Figura 2. 7 Ensayo de la absorción .....	31
Figura 2. 8 Características de la máquina de los ángeles.....	36
Figura 2. 9 Curva granulométrica del agregado fino .....	42
Figura 2. 10 Ensayo de colorimetría .....	43
Figura 2. 11 Resultado del contenido orgánico del agregado fino .....	44
Figura 2. 12 P.E y absorción del agregado fino .....	46
Figura 2. 13 Muestra para difracción de rayos X.....	60
Figura 3. 1 Esquema de los patrones típicos de fractura.....	54
Figura 3. 2 Ensayo a compresión.....	55
Figura 3. 3 Ensayo el cilindro a tracción .....	56
Figura 3. 4 Ensayo de permeabilidad al cilindro .....	57
Figura 3. 5 Elaboración de cubos de mortero .....	58

<i>Figura 3. 6 Curva de endurecimiento en compresión de cilindros .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3. 7 Curva de permeabilidad .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3. 8 Curva de endurecimiento en compresión de cubos .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3. 9 Mineralogía presente al primer día de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3. 10 Mineralogía presente al tercer día de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3. 11 Mineralogía presente a siete días de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3. 12 Mineralogía presente a veintiocho días de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3. 13 Cantidad de minerales a las diferentes edades .....</i>	<i>73</i>

## RESUMEN

La finalidad del presente trabajo tiene como objetivo analizar los componentes presentes en el cemento de alta resistencia inicial a las diferentes edades, así como su resistencia a la compresión en cubos y cilindros y análisis por difracción en rayos x.

Para dicho propósito se realizaron ensayos a los compuestos del mortero con sus respectivas normas permitiendo analizar el desempeño de cada compuesto y determinando sus parámetros de desempeño. Los parámetros servirán lograr una dosificación eficiente y comprobar la resistencia del cemento.

Las propiedades físicas analizadas fueron desarrollados y evaluadas con ensayos de densidades, la elaboración de cubos de morteros ensayados a compresión al 1, 3, 7 y 28 días y elaboración de cilindros de hormigón para la determinación a compresión y tracción. Para las propiedades químicas se desarrolló en ensayo de difracción de rayos x en polvos de mortero a edades mencionadas anteriormente.

De los resultados de ensayos físicos, permite identificar la curva de endurecimiento del hormigón, y del ensayo químico se permite evidenciar la presencia de Etringita, Portlandita y Tobermorita en el cemento.

**PALABRAS CLAVE:** Curva de endurecimiento, Cemento HE, Difractograma, DRX, Hidratación del cemento

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to analyze the components present in high initial strength cement at different ages, as well as its compressive strength in cubes and cylinders and x-ray diffraction analysis.

For this purpose, mortar compounds were evaluated with their respective standards to analyze the performance of each compound and determine their performance parameters. The parameters will be used to achieve an efficient dosage and to check the strength of the cement.

The physical properties analyzed were developed and evaluated with density tests, the elaboration of mortar cubes evaluated in compression at 1, 3, 7 and 28 days and the elaboration of concrete cylinders for the determination of compression and traction. For the chemical properties, an x-ray diffraction test was conducted on mortar powders at the ages mentioned above.

From the results of the physical tests, the hardening curve of the concrete can be identified, and from the chemical test, the presence of Ettringite, Portlandite and Tobermorite in the cement can be evidenced.

**KEY WORDS:** Cement, Hardening curve.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En la construcción el cemento es un material muy utilizado porque tiene características idóneas que ayudan a mejorar la resistencia de una edificación, además de aportarle una vida útil prolongada y resistencia a otros factores externos.

El cemento Portland al ser el más utilizado para la construcción tiene diferentes características lo que hace que tenga una clasificación que depende del uso, para el presente trabajo se estudiará el cemento de alta resistencia inicial es decir el Tipo III (ASTM C150). El cual se va a analizar en las diferentes etapas durante la hidratación del cemento, el cual tiene como característica principal que tiene un alto porcentaje de alita o C3S en su composición.

Este cemento es utilizado para obtener resistencias tempranas, se lo puede utilizar en el caso que la estructura necesite de reparaciones o intervenciones en donde se requiera que el fraguado sea mucho más rápido sin que se afecte la resistencia a compresión de los elementos, ya que un material de reparación de calidad a menudo requiere fraguado y endurecimiento rápido, buena adhesión, compatibilidad con el concreto existente, y resistencia a la corrosión.

Es importante comprender el proceso de hidratación y desarrollo de la resistencia a la compresión del cemento tipo III a medida que aumenta su edad.

Se discutirá adicionalmente la forma de reacción de alita como componente principal en este tipo de cemento ya que para obtener esta resistencia temprana se necesita un alto porcentaje de este debido a que es el primero en reaccionar y generar cristales dentro del proceso de hidratación.

El conocer y diferenciar la manera correcta del proceso de hidratación del cemento es de suma importancia, debido a que ayuda al entendimiento del uso correcto del cemento y adecuado razonamiento del proceso de hidratación del cemento.

Las características del mortero que se va a utilizar deben ser acertadas a medida que este va adquiriendo más edad ya que facilitará la comprensión de sus propiedades en todo el proceso

#### 1.1 Objetivo general

El objetivo primordial de este trabajo es estudiar del proceso de hidratación del cemento de alta resistencia inicial de una marca ecuatoriana, identificando los diferentes fases, propiedades físicas y químicas, dentro de las etapas del proceso.

#### 1.2 Objetivos específicos

1. Identificar la presencia de Portlandita, tobermorita y etringita en el cemento.



2. Analizar la resistencia a compresión de una muestra de mortero con alta resistencia inicial a los 1,3,7 y 28 días
3. Identificar la cantidad de hidróxido de calcio y silicato de calcio que existe en el proceso de hidratación del cemento con alta resistencia inicial en el proceso de endurecimiento
4. Evaluar los resultados obtenidos durante el proceso de hidratación del cemento mediante una prueba de difracción de rayos X (DRX) en muestras de cemento a los 1,3,7 y 28 días
5. Determinación de la resistencia a la compresión y resistencia a la tracción de cilindros de cemento de alta resistencia inicial a la edad de 1, 3, 7 y 28 días

### **1.3 Alcance**

Se pretende realizar una revisión del estado del arte del proceso de hidratación del cemento y aplicarlo al cemento de alta resistencia inicial de una marca ecuatoriana, el cual presenta grandes propiedades como resistencia, flexibilidad y adhesión.

Se utilizarán ensayos de composición química y difracción de rayos X para analizar cuantitativamente el desarrollo de las reacciones generadas por el contacto del cemento con el agua y los cambios microestructurales de la pasta de cemento.

El análisis se realizará mediante ensayos a diferentes edades para poder determinar los componentes que reaccionan y sus productos, cuantificando las reacciones por medio del ensayo de termogravimetría y determinando las propiedades físicas mecánicas que acompañan este proceso.

El análisis se analizará en pastas de cemento y morteros elaborados con cemento de alta resistencia inicial a la edad de 1,3,7 y 28 días

### **1.4 Marco teórico**

### **1.5 ENFOQUE**

El presente estudio pretende establecer de manera cuantitativa y cualitativa, la importancia de entender y diferenciar el proceso de hidratación del cemento ya que ayuda al correcto uso del cemento y conocimiento del proceso de hidratación y características del mortero a medida que avanza el tiempo por medio de ensayos del cemento tanto físicos y químicos (ensayo de difracción de Rx y composición química) así como varios ensayos descritos a continuación:

- Resistencia a la compresión de cilindros
- Resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto
- Resistencia cubica de morteros

## **1.6 PRÁCTICA**

Se determinará las diferentes características de 48 muestras de cubos de mortero y cilindros de hormigón a las edades de 1, 3, 7 y 28 días, realizando un análisis de las propiedades de los elementos utilizados como cemento, arena y ripio, verificando su calidad por medio de Normas nacionales e internaciones como el ASTM e INEN.

La hidratación del cemento es parte fundamental del proceso de curado del hormigón y depende de su composición química, este análisis permitirá una correcta utilización en la industria de la construcción, de tal manera que el cemento de alta resistencia inicial sea aprovechado correctamente cuyo potencial es adquirir una resistencia a una edad temprana.

## **1.7 MATERIALES**

### **1.7.1 CEMENTO**

En la industria de la construcción, el cemento es considerado como un material con adherencia y cohesión lo que permite que las partículas minerales se unan adecuadamente, formando una masa densa y duradera. (Luna Hermosa, 2014)

En la construcción con hormigón, el término cemento se refiere específicamente al cemento Portland, que tiene la capacidad de endurecerse en presencia de agua. Este proceso se llama hidratación, de ahí el nombre de cemento hidráulico (Sánchez de Guzmán, 2001)

A lo largo de los años han surgido varios tipos de cemento hidráulico, el elemento más utilizado por ser económico cemento Portland, este cemento es un material calcáreo y arcilloso que puede alcanzar temperaturas muy elevadas de hasta 1500 °C, es un polvo fino compuesto por minerales cristalinos artificiales, 90% de calcio y silicato de aluminio. Estos minerales trabajan con compuestos formadores de agua para dar a la sustancia endurecida ciertas propiedades de piedra. (Luna Hermosa, 2014)

### **1.7.2 TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS**

Con el tiempo, se deben cumplir ciertos requisitos físicos y químicos para los cuales se producen diferentes tipos de cemento Portland. Las especificaciones estándar para estos

tipos de cemento y métodos de prueba se describen en la norma ASTM C-150 de la siguiente manera:

- **Tipo I:** No se requieren propiedades especiales especificadas para otros tipos de cemento.
- **Tipo IA:** Cemento mezclado con aire para el mismo propósito que el tipo I, donde se debe agregar aire
- **Tipo II:** Para uso general, más específicamente cuando se requiere resistencia moderada a los sulfatos o calor de hidratación moderado
- **Tipo IIA:** Cemento ligado al aire para el mismo propósito que el tipo II, se requiere la adición de aire.
- **Tipo III:** Para uso donde se requiera alta resistencia inicial
- **Tipo IIIA:** Cemento ligado al aire para el mismo propósito que el tipo III, se requiere la adición de aire.
- **Tipo IV:** Se utiliza cuando se requiera un bajo calor de hidratación
- **Tipo V:** Se utiliza cuando se requiera alta resistencia a los sulfatos

En Ecuador existe una normativa designada por la INEN 2380, donde establece ciertos tipos de cementos descritos de la siguiente manera:

- **Tipo GU:** Para la construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.
- **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.

### 1.7.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las propiedades del cemento estarán en relación con los minerales formados en el Clinker, que en esencia son cuatro:

Los silicatos de calcio tricálcico y di cálcico representados por el C3S y el C2S, son los componentes principales del Clinker de cemento Portland, generalmente representan del

75% al 85% de la cantidad total, y son los compuestos ideales para las propiedades cementantes (Luna Hermosa, 2014)

**Tabla 1. 1. Composición química del cemento Portland**

	NOMBRE DEL COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
A)	Silicato tricálcico	3 CaO.SiO <sub>2</sub>	C3S
B)	Silicato dicálcico	2 CaO.SiO <sub>2</sub>	C2S
C)	Aluminio tricálcico	3 CaO.SiO <sub>2</sub>	C3A
D)	Ferro aluminato tetracálcico	3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C4AF
E)	Yeso natural	$\frac{1}{2}$ CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
F)	Oxidos menos de Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, P, Fe		

**Fuente: Luna G, 2014**

**Elaborado por: M. Fernanda Barragán**

Los aluminatos y ferritos de calcio, representados por C3, C4AF y C2F, tienen la posibilidad de tener en cuenta como elementos inevitables e indispensables, pues materias primas continuamente tienen algo de AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y su importancia como corrientes a lo largo del proceso de Clinker. Generalmente, conforman un 10% a 20% del Clinker (Luna Hermosa, 2014)

Los sulfatos se mantienen persistentemente en fracciones de hasta un 3% debido al azufre de las materias primas o del combustible transferido al Clinker, con una presencia significativa en las propiedades del cemento. (Luna Hermosa, 2014)

**Tabla 1. 2. Composición química de los diferentes tipos de cemento**

CEMENTO PORTLAND	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %			
	C3S	C2S	C3A	C4AF
Tipo I	48	27	12	8
Tipo II	40	35	5	13
Tipo III	60	13	9	8
Tipo IV	25	50	5	12
Tipo V	38	37	4	9

**Fuente: (Ramachandran, 2002)**

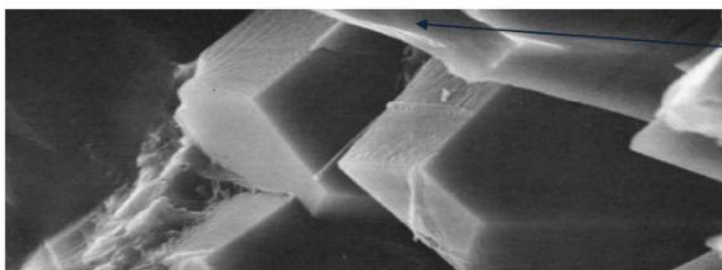
**Elaborado por: M. Fernanda Barragán**

### **1.7.3.1 Silicato Tricálcico ( $C_3S$ )**

También conocida como Alita, es la fase principal en la mayoría de los Clinker Portland y está compuesta por un 73,7% de cal y un 26,3% de ácido silícico. Este compuesto muestra cristales poligonales bien estructurados que varían en tamaño con la cristalización.

El silicato tricálcico básicamente contribuye a la resistencia inicial porque tiene una alta tasa de hidratación, por lo que también tiene un alto calor de hidratación. Se cree que su calor de hidratación en cemento con una alta proporción de silicato tricálcico muestra un mejor efecto del ciclo de congelación-descongelación. Por su alto calor de hidratación, se recomienda su uso en climas fríos. (Portugal, s/f)

Es el silicato más inestable presente en el cemento y reacciona con el agua para formar silicato de calcio hidratado e hidróxido de calcio conocido como gel de tobermorita. (Alejandro Giraldo & Iván Tobón, 2006)



**Cristales de Alita**

*Figura 1. 1 Microestructura de la Alita*

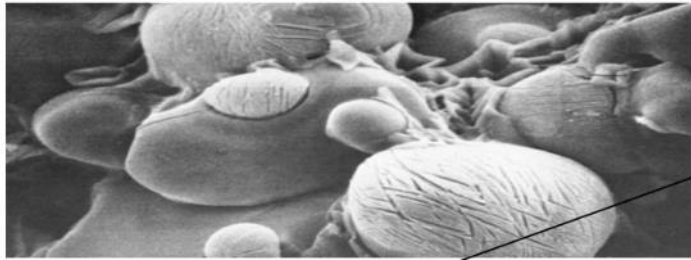
*Fuente: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

### **1.7.3.2 Silicato bicálcico ( $C_2S$ )**

También conocida como belita, es la segunda fase más importante del Clinker, compuesta por un 65,1% de cal y un 34,9% de ácido silícico, presenta cristales subjetivamente más anchos, de aristas redondeadas y de tamaño variable.

El silicato di cálcico tiene una tasa de hidratación lenta y un poder calorífico bajo de 62 cal/g. El silicato di cálcico contribuye poco a la resistencia inicial debido a su velocidad de fraguado lenta. (Portugal, s/f)

Cuando se hidrata, también forma un gel de tobermorita e hidróxido de calcio, pero a diferencia de la alita, produce menos hidróxido de calcio. (Alejandro Giraldo & Iván Tobón, 2006)



Cristales de Belita

*Figura 1. 2 Microestructura de la Belita*

*Fuente: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

### **1.7.3.3 Aluminato tricálcico ( $C_3A$ )**

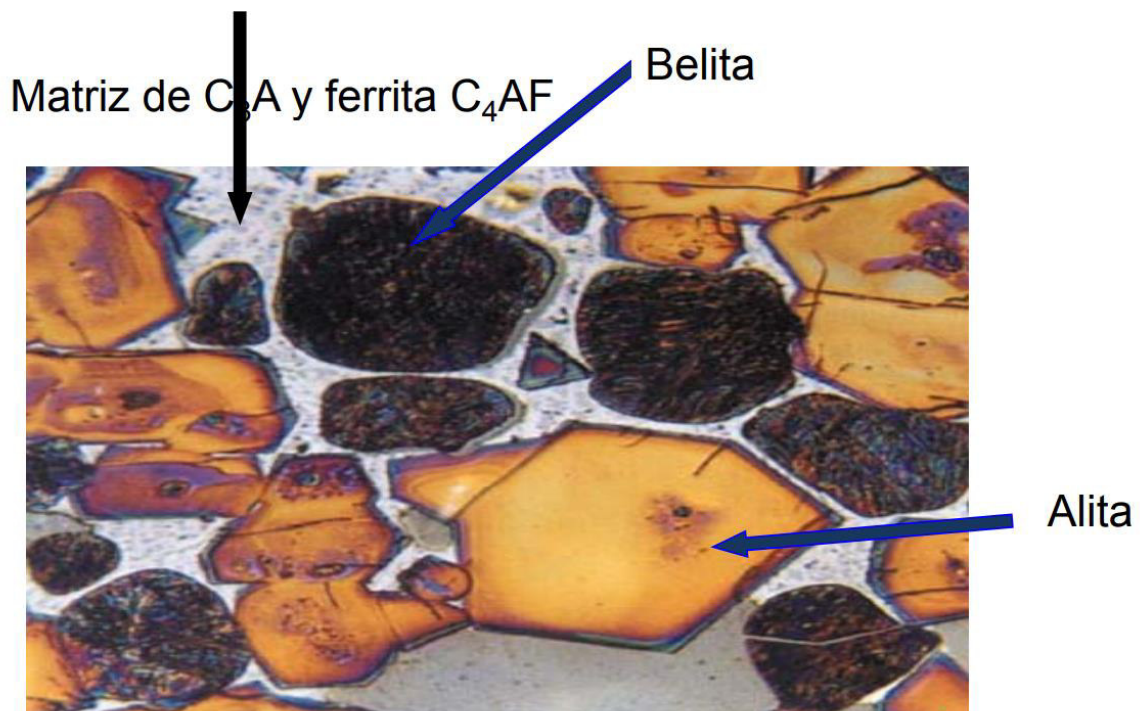
El aluminato tricálcico, también conocido como tierra de diatomeas, está compuesto por un 62,3 % de cal y un 37,7 % de alúmina. Este compuesto mostró un color oscuro en la prueba microscópica del Clinker, después del aluminato alcalino, es el primer compuesto de cemento en reaccionar con el agua. Se fija a una tasa de hidratación bastante alta, casi instantáneamente, por lo que la adición de sulfato de calcio es esencial para controlar esa tasa de hidratación.

El aluminato tricálcico ayuda a mantenerse en las primeras horas y tiene un calor de hidratación bastante alto de 207 cal/g. A medida que aumenta el contenido de aluminato tricálcico en el cemento, la capacidad de resistencia a los sulfatos tiende a disminuir. El aluminato tricálcico es muy sensible a la acción de los sulfatos y cloruros, porque el aluminato tricálcico se hidrata para formar la sal de hidrato aluminato tricálcico, que promueve la formación del llamado sulfoaluminato de calcio hidratado químicamente de Bacillus cementus, el compuesto responsable de la forma más peligrosa de la corrosión del hormigón. (Portugal, s/f)

### **1.7.3.4 Ferro aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ )**

El aluminato de hierro tetracálcico (III), también conocido como ferrita, se compone de 46,1 % de cal, 21 % de alúmina y 32,9 % de óxido de hierro. El compuesto tiene un calor de hidratación de 100 cal/g, alta estabilidad química y es rico en este compuesto. Los cementos compuestos tienen propiedades especiales de procesamiento. En todos los

casos, la durabilidad es más importante que la resistencia mecánica a los productos químicos agresivos. (Portugal, s/f)



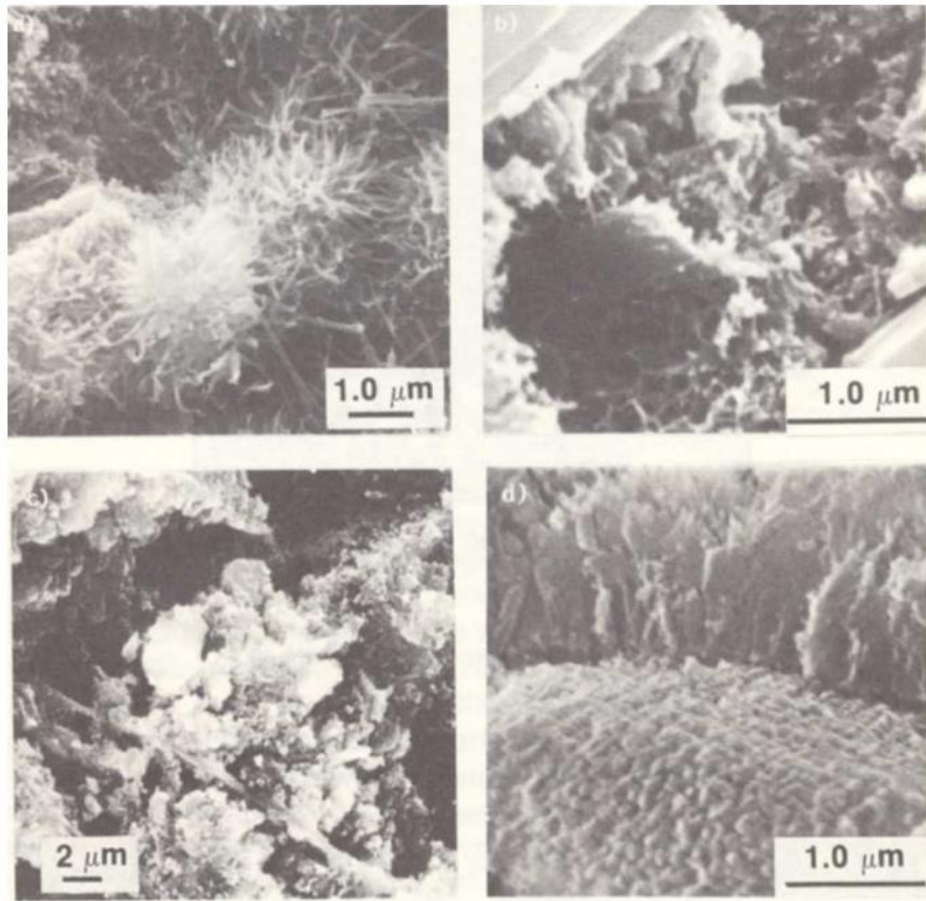
*Figura 1. 3Microestructura de la Celita y Ferrita*

*Fuente: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

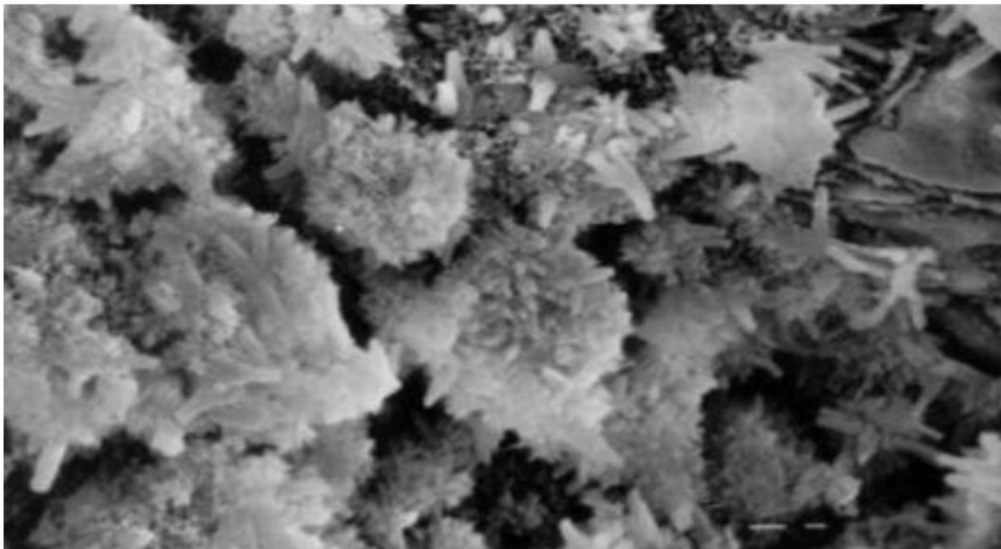
#### **1.7.4 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO**

El cemento es un aglutinante que interactúa con el agua en el que los silicatos y aluminatos se convierten en productos de hidratación. El hidrato principal es el silicato de calcio. El mecanismo que se muestra en la hidratación comienza con la introducción de compuestos más solubles en la fase de agua ionizada, seguida de la precipitación para formar compuestos hidratados cristalinos.

El proceso de hidratación del silicato de calcio es casi el mismo, solo difiere la proporción de  $Ca(OH)_2$  (también conocido como silicato). Los productos de hidratación son silicato de calcio hidratado ( $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ) en forma de gel de silicato de calcio hidratado ( $C - S - H$ ) y silicato ( $Ca(OH)_2$ ).  $C - S - H$  es responsable de la resistencia, mientras que el hidróxido de calcio o silicato es responsable de mantener un pH alto que protege la armadura. (Neville, 2010)



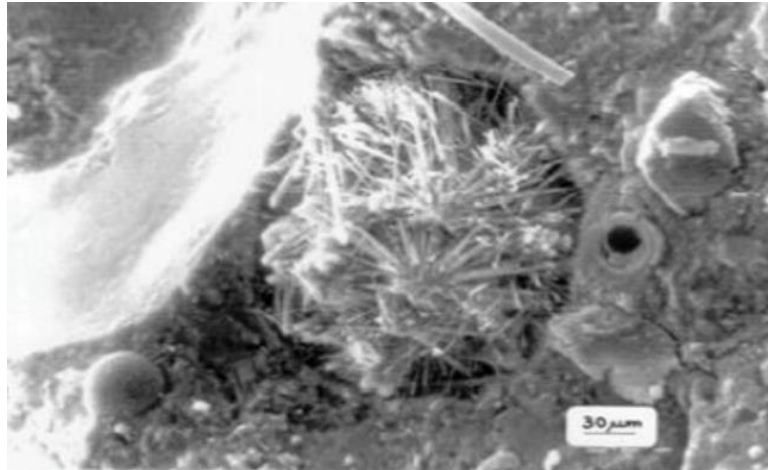
*Figura 1. 4 Morfología de los diferentes tipos de C-S-H de acuerdo con S. Diamond.  
Fuente S. Diamond*



*Figura 1. 5. Silicato de calcio hidratado  
Fuente: S.N. GHOSH, Cement and Concrete science and technology, 1991*



El C3A reacciona con el yeso para formar un sulfoaluminato de calcio insoluble llamado etringita

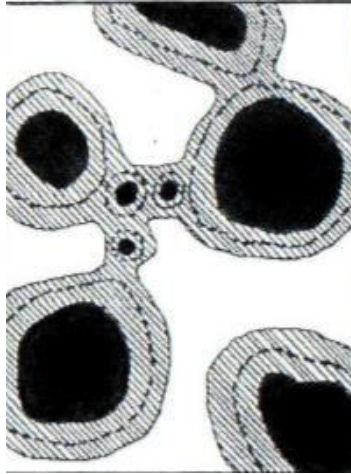


**Figura 1. 6 Portlandita**

**Fuente: S.N. GHOSH, Cement and Concrete science and technology, 1991**

C4AF reacciona de manera similar al C3A, pero es mucho más lento y actúa como un fundente. El yeso no solo reacciona con el C4AF para formar ferrita de calcio y sulfoaluminato de calcio, sino que su presencia puede acelerar la hidratación de los silicatos. (Neville, 2010)

Después de que un área de partículas de cemento está en contacto con el agua por un período de tiempo, la partícula de cemento comienza a hidratarse, similar a la corrosión del metal. La superficie de reacción entró gradualmente en el interior de las partículas de cemento. La difusión de la solución sobresaturada a través de los poros pequeños (geles) en la red sólida formada inicialmente por los productos de hidratación conduce la zona de reacción hacia los poros más grandes (capilares). Los nuevos productos de hidratación se precipitan de la solución en poros llenos de aire o agua lo suficientemente grandes como para formar nuevas fases sólidas y formar dominios de floculación. Además, los materiales hidratados se pueden dividir en internos y externos. (Neville, 2010)



**Figura 1. 7 Esquema del proceso de hidratación en una pasta a edad temprana**

**Fuente: (Barriga, 2007)**

La tasa de hidratación continúa disminuyendo independientemente de cómo se asiente el producto, por lo que es bueno incluso con el tiempo.

Las propiedades físicas del silicato de calcio hidratado son importantes para la composición y las propiedades de fraguado y fraguado del cemento porque forma estos hidratos, que a menudo se describen como amorfos, y el  $Ca(OH)_2$  se libera por hidrólisis del silicato de calcio. El silicato de calcio forma placas hexagonales delgadas (Portugal, s/f)

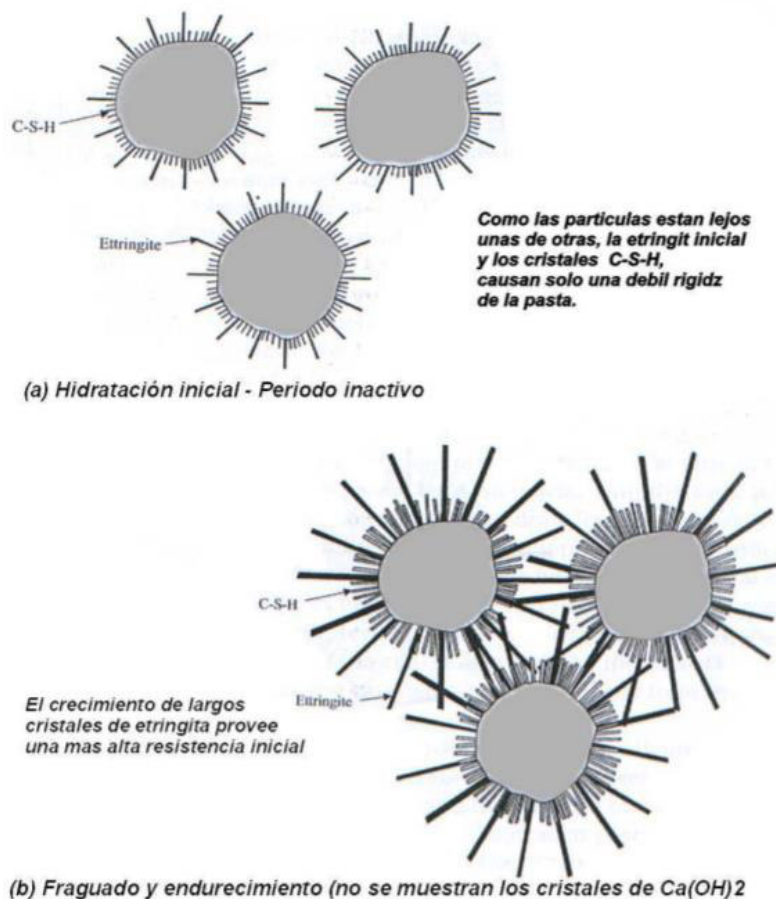


**Figura 1. 8 Pasta de cemento hidratada  $Ca(OH)_2$  y C – S – H**

**Fuente: (Barriga, 2007)**

Es interesante describir el papel del C3A en la hidratación del cemento incluso a altas concentraciones de este compuesto, cuando la relación agua/cemento es baja, debido al rápido crecimiento de su hidrato (etringita) entre las partículas de cemento. Causará pérdida de trabajabilidad cuando se usa con una alta relación agua-cemento, efecto muy interesante, el cemento alto C3A tendrá una mayor resistencia inicial que el cemento bajo C3A, el proceso se ilustra en el diagrama a continuación.

El esquema que se muestra en la figura anterior se puede utilizar para describir el mecanismo de las mezclas de menor proporción. A menor relación agua/cemento se obtiene una mayor resistencia mecánica ya que habrá menor separación entre las partículas y mayor adherencia entre las partículas de cemento C-S-H, resultando en mayor adherencia entre ellas. (Portugal, s/f)

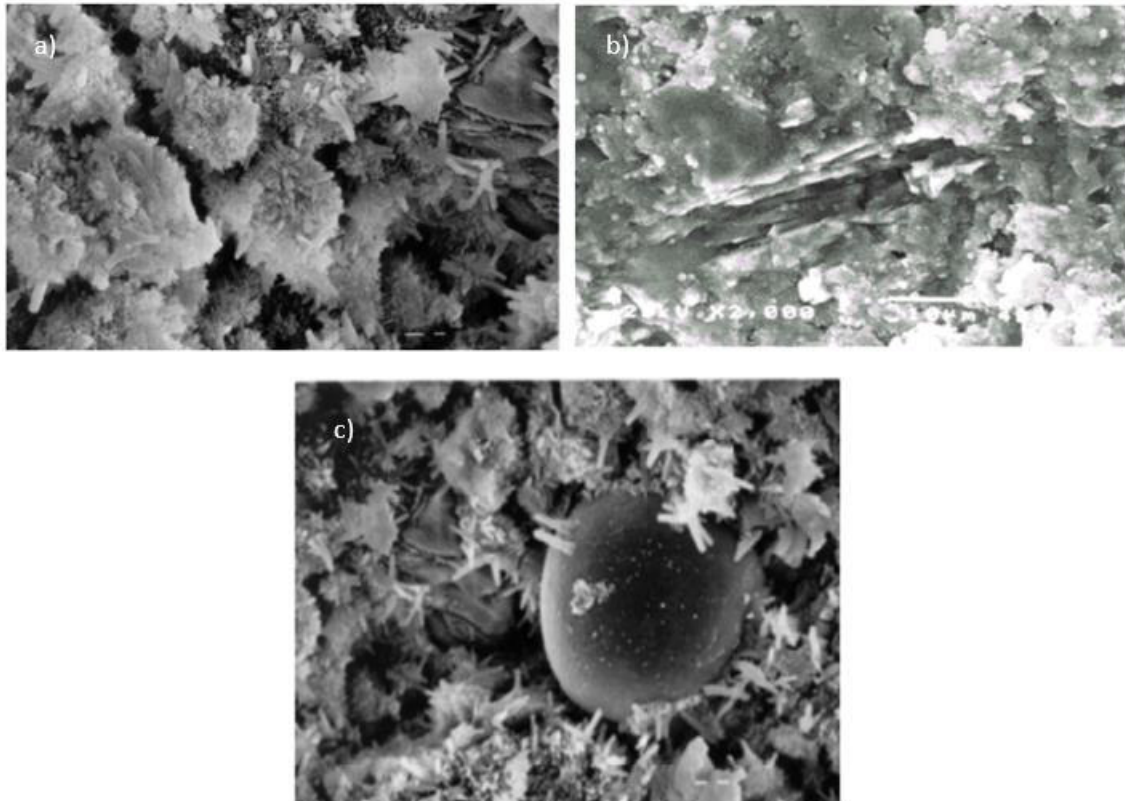


**Figura 1. 9 Representación esquemática de la hidratación de la pasta con una lata relación a/c hecha con un cemento Portland con alto contenido C3A**

**Fuente: (Barriga, 2007)**

## TOBERMORITA GEL (CSH)

Es un componente esencial y siempre activo del proceso, ya que es responsable de la estructura interna de las pastas de cemento, de la adherencia del mortero y del hormigón a los áridos y, en última instancia, de la resistencia mecánica de estos aglomerantes. (Calleja Carrete, 2001)

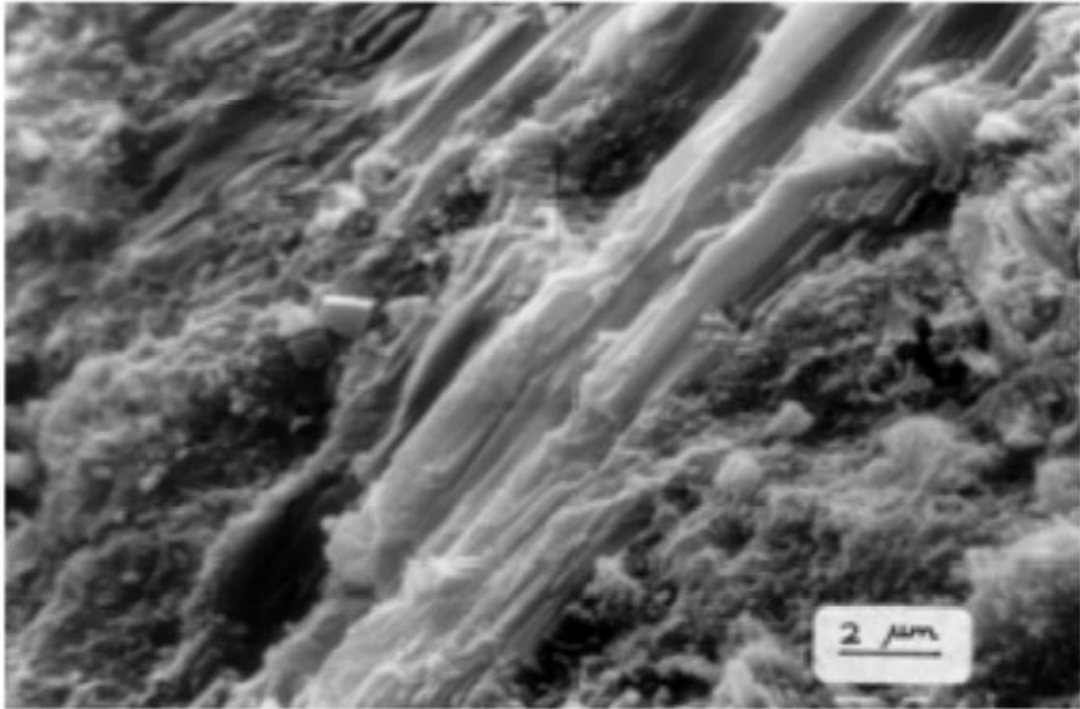


*Figura 1. 10 Gel de Sílice a) acicular b) tubos c) cenizas volantes de hormigón (CSH)  
FUENTE: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL  
CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

## PORTLANDITA (HIDRÓXIDO DE CALCIO)

Tienen un efecto positivo siempre que desempeñen un papel en el mantenimiento del pH de la pasta en un valor alto (12-13). Actúa como una reserva alcalina y protege el hormigón armado de daños. Corrosión electroquímica. Esto es, también para hormigones y morteros con áridos de cal. Esto se debe a que en este caso la adherencia entre el árido y la pasta es mayor que para el árido de sílice.

También tiene efectos adversos, como ser altamente soluble en agua y disolverse fácilmente, y reacciona con el sulfato para cristalizarse como un dihidrato, causando hinchazón y destrucción, y luego formando etringita. (Calleja Carrete, 2001)

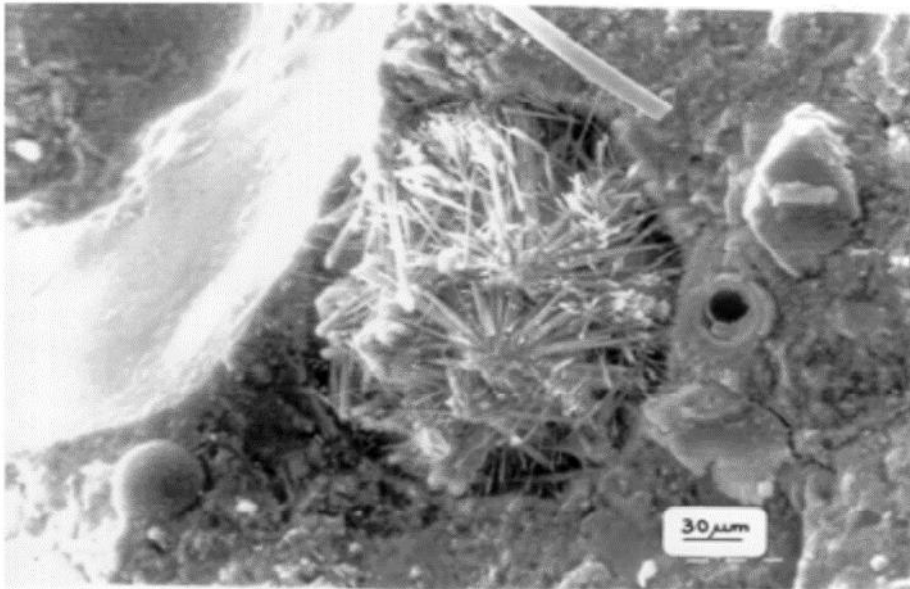


*Figura 1. 11 Placas de Portlandita*

*FUENTE: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

### **ETRINGITA (TRISULFOALUMINATO DE CALCIO)**

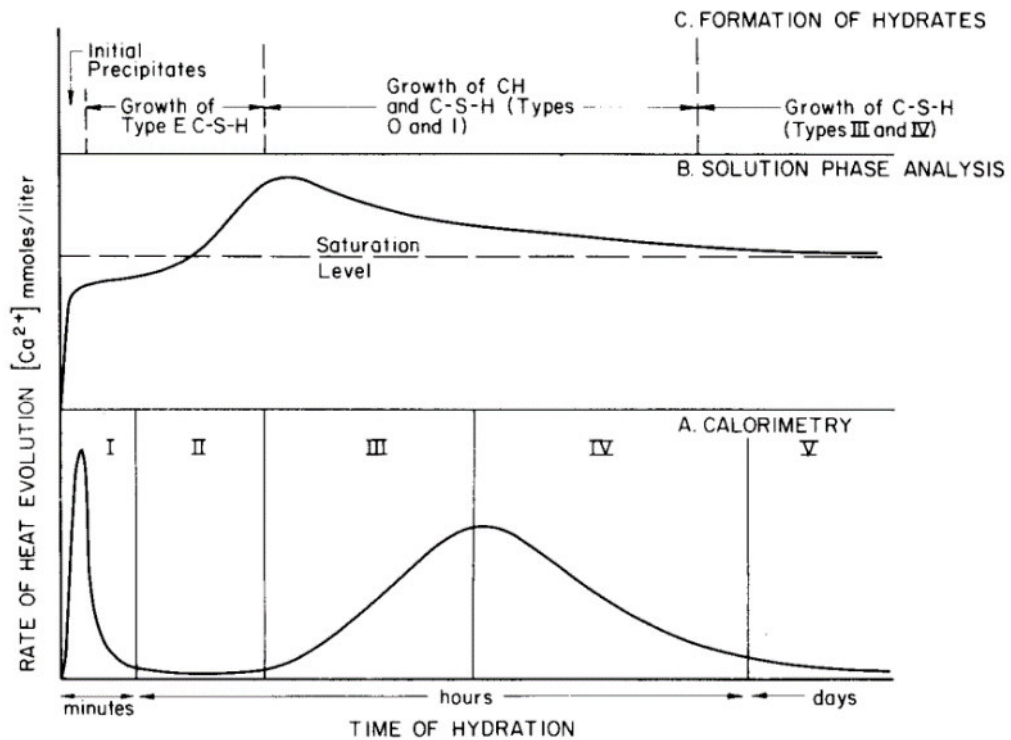
Los cristales alargados de etringita, a menudo en forma de fibras o varillas alargadas, forman una estructura similar a una red que ayuda a que el cemento se una mejor. Esto se debe a que las sustancias que causan la expansión a menudo se encuentran en las grietas y, por lo tanto, son etringita positivas. La etringita se encuentra comúnmente en grietas en concreto dañado, alrededor de partículas de agregado o en pequeñas grietas en pastas de cemento. El hinchamiento asociado con la formación de etringita depende de las condiciones de curado (Alejandro Giraldo & Iván Tobón, 2006)



*Figura 1. 12 Agujas de Etringita en poro*

*FUENTE: (Moragues Terrades ETS Caminos & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, s/f)*

### 1.7.5 ETAPAS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN EL CEMENTO



*Figura 1. 13 Representación esquemática de los cambios en el proceso de hidratación*

*Fuente: (Ramachandran, 2002)*

## **ETAPA 1**

Periodo inicial o de preinducción

Cuando se mezcla el silicato tricálcico (*C3S*) con agua y hay una rápida evolución de calor que cesa de 15 – 20 minutos. *C3S* se disuelve superficialmente suministrando *C – S – H*

## **ETAPA 2**

Periodo de durmiente

Reducción de velocidad y el consumo de agua y la cantidad de hidratos formados son muy pequeños. Este se extiende por varias horas, en esta etapa el cemento sigue en estado plástico y manejable.

## **ETAPA 3**

Inicio de fraguado, continuación de la hidratación del *C3S* y *C3A* desprendimiento calor.

Fina del fraguado y comienzo del endurecimiento inicial

## **ETAPA 4**

Periodo de desaceleración

Crecimiento de *C – S – H*. disminución del calor de hidratación y de la velocidad de reacción. El pico es estringita

## **ETAPA 5**

Periodo de difusión

Crecimiento de la capa de *C – S – H* hasta que no haya *C3S* que hidratar

### **1.7.6 ARENA**

#### **1.7.6.1 ARENA DE SÍLICE**

Para el presente trabajo se utilizará la arena normalizada de sílice. La arena 20-30, es una arena estandarizada clasificada que pasa el tamiza N.º 20 (850 µm) y retenida en un tamiz N.º 30 (600 µm) que está regida por la norma ASTM C778



**Figura 1. 14. Arena de sílice ASTM 20 - 30**

Las propiedades de la rena de sílice 20 -30 son establecidas por la U.S Sílica Company, donde se obtiene la información como la granulometría detallada en la tabla 1.3, las propiedades básicas en la tabla 1.4, y las propiedades químicas en la tabla 1.5. Datos que serán utilizados para su uso del material en los diferentes ensayos.

**Tabla 1. 3 Granulometría de la arena de sílice 20 – 30**

TAMIZ		VALORES ESTÁNDAR		
N°	MILIMETROS	%RETENIDO		% PASANTE
		INDIVIDUAL	ACUMULADO	ACUMULADO
16	1.18	0	0	100
20	0.85	1	1	99
30	0.6	97	98	2
BANDEJA		2	100	0

**Fuente:** (ASTM Sands | U.S. Silica, *sf*)

**Elaborado por:** M. Fernanda Barragán

**Tabla 1. 4 Propiedades básicas de la arena de sílice 20 – 30**

PROPIEDADES	
Ph	7
Color	Blanco
Mineral	Cuarzo
Dureza (Mohs)	7
Punto de fusión (°F)	3100
Gravedad específica	2.65
Forma de la partícula	Redondo

**Fuente:** (ASTM Sands | U.S. Silica, *sf*)

**Elaborado por:** M. Fernanda Barragán



*Tabla 1. 5 Propiedades químicas de la arena de sílice 20 – 30*

ANÁLISIS QUÍMICO (%)		
SiO <sub>2</sub>	Óxido de silicio	99.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de aluminio	0.06
TiO <sub>2</sub>	Óxido de titanio	0.01
CaO	Óxido de calcio	<0.01
MgO	Óxido de magnesio	<0.01
Na <sub>2</sub> O	Óxido de sodio	<0.01
K <sub>2</sub> O	Óxido de potasio	<0.01
LoI	Pérdida por ignición	0.1

*Fuente: (ASTM Sands | U.S. Silica, s/f)*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 ENSAYOS

#### CEMENTO

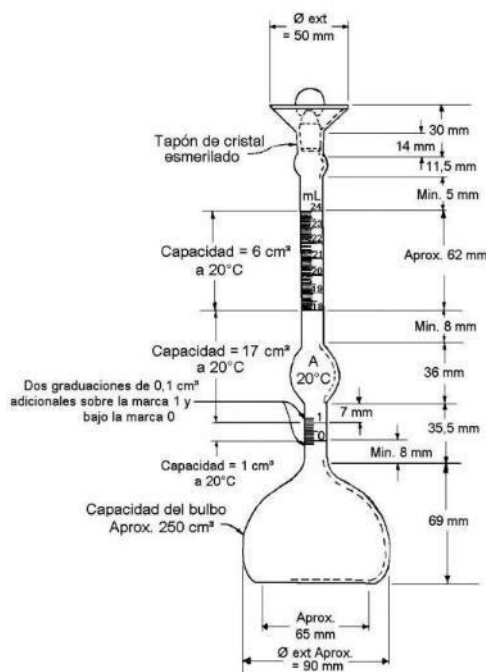
##### 2.1.1 DENSIDAD REAL

Para cualquier tipo de obra civil, uno de los materiales más relevantes y de uso directo es el cemento, por lo que es importante comprender sus propiedades físicas y químicas. La densidad del mismo ayudará a tener una iniciativa clara de cómo se comportará el cemento una vez que sea mezclado con diversos materiales. Esta densidad real tiene un valor aproximado de 3.10gr/cm<sup>3</sup> y podría ser afectada por agentes externos como el clima. (Luna Hermosa, 2014)

##### Método del frasco de Le Chatelier

El principio de la botella de Le Chatelier está relacionado con el hecho de que el estado de equilibrio químico permanece constante mientras no cambien las condiciones del sistema. Si cambian parámetros como la presión, la temperatura o la concentración de diferentes

especies en equilibrio, se mueve en cierta dirección (hacia reactivos o productos) hasta que se alcanza un nuevo estado de equilibrio.



**Figura 2. 1. Frasco de Le Chatelier**

## PROCEDIMIENTO

1. Colocar la cantidad de reactivo en el matraz Le Chatelier de manera que no sobrepase el cuello inferior (de 0 cm<sup>3</sup> a 1 cm<sup>3</sup>).
2. Sumergir la botella en un baño de agua a una temperatura de 23°C ± 2°C. Después de reposar, anote el volumen inicial (L1) y el peso de la botella de reactivo (P1).
3. Usar un embudo y una espátula, aplique la muestra de aglomerante en pequeñas porciones para evitar que se pegue al cuello de la botella. El proceso continúa hasta que el nivel de reactivo en la parte superior del cuello esté entre 18 y 24 cm<sup>3</sup>, aproximadamente.
4. Colocar el tapón en la botella, enróllela en ángulo y gírela con cuidado en posición horizontal para liberar el aire hasta que las burbujas de aire ya no suban a la superficie del líquido; esto es para sacar todo el aire del aglomerante.
5. Colocar el matraz en un baño de agua para evitar fluctuaciones de temperatura entre el comienzo y el final de la prueba.

6. Registrar la lectura del volumen final (L2) y el peso de la botella que contiene los reactivos y la muestra (P2).



**Figura 2. 2. Determinación de la densidad real del cemento**

**Foto: M. Fernanda Barragán**

## RESULTADOS

$$\rho_{Real} = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \frac{gr}{cm^3}$$

Donde,

$$\rho_{Real} = \text{Densidad real, } \frac{g}{cm^3}$$

$P1 = \text{Peso de frasco con gasolina, } g$

$P2 = \text{Peso de frasco con gasolina y cemento, } g$

$L1 = \text{Lectura volumétrica en frasco inicial, } cm^3$

$L2 = \text{Lectura volumétrica en frasco final, } cm^3$

## EJEMPLO DE CÁLCULO

$$\rho_{Real} = \frac{378.9 - 326.9}{18.4 - 1.0} = 2.99 \frac{gr}{cm^3}$$

*Tabla 2. 1 Densidad real del cemento*

Muestra	Volumen Inicial	Peso Inicial	Temperatura Inicial	Volumen Final	Peso Final	Temperatura Final	Densidad Real
	cm <sup>3</sup>	g	C	cm <sup>3</sup>	g	C	g/cm <sup>3</sup>
1	1	326.9	22	18.4	378.9	23	2.99
2	0.6	326.1	23	18.5	382.8	24	3.17
3	0.5	326.4	23	18.6	382.3	24	3.09
4	0.7	312	22	18.8	367.4	24	3.06

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## **Norma de Referencia**

Para este ensayo se tomará como la base la norma internacional ASTM C-188 – 17 “Standard test Method For Density Of Hydraulic Cement” y como norma nacional la INEN 156 – 2009 “Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad”

### **2.1.2 DENSIDAD APARENTE**

Densidad es propiedad importante de los aglomerantes porque podemos predecir el comportamiento que tendrá cuando entre en contacto con un agente como agua, gasolina, etc.

Con el desarrollo de la tecnología, es posible encontrar diversos productos que mejor se adapten a nuestras necesidades, por lo que es importante conocer o estar al tanto de los métodos por los cuales utilizamos las propiedades físicas y químicas.

## **PROCEDIMIENTO**

### **DENSIDAD SUELTA**

- a) Registrar el peso (P1) las dimensiones de diámetro y altura del molde.
- b) Llenar el molde hasta que rebose por la superficie superior
- c) Nivelar el cemento con una espátula para evitar vibraciones
- d) Limpiar el cemento derramado por fuera del molde y determinar el peso del recipiente de cemento (P2).

### **DENSIDAD COMPACTADA**

- a) Registrar el peso (P1) y las dimensiones de diámetro y altura del molde.

- b) Colocar el cemento en la tercera parte del molde con una pala, levantar el molde aprox. 2 cm y bájalo 25 veces.
- c) Continuar insertando material hasta el segundo tercio del molde, luego suelte 25 veces más.
- d) En el último tercio, llenar el tanque con cemento y se gotea otras 25 veces.
- e) Finalmente nivelar el recipiente, limpiar el exceso y pesar el molde y el cemento compactado (P2).



*Figura 2. 3 Determinación densidad aparente del cemento*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

## RESULTADOS

### Densidad Suelta

$$\gamma_{cs} = \frac{4(P_2 - P_1)}{\pi\phi^2h} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

### Densidad Compactada

$$\gamma_{cc} = \frac{4(P_2 - P_1)}{\pi\phi^2h} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Donde,

$$\gamma_{CS} = \text{Densidad suelta del cemento, } \frac{g}{cm^3}$$

$$\gamma_{CC} = \text{Densidad compactada del cemento, } \frac{g}{cm^3}$$

$$W_{CS} = \text{Peso del cemento compactado} = (P2 - P1)$$

$$P1 = \text{Peso del molde vacío, } g$$

$$P2 = \text{Peso del molde + cemento en estado suelto, } g$$

$$\emptyset = \text{Diámetro del molde, } cm$$

$$h = \text{Altura del molde, } cm$$

### EJEMPLO DE CÁLCULO

$$\gamma_{CS} = \frac{4 (475.5 - 152.9)}{\pi * 5.492^2 * 14.8} = 0.92 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

**Tabla 2. 2 Densidad suelta del cemento**

Muestra	Molde N	Peso de molde	Diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra suelta		Densidad Suelta	
		g	mm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	152.9	54.92	14.8	475.7	471.1	0.92	0.91
2	1	152.9	54.92	14.8				

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 2. 3 Densidad compactada del cemento**

Muestra	Molde N	Peso de molde	Diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra compactada		Densidad Compactada	
		g	mm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	152.9	54.92	14.8	596.3	618.3	1.26	1.33
2	1	152.9	54.92	14.8	634.6	607.5	1.37	1.30

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## Norma de Referencia

Para este ensayo se tomará como la base la norma internacional ASTM C 188 – 17 “Standard test Method For Density Of Hydraulic Cement” y como norma nacional la INEN 156 – 2009 “Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad”

## RIPIO

### 2.1.3 GRANULOMETRÍA

La determinación del tamaño de partícula se define como la distribución de partículas de suelo de diferentes tamaños expresada como porcentaje del peso seco total de la muestra.

La cantidad máxima de agregados que se utilizará en el concreto está determinada por la economía. El tamaño nominal máximo del conjunto es el tamaño de cuadrícula más pequeño que cabe en la mayoría de los agregados. El tamaño nominal máximo varía del 5% al 15% dependiendo del número de tamaño

*Tabla 2. 4 Requisitos de gradación para árido grueso*

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 <sup>A</sup>	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

<sup>A</sup> Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

*Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y grueso NTE INEN 696:2011)*

Para un correcto procedimiento se debe disgregar la muestra y continuar con el procedimiento tomando un valor representativo:

*Tabla 2. 5. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso*

<b>Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)</b>	<b>Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)</b>
9.5	1
12.5	2
19.0	5
25.0	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

*Fuente: ASTM C 136*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

Árido grueso. La cantidad mínima para la aplicación del método debe cumplir con la tabla 2.4, la cual depende del tamaño máximo que presenta.

## **PROCEDIMIENTO**

- a) Pesar la cantidad de agregado correspondiente al apartado citado anteriormente.
- b) Seleccionar la serie de tamices indicada en la Tabla N° 2.4 “*Requisitos de gradación para árido grueso*”, para agregado grueso y la Tabla N° 2.5 “*Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso*” en el caso de árido grueso. Para este último el tamaño está en función del tamaño nominal máximo, mismo que corresponde al elemento de mayor tamaño entre todas las partículas de la muestra; por lo que corresponderá a la mayor abertura del tamiz en el que ha sido retenido.
- c) Colocar de forma decreciente la serie de tamices ya fijada y vaciar al inicio de los tamices
- d) Tapar los tamices y colocarla en el agitador mecánico, de forma que los tamices queden ajustados y sin riesgo de caer.
- e) Agitar los tamices durante un período de tiempo suficiente, de al menos 5 minutos.



- f) Evitar sobrecargar el material sobre un determinado, situación que evitaría que todas las partículas puedan llegar a sus aberturas correspondientes, además de la deformación de la malla.

Se evita la sobrecarga en un tamiz individual, mediante:

- a) La inserción de un tamiz adicional de tamaño intermedio.
- b) La división de la muestra en dos o más porciones

Cabe recalcar que una inspección visual también permite delimitar si un agregado es uniforme contiene en su mayoría un mismo tamaño de partícula, para lo cual se aconseja trabajar con los tamaños de muestra mínimos solicitados.

- g) Validar el método con la opción de cribado manual, es decir, sostener un visor con la almohadilla inferior y la tapa en una mano, ligeramente inclinado y golpear la parte inferior del visor, apuntar con fuerza a la retícula, con la palma hacia arriba y apuntar a 150 rondas por minuto, y girar unos 60 grados cada 25 veces; este tamizado deberá realizarse durante un minuto de forma que el porcentaje de permeabilidad no supere el 2% de la masa del material retenido en el tamiz.
- h) Registrar los pesos retenidos en cada tamiz por medio de una balanza, aceptando como válido el proceso en caso de que la pérdida de la masa se menor al 0.3% con referencia a la masa inicial del ensayo.



*Figura 2. 4 Ensayo granulométrico del agregado grueso*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

## RESULTADOS

$$Cu = \frac{D60}{D30}$$

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

Donde,

*Cc = Coeficiente de curvatura*

*Cu = Coeficiente de uniformidad*

*D60 = Diametro por el cual pasa el 60% del suelo, en peso*

*D30 = Diametro por el cual pasa el 30% del suelo, en peso*

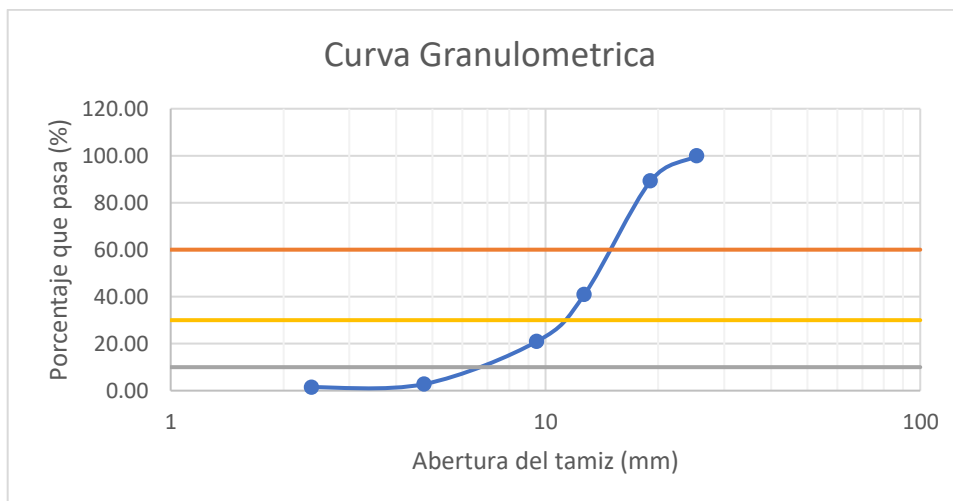
*D10 = Diámetro por el cual pasa el 10% del suelo, en peso*

Peso Inicial	10000	gr
--------------	-------	----

**Tabla 2. 6. Análisis granulométrico del agregado grueso**

Tamiz N	Abertura	Peso Retenido	Peso retenido acumulado	% Peso retenido acumulado	%Pasa
	mm	gr	gr		
1"	25.4	0	0	0	100.00
3/4"	19.1	1067.1	1067.1	10.68	89.32
1/2"	12.7	4837.5	5904.6	59.12	40.88
3/8"	9.5	1986.5	7891.1	79.01	20.99
4	4.75	1817.5	9708.6	97.21	2.79
8	2.38	132.7	9841.3	98.54	1.46
Bandeja		146	9987.3	100.00	0
Total		9987.3			

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*



**Figura 2. 5 Curva granulométrica del árido grueso**  
*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 2. 7 Coeficiente del árido grueso**

Módulo de Finura	2.46
D60	10.60
D30	10.20
D10	7.00
Coeficiente de uniformidad	1.039
Coeficiente de curvatura	1.402

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### **Noma de referencia**

Para el ensayo se tomará la base de la norma internacional ASTM C 136 “*Standard test Method For Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*”

### **2.1.4 PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN**

La absorción de agua se usa para calcular el cambio en la masa de agua que el agregado absorbe de los poros de la partícula en comparación con el estado seco, en el momento en que entra en contacto con el agua y alcanza la saturación, la absorción del potencial eléctrico es visible.

La prueba de absorción de ASTM implica secado al horno y condiciones SSD solamente. La principal diferencia entre estos dos estados de humedad es una combinación de agua que llena los poros y aire atrapado. La condición de humedad de los agregados en las existencias de campo suele estar entre paréntesis con las del estado SSD. Típicamente los agregados apilados están húmedos; algunos son "secos al aire" y contienen menos humedad de los poros que la condición SSD

## **PROCEDIMIENTO**

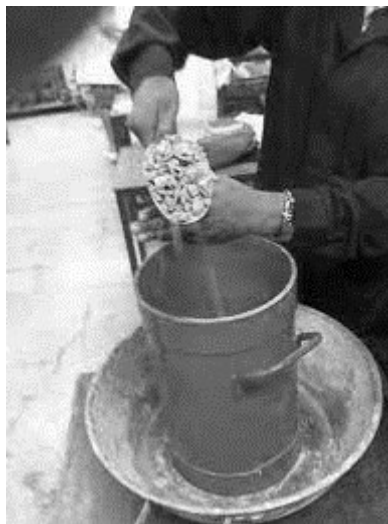
- a) Colocar la muestra en una bandeja u otro recipiente adecuado y secar en un horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta una masa constante y dejar que se enfríe a una temperatura a la que la muestra pueda funcionar.
- b) Lavar la muestra para eliminar partículas de material, polvo adherido al agregado grueso.
- c) Cubrir el espécimen con agua sumergiéndolo o agregándole agua para llenar sus poros con agua, para lograrlo déjelo reposar por 24 horas  $\pm$  4 horas.
- d) Sacar la muestra del agua y colocarla sobre un paño absorbente con el que frotamos hasta eliminar toda el agua visible (el relleno pierde su brillo), evitando la evaporación del agua.
- e) Determinar y registrar la muestra mínima basada en el tamaño nominal máximo y verifique las condiciones de saturación de la superficie (ver Tabla 2.8).
- f) Escribir el recipiente de muestra en el tanque de agua y agitar para eliminar las burbujas atrapadas en la cuadrícula.
- g) Determinar el peso del recipiente de la muestra.
- h) Colocar la muestra en el recipiente de muestra, sumergirla en el tanque de agua, agitar el sistema y medir el peso.
- i) La muestra se seca en un horno hasta obtener una masa constante.
- j) Retirar la muestra del horno y dejar que se enfríe hasta que esté lista para usar.
- k) Determinar el peso de la muestra seca.

*Tabla 2. 8 Peso mínimo para ensayo de absorción*

<b>Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm</b>	<b>Masa mínima de la muestra de la prueba (kg)</b>
12.5	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	140
125	75

*Fuente: ASTM C 127*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*



*Figura 2. 6 Ensayo de densidad del agregado grueso*

*Foto: M. Fernanda Barragán*



**Figura 2. 7 Ensayo de la absorción**  
**Foto: M. Fernanda Barragán**

## RESULTADOS

Peso específico

$$P_{esp} = \frac{P_3}{P_1 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Peso específico aparente

$$P_{apa} = \frac{P_3}{P_3 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Densidad S.S.S

$$P_{s.s.s} = \frac{P_1}{P_1 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Absorción de agua

$$Abs = \frac{P_1 - P_3}{P_3} * 100 [\%]$$

Donde,

$P_1$  = Peso de la muestra enb S.S.S, gr

$P_2$  = Peso de la muestra sumergida en agua, gr

$P_3$  = Peso de la muestra seca, en aire, gr

*Tabla 2. 9 P.E y absorción del agregado grueso*

Peso del material SSS (P1)	5264.3
Peso de la canastilla sum (Pc)	1198.1
Peso canas. + mat. SSS sum (Pc+m)	4314
P2	3115.9
Peso del material seco + Recip. (Pr+m)	6207.1
Peso del Recipiente (Pr)	1105.3
P3	5101.8
<b>Peso específico</b>	2.37
<b>Densidad S.S.S.</b>	2.45
<b>Absorción de agua</b>	3.19
<b>Peso específico aparente</b>	2.57

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

#### **Norma de referencia**

ASTM C127 “*Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*”

#### **2.1.5 DENSIDAD APARENTE**

La densidad es una propiedad física de un agregado que está determinada por la relación entre el peso y el volumen de una masa dada.

La densidad aparente se define como la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por las partículas de ese material, incluidos todos los poros saturados e insaturados.

*Tabla 2. 10 Capacidad de los moldes*

<b>Tamaño máximo nominal del árido mm</b>	<b>Capacidad nominal del molde m<sup>3</sup> [litros]</b>
12.5	0.0028 [2.8]
25.0	0.0093 [9.3]
37.5	0.014 [14]
75.0	0.028 [28]
100.0	0.070 [70]
125.0	0.100 [100]

*Fuente: NTE INEN 858 (2010)*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## **PROCEDIMIENTO**

### **Procedimiento por varillado (Compactado).**

- a) Determinar y registrar los datos del molde, es decir diámetro, altura y peso.
- b) Determinar aproximadamente la división de tres partes del molde para ensayo, mediante apreciación del técnico y/o marcas de ayuda en el recipiente.
- c) Recoger el material con la pala o cucharón y llenar la tercera parte del molde con el agregado.
- d) Compactar la primera capa de agregado, con 25 golpes vigorosos de la varilla, procurando que sean distribuidos alrededor de toda la capa y sin golpear el fondo del recipiente.
- e) Repetir el procedimiento para las dos capas restantes, evitando que la varilla penetre en la capa anterior y considerando en la tercera capa que el árido debe rebosar el borde del molde de forma que cuando se vaya compactando y con el último golpe de varillado quede al nivel del borde.
- f) Nivelar la superficie de la capa final del árido con los dedos o pasar la varilla de compactación en sentido horizontal de forma que las partículas del agregado se distribuyan adecuadamente en los espacios vacíos de la superficie.
- g) Cepillar los bordes del molde y del cuerpo y comprobar que la superficie de los áridos quede al ras con el borde del recipiente.



- h) Determinar la masa del molde y los agregados en él y registrar el valor en la hoja de datos principal con una aproximación de 0,05 kg.

### **Procedimiento por paladas (Suelto)**

- a) Determinar y registrar los datos del molde, es decir diámetro, altura y peso.
- b) Determinar aproximadamente la división de tres partes del molde para ensayo, mediante apreciación del técnico y/o marcas de ayuda en el recipiente.
- c) Utilizar una pala o balde para verter el material desde una altura máxima de aprox. 5 cm por encima del borde del molde hasta llenar el primer tercio de la altura del molde sin vibración ni compactación.
- d) Repetir el mismo procedimiento del paso anterior para las dos capas restantes, sin ocasionar más vibración que la del árido al caer en el recipiente.
- e) Enrasar el material con la ayuda de la varilla de compactación en sentido horizontal, procurando que las partículas llenen los espacios vacíos de la superficie.
- f) Limpiar los bordes y el cuerpo del recipiente con la ayuda de una brocha o franela.
- g) Determinar la masa del conjunto molde más agregado que contiene y registrar los valores, en las hojas de datos primarios.

### **RESULTADOS**

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P2 - P1}{V} \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

Donde,

$P2 = \text{Peso del recipiente mas el material compactado/suelto, gr}$

$P1 = \text{Peso del molde, gr}$

$V = \text{Volumen del molde, cm}^3$

### **EJEMPLO DE CÁLCULO**

$$\text{Densidad aparente} = \frac{16673.5 - 5021.1}{\pi * \frac{20.24^2}{4} * 29.2} = 1.24 \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

**Tabla 2. 11 Densidad suelta del agregado grueso**

Muestra	Molde N	Peso de molde	Diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra suelta		Densidad Suelta	
		g	cm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	5021.1	20.24	29.2	16673.3	16847.9	1.24	1.26

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 2. 12 Densidad compactada del agregado grueso**

Muestra	Molde N	Peso de molde	diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra compactada		Densidad Compactada	
		g	cm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	5021.1	20.24	29.2	17480.7	17556.9	1.33	1.33

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### **2.1.6 ABRASIÓN**

En materiales minerales gruesos, una de las propiedades físicas importantes en el diseño de mezclas es la resistencia al desgaste o resistencia a la abrasión del agregado. Esto es importante porque a través de este aprenderemos sobre la resistencia y durabilidad del concreto al momento de construir losas, estructuras primarias o estructuras que requieren la resistencia del concreto para salir bien.

Esta prueba revela el porcentaje de desgaste que sufrirá en condiciones de fricción constante entre la partícula y la bola de acero. Muestra si el agregado grueso utilizado es adecuado para el diseño y la construcción de mezclas de hormigón para la construcción.

La máquina de Los Ángeles. Se debe utilizar equipo que cumpla con todo 2.11. las características esenciales de la estructura que se muestra en la figura y que además debe cumplir con todas las especificaciones de la norma NTE INEN 860.



DISEÑO ALTERNATIVO DE PLATAFORMA ELABORADA CON ÁNGULO

DISEÑO DE PLATAFORMA DE PLACA DE CUBIERTA

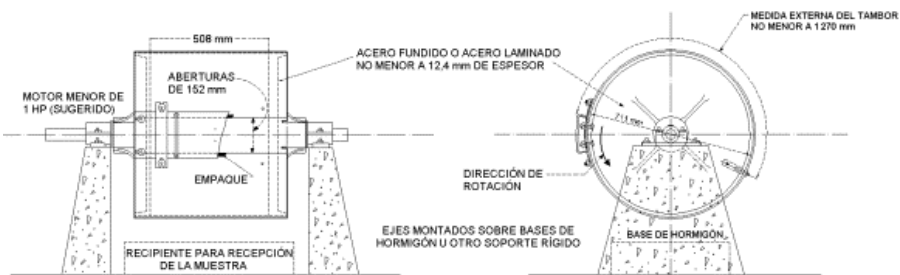


Figura 2. 8 Características de la máquina de los ángulos

Tabla 2. 13 Gradación De La Muestra De Ensayo.

Tamices INEN		Masa de los tamices indicados			
Pasa	Retenido en	Gradaciones			
37,5 mm	26,5 mm	A	B	C	D
26,5	19	1250 ± 25			
19	13	1250 ± 25			
13	13,2	1250 ± 10	2500 ± 10		
13,2	9,5	1260 ± 10	2501 ± 10		
9,5	6,7			2500 ± 10	
6,7	4,75			2501 ± 10	
4,75	2,36				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10 gr	5000 ± 10 gr	5000 ± 10 gr	5000 ± 10 gr

Fuente: NTE INEN 861

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

*Tabla 2. 14 Carga Abrasiva*

<b>GRADACIÓN</b>	<b>NÚMERO DE ESFERAS</b>	<b>MASA DE LA CARGA (gr)</b>
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

*Fuente: NTE INEN 861*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## **PROCEDIMIENTO**

- a. Usar la gradación apropiada, vea 2.13 y comprobar el número de bolas o la carga de molienda correspondiente.
- b. Cargar la muestra y el número seleccionado de bolas en la máquina de Los Ángeles y girar el cilindro de la máquina al tamaño máximo de agregado.
- c. Indicar un tamaño de partícula del agregado inferior a 37,5 mm; primero 100 veces, luego 400 veces, hasta dar un total de 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto.
- d. Obligatorio si el tamaño total de las partículas es superior a 19 mm; primero 200, luego 800, hasta dar un total de 1000 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto
- e. Durante las primeras 100/200 revoluciones, el material debe leerse de la máquina y separarse a través de los tamices núm. 8 y núm. 12. Pesarse el material retenido en ambos tamices
- f. Colocar todos los materiales en la máquina, coloque la misma cantidad de bolas y gire las 400/800 revoluciones restantes.
- g. Vaciar el material de la máquina y separarlo a través de los tamices núm. 8 y núm. 12. Pesarse el material nuevamente en ambos tamices.
- h. Si es necesario, lavar y secar el material que pasa por el tamiz No. 12 con 500/100 revoluciones en caso contrario pesarse y sacarse su peso.

## RESULTADOS

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{A - C}{A} * 100$$

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

Donde,

*% Pérdida = Valor de abrasión, en porcentaje*

*A = Peso inicial*

*B = Peso de la muestra luego del tamizado, retenido sobre el tamiz N° 12 a las 100 /200 revoluciones*

*C = Peso de la muestra luego del tamizado, retenido sobre el tamiz N° 12 a las 500 / 1000 revoluciones*

*A – B = Pérdida por desgarte abrasivo*

*CU = Coeficiente de Uniformidad*

*Tabla 2. 15 Datos para el ensayo de abrasión*

<b>Gradación</b>		B
<b>Numero de revoluciones totales</b>		500
<b>Peso Inicial</b>	gr	5001.3
<b>Peso Retenido en el Tamiz # 12</b>	gr	4747.6
<b>100 revoluciones</b>		
<b>Peso Retenido en el Tamiz # 12</b>	gr	3856.4
<b>400 revoluciones</b>		

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 2. 16 Ensayo de abrasión*

<b>Pérdida 100 rev (%)</b>	5.07
<b>Pérdida 500 rev (%)</b>	22.89
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	0.22

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### **Norma de referencia**

ASTM C131/C131M-20 “*Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*”

### **ARENA**

#### **2.1.7 DENSIDAD APARENTE**

Es útil clasificar los agregados por gravedad específica y porosidad en materiales livianos, ordinarios y pesados (ASTM C 125). Los agregados livianos se utilizan para reducir las cargas muertas y las tensiones, especialmente en estructuras altas, y para proporcionar aislamiento térmico.

El ensayo de densidad arroja información de la masa de agua desplazada por el agregado. Como se señala en la norma ASTM C 128 donde define tres valores de densidad relativa.

Los valores de densidad relativa del agregado medidos después de 24 h de absorción de agua son propiedades significativas del agregado. Agregado con un contenido de humedad diferente al encontrado después de 24 h de remojo tendrá una densidad relativa diferente. La presencia de poros llenos de agua dentro de las partículas de agregado complica la determinación de la densidad relativa.

### **PROCEDIMIENTO**

EL procedimiento es el mismo que el literal 2.1.2.3

### **RESULTADOS**

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P2 - P1}{V} \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

Donde,

*P2 = Peso del recipiente mas el material compactado/suelto, gr*

*P1 = Peso del molde, gr*

$V = \text{Volumen del molde, cm}^3$

### EJEMPLO DE CÁLCULO

$$\text{Densidad aparente} = \frac{6403.7 - 1898}{\pi * \frac{15.2^2}{4} * 15.4} = 1.61 \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

*Tabla 2. 17 Densidad suelta del agregado fino*

Muestra	Molde N	Peso de molde	diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra suelta		Densidad Suelta	
		g	cm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	1898	15.2	15.4	6403.7	6429.9	1.61	1.62
2	1	1898	15.2	15.4	6377.8	6376.8	1.60	1.60

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 2. 18 Densidad compactada del agregado fino*

Muestra	Molde N	Peso de molde	diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra compactada		Densidad Compactada	
		g	cm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	1898	15.2	15.4	6901.4	6919.7	1.79	1.80
2	1	1898	15.2	15.4	6908.4	6920.8	1.79	1.80

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### Norma de referencia

ASTM C128-15 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”

### 2.1.8 GRANULOMETRÍA

Este procedimiento de prueba se utiliza para determinar las propiedades de los agregados o materiales recomendados para su uso como agregados. Los resultados se utilizan para determinar si la distribución del tamaño de las partículas cumple con los requisitos aplicables de la descripción objetiva y proporcionan los datos necesarios para

controlar la producción de varios agregados. Los datos también se pueden utilizar para establecer una correlación entre la porosidad y la integridad de las partículas.

La tela de la pantalla debe montarse sobre un marco diseñado para evitar pérdidas de material y sin daños que alteren el resultado.

Para granulometría de árido fino se debe seguir la serie indicada la tabla 2.19:

**Tabla 2. 19 . Requisitos de gradación para árido fino**

<b>Tamiz (NTE INEN 154)</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

*Fuente: INEN (2011). Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y grueso  
NTE INEN 696:2011)*

## **PROCEDIMIENTO**

Para este ensayo se sigue el mismo procedimiento que el literal 2.1.2.1 pero se escoge la tabla 2.19 requisitos de gradación para árido fino

## **RESULTADOS**

$$Cu = \frac{D60}{D30}$$

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

Donde,

*Cc = Coeficiente de curvatura*

*Cu = Coeficiente de uniformidad*

*D60 = Diametro por el cual pasa el 60% del suelo, en peso*

*D30 = Diametro por el cual pasa el 30% del suelo, en peso*

*D10 = Diámetro por el cual pasa el 10% del suelo, en peso*

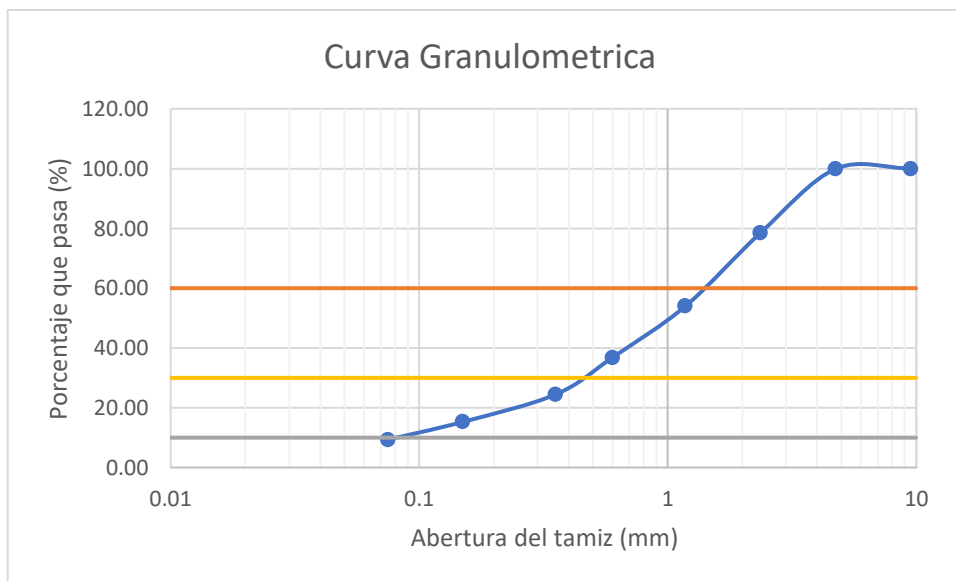
Peso Inicial	1000	gr
--------------	------	----



**Tabla 2. 20 Datos para análisis granulométrico en agregado fino**

Tamiz N	Abertura	Peso Retenido	Peso retenido acumulado	% Peso retenido acumulado	%Pasa
	mm	gr	gr		
3/8"	9.525	0	0	0	100.00
4	4.75	0.7	0.7	0.07	99.93
8	2.36	214.7	215.4	21.55	78.45
16	1.18	244.3	459.7	45.99	54.01
30	0.6	171.8	631.5	63.18	36.82
50	0.355	123.3	754.8	75.52	24.48
100	0.15	92	846.8	84.72	15.28
200	0.075	59	905.8	90.63	9.37
Bandeja		93.7	999.5	100.00	0
Total		999.5			

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*



**Figura 2. 9 Curva granulométrica del agregado fino**

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 2. 21 Resultados del análisis granulométrico del agregado fino**

<b>Módulo de Finura</b>	2.06
<b>D60</b>	1.50
<b>D30</b>	0.45
<b>D10</b>	0.08
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	3.33
<b>Coefficiente de curvatura</b>	1.8

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Norma de referencia**

Para el ensayo de granulometría en áridos finos es basado por la ASTM C 136 “*Standard test Method For Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*”

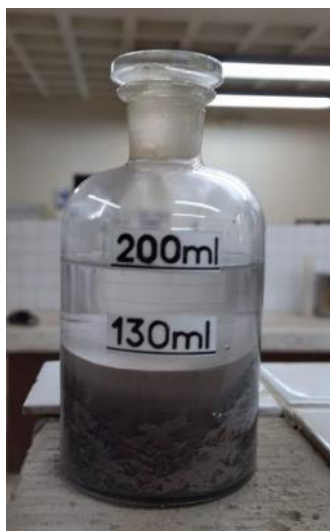
### **2.1.9 COLORIMETRÍA**

Esta prueba determina impurezas orgánicas en agregados finos de concreto. El procedimiento consiste en sumergir una cantidad específica de agregado fino en una solución estándar de hidróxido de sodio y observar el cambio de color en la solución después de 24 horas a medida que la solución reacciona con cualquier compuesto orgánico en el agregado.

El color de la solución se compara con una solución estándar en placas de vidrio para determinar cualitativamente la cantidad de materia orgánica. La solución de prueba reacciona con todo tipo de sustancias orgánicas materia, incluidos trozos de madera y ramitas que no afectan la resistencia del concreto cuando están presentes en pequeñas cantidades.

#### **PROCEDIMIENTO**

- a) Llenar un envase con la arena a ser analizada con 130 ml aproximadamente
- b) Añadir solución de hidróxido de sodio (Na (OH)), hasta que este alcance los 200 ml aproximadamente
- c) Tapar y dejar en reposo por 24 h.



*Figura 2. 10 Ensayo de colorimetría*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

#### **RESULTADOS**

El contenido orgánico de la muestra estudiada se establece como cero debido a que el color de la muestra no se acerca ni un poco al primer color de la tabla Gradner.



**Figura 2. 11 Resultado del contenido orgánico del agregado fino**

**Foto: M. Fernanda Barragán**

### **Norma de referencia**

ASTM C40 / C40M “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”

### **2.1.10 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

La cantidad de agua absorbida en los poros del agregado aumenta con el tiempo de remojo en agua del agregado original seco. En las primeras etapas de la reabsorción, la introducción de agua en los poros del agregado comprime el aire inicial que ocupa el espacio del poro y expulsa el aire de los poros más grandes. Estos procesos son rápidos y la tasa de absorción inicial es alta.

El aire que se acumula en las partículas de agregado solo puede ser desplazado disolviendo el aire en el agua intersticial y transportándolo fuera del agregado por difusión lenta a través del agua intersticial.

### **PROCEDIMIENTO**

***Determinación de la SSS de la condición "Superficie Seca Saturada"***

- a) Después de 24 h, drenar el exceso de agua para evitar la pérdida de partículas.
- b) Extender la muestra sobre una bandeja impermeable.
- c) Permitir que la muestra se seque lentamente. Para acelerar el proceso, poner en un horno o exponer al aire caliente de alguna manera y mover continuamente con una espátula para que se seque uniformemente.
- d) Continuar este procedimiento hasta que la muestra fluya casi libremente, es decir, la tensión superficial del agua evita que las partículas de relleno se peguen demasiado.

***Determinación de la humedad superficial (coeficiente SSS).***

- a) Colocar el molde sobre una superficie lisa e impermeable.
- b) Llenar el molde hasta que rebose y agregar más material por encima.
- c) Sostener firmemente el molde, golpear el compactador 25 veces para compactar el agregado de modo que caiga libremente a más o menos 5 mm de la superficie del agregado.
- d) Ajustar la altura que debe descender el compactador después de cada golpe, repartiéndolos por la superficie.
- e) Limpiar cualquier material derramado alrededor del fondo del molde y levántelo verticalmente para evitar vibraciones. Cuando se levanta el cono, el agregado entra en el estado SSS y colapsa ligeramente.
- f) Si el material permanece en forma cuando se levanta el cono, continúe secando y repita el paso (d) hasta que el agregado esté en condición SSS.

***Determinación de la densidad.***

- a) Agregar agua hasta la marca de volumen, medir y registrar su masa y temperatura.
- b) Obtener el peso del agregado, pesar 500 gramos en condiciones SSS.
- c) Agregar 500 g de arena SSS al mismo hidrómetro vacío usando un embudo y agregar 90% de su capacidad.
- d) Agitar manualmente el hidrómetro o crear un vacío con una bomba para eliminar las burbujas de aire atrapadas en la muestra y el agua.

- e) Eliminar completamente las burbujas de aire, agregar inmediatamente agua hasta la marca para evitar el arrastre y corregir la temperatura del agua y la arena en el hidrómetro a aproximadamente 100 °C si es necesario. 23,0 °C ± 2,0 °C F.
- f) Pesar el hidrómetro con agua y arena, verter las partículas finas en el tanque previamente pesado.
- g) Secar en un horno de temperatura constante a 110 °C ± 5 °C
- h) Finalmente, después de 24 horas, retirar el recipiente de muestra seco del horno y dejar que se enfríe durante un período de tiempo. Pesar después de 1 hora.



**Figura 2. 12 P.E y absorción del agregado fino**  
**Foto: M. Fernanda Barragán**

## RESULTADOS

Peso específico

$$P_{esp} = \frac{P_3}{P_1 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Peso específico aparente

$$P_{apa} = \frac{P_3}{P_3 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Densidad S.S.S

$$P_{s.s.s} = \frac{P_1}{P_1 - P_2} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Absorción de agua

$$Abs = \frac{P_1 - P_3}{P_3} * 100 [\%]$$

Donde,

$P1 =$  Peso de la muestra enb S.S.S, gr

$P2 =$  Peso de la muestra sumergida en agua, gr

$P3 =$  Peso de la muestra seca, en aire, gr

**Tabla 2. 22 Resultados del P.E y absorción del agregado fino**

Peso del material SSS	210
Peso del Pic. + agua (P2)	658.394
Peso pic. + agua + material sss (P1)	788.304
Peso del material seco + recip. (P4)	394.4
Peso del Recipiente (P3)	189.915
Peso de material seco (P5)	204.485
<b>Peso específico</b>	2.55
<b>Densidad S.S.S.</b>	2.62
<b>Absorción de agua</b>	2.70
<b>Peso específico aparente</b>	2.74

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### **Norma de referencia**

ASTM C128-15 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”

## **2.2 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES**

Existen varios métodos de mezcla del hormigón, cuyo objetivo es encontrar la relación de mezcla entre los componentes principales: cemento, grava, arena y agua, para obtener una mezcla con una determinada consistencia, resistencia y durabilidad. (Luna Hermosa, 2014)

El diseñador podrá elegir uno de los varios métodos que existen y los resultados que se logren con él, serán aceptables cuando el hormigón logrado evidencie que el método elegido es eficiente; el método de más amplia difusión es el recomendado por el ACI, que es un método empírico (Luna Hermosa, 2014)

La información básica que se debe tener para una un correcto calculo es:

De los agregados tanto fino como grueso:

- Análisis granulométrico y módulo de finura
- Densidad real en estado S.S.S
- Porcentaje de absorción
- Densidad aparente

Del cemento:

- Tipo de cemento
- Densidad real
- Densidad aparente suelta

### **2.2.1 Selecciones de proporciones**

El hormigón debe utilizarse con la menor cantidad de agua de amasado posible y lograr una trabajabilidad adecuada al tipo de obra a construir. Las proporciones de los agregados deben ser seleccionadas para obtener un concreto con una consistencia firme, y tener la menor cantidad de asentamiento, de manera que se pueda colocar de forma efectiva y así obtener una masa homogénea.(Luna Hermosa, 2014)

### **2.2.2 Asentamiento y tamaño máximo de los agregados**

En los anexos 1 y 2 se indican ciertas limitaciones para el hormigonado y tamaños máximos de árido en función del tipo de obra a realizar. Siempre se deben evitar las mezclas muy húmedas, ya que no se pueden colocar sin separarse y dan como resultado un concreto demasiado poroso y menos duradero.

Dentro de los límites económicos, se deben usar los tamaños máximos permitidos de agregados, porque su uso reduce la cantidad de agua y cemento. Sin embargo, la dimensión máxima no debe ser mayor que 1/5 de la dimensión mínima de la estructura colada en sitio, ni mayor que 3/4 de la distancia libre mínima entre las barras de refuerzo de los miembros. (Luna Hermosa, 2014)

### **2.2.3 Estimación de la cantidad de agua necesaria**

La cantidad de agua por metro cúbico por unidad de volumen de concreto para obtener una mezcla de la consistencia deseada depende de la forma, el tamaño de partícula del

agregado y la cantidad de cemento. Las recomendaciones se dan en el anexo 7 de acuerdo con el tamaño nominal del agregado.

Las cantidades de agua dadas en el anexo 3 son una buena aproximación de los cálculos preliminares de las proporciones, son las máximas esperadas para un agregado bien triturado. Algunos materiales pueden requerir menos agua que la indicada en el anexo 3, en estos casos no se recomienda reducir la cantidad de cemento para evitar la compensación de otros factores negativos.(Luna Hermosa, 2014)

#### **2.2.4 Selección de la relación agua- cemento**

En base a los datos de laboratorio, se pueden encontrar mejor la relación máxima de agua - cemento o factores mínimos de cemento que obtienen la resistencia a la compresión necesaria, pero si esto no es posible la relación de agua de cemento máxima permitida puede ser obtenida en el anexo 4 y 5 y la cantidad de agua requerida en el anexo 3, dividiendo los litros de agua de mezclado por metro cubico para la relación agua- cemento en litros/kilogramos. (Luna Hermosa, 2014)

#### **2.2.5 Estimaciones de la cantidad de agregado grueso**

Algunos agregados recibirán la menor cantidad de agua de amasado y la mayor resistencia cuando se utilice la máxima cantidad de agregado grueso, siempre de acuerdo con la trabajabilidad adecuada y la facilidad de colocación en el sitio.

La cantidad de este agregado se puede determinar con mayor eficacia examinando el material en el laboratorio y haciendo los ajustes finales en el campo, pero en ausencia de tales datos de laboratorio, la proporción óptima de agregado graduado se puede estimar como una buena aproximación dentro de los límites normales. la correlación empírica que se muestra en el anexo 6

Para minerales gruesos dentro del rango de especificación normal, la degradación puede no ser práctica. Se puede observar que el volumen aparente seco de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende del tamaño máximo del módulo de finura de su agregado. como se muestra en el anexo 6(Luna Hermosa, 2014)

### **PROCEDIMIENTO**

Para diseñar la dosificación del hormigón se debe tener como datos principales la resistencia que se desea obtener la cual será de 210kg/cm<sup>2</sup>, así como ensayos de laboratorio practicados sobre materiales granulares como arena, ripio y cemento.



*Tabla 2. 23 Datos del cemento*

<b>Ensayo</b>	<b>CEMENTO HE</b>	
<b>DENSIDAD REAL</b>	Densidad real (gr/cm <sup>3</sup> )	3.06
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	0.92
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.30

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 2. 24 Datos de la arena*

<b>Ensayo</b>	<b>AGREGADO FINO (ARENA)</b>	
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1.61
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79
<b>GRANULOMETRIA</b>	Modulo de Finura	2.91
	Coefficiente de uniformidad	20
	Coefficiente de curvatura	1.8
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION</b>	Peso especifico	2.55
	Densidad S.S.S.	2.62
	Absorcion de agua	2.70
	Peso especifico aparente	2.74

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 2. 25 Datos del ripio*

	<b>AGREGADO GRUESO (RIPIO)</b>	
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1.26
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.33
<b>GRANULOMETRIA</b>	Modulo de Finura	2.46
	Coefficiente de uniformidad	1.5142857
	Coefficiente de curvatura	1.4021563
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION</b>	Peso especifico	2.37
	Densidad S.S.S.	2.45
	Absorcion de agua	3.19
	Peso especifico aparente	2.57
<b>ABRASION</b>	Perdida 100 rev (%)	5.07
	Perdida 500 rev (%)	22.89
	Coefficiente de uniformidad	0.22

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

1. Del anexo 1 se establece un asentamiento máximo por el tipo de construcción para este tipo es con una máximo de 7.6 cm

2. Del anexo 2 se escoge el tamaño máximo del agregado que será de 3/4" con diámetro de 19.1 mm
3. En el anexo 3 se encuentra una cantidad aproximada de agua, así como la cantidad de incorporación de aire. Para un asentamiento de 7.6 cm y un agregado de 3/4" se requiere de 203 litros/m<sup>3</sup> de hormigón con el 2% de inclusión de aire ya que no se utilizará aireadores
4. Según el anexo 5, la resistencia a la compresión especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup> en 28 días para hormigón celular, y suponiendo una densidad de agua de 1 kg, la relación agua-cemento debería ser de 0,623 en peso. / dm<sup>2</sup> Se obtienen 0,623 litros de agua por kg de cemento
5. Del Anexo 6, donde se mantiene un factor de tamaño de grano de arena de 2,9 y un tamaño máximo de agregado grueso de 3/4, el volumen aparente calculado de agregado grueso es igual a m<sup>3</sup> por unidad de volumen de concreto, que es 0,59 m<sup>3</sup>. hay.
6. Seleccione estos datos y proceda al cálculo de la dosificación
7. El módulo del cemento se calcula según la fórmula:

$$\text{Factor de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua por metro cúbico}}{\text{Relación agua - cemento}}$$

$$\text{Factor de cemento} = \frac{203 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3}}{0.623 \frac{\text{litros}}{\text{kg}}} = 325.84 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Volumen Real} = \frac{\text{Factor de cemento}}{\text{Densidad real}}$$

$$\text{Volumen Real} = \frac{325.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3.06 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 106.46 \left[ \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3} \right]$$

Para agregados grueso se calcula el volumen real S.S.S

$$\text{Volumen Real S.S.S} = \text{Volumen Aparente Compactado} * \frac{\text{Densidad Compactada}}{\text{Densidad Real S.S.S}}$$

$$Volumen Real S.S.S = 0.59 m^3 * 1000 * \frac{1.33 \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]}{2.45 \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]} = 321.28 \left[ \frac{dm^3}{m^3} \right]$$

Volumen real del cemento

$$Volumen real del cemento = \frac{\text{Factor de cemento}}{\text{Densidad real del cemento}}$$

$$Volumen real del cemento = \frac{325.84 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}{3.06} = 106.46 \left[ \frac{dm^3}{m^3} \right]$$

**Tabla 2. 26 Parámetros para la dosificación**

	Parametro	Observacion	
1	Asentamiento	Construccion	7.6 cm
2	Tamaño maximo del agregado	3/4"	19.1 mm
3	Cantidad aproximada de agua	Sin inclusion de aire	203 litros/m3 de hormigon
	Porcentaje a aire atrapado	Sin inclusion de aire	2 %
4	Relacion agua - Cemento	Por resistencia a la compresion	0.623 para 1kg de cemento, asumiendo densidad del agua 1kg/dm3
5	Resistencia a la compresion	Sin inclusion de aire	210 kg/cm2
6	Volumen aparente del agregado grueso	MF y T. max agregado	0.59 m3
7	Factor de cemento		325.84 kg/m3
8	Volumen real del cemento		106.46 dm3/m3
9	Volumen real SSS agregado grueso		321.28 dm3/m3

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

## RESULTADOS

Con los volúmenes del agregado grueso y cemento se calcula el volumen de arena necesaria para completar 1m3 de hormigón con la estimación del aire atrapado

$$V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire atrapado}} + V_{\text{ripio}} + V_{\text{arena}} = 1000 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 1000 \text{ dm}^3 - 106.46 \text{ dm}^3 - 203 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 - 321.28 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 349.26 \text{ dm}^3$$

**Tabla 2. 27 Resultados de volumen de arena**

Total	1000	dm3
V. Cemento	106.46	dm3
V. Agua	203	dm3
V. Aire atrapado (2%)	20	dm3
V. Ripio	321.28	dm3
Suma	650.74	dm3
V. Arena	349.26	dm3

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

Conociendo los volúmenes reales de cada uno de los componentes se calculará los pesos: para el cemento se multiplicada por la densidad real y para los agregados por sus densidades reales en S.S.S.

*Tabla 2. 28 Dosificación en peso de los agregados*

Componente	Cantidad en volumen real (dm <sup>3</sup> )	Densidad Real (kg/dm <sup>3</sup> )	Cantidad en peso (kg)	Cantidad relativa en peso
Agua	203	1	203.00	0.623
Cemento	106.46	3.06	325.84	1
Arena	349.26	2.62	915.78	2.81
Ripio	321.28	2.45	787.25	2.42

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### **3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 Pruebas**

##### **3.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

Este método de ensayo es aplicable a muestras cilíndricas con densidades superiores a 800 kg/m<sup>3</sup>, como barcos fundidos y núcleos de cemento-hormigón hidráulico. La resistencia a la compresión se utiliza como base para mezclar concreto, verificar la calidad de las operaciones de mezclado y vertido, determinar la conformidad con las especificaciones, evaluar la efectividad del control y la aplicación de aditivos.

#### **PROCEDIMIENTO**

- a. La prueba de compresión debe realizarse lo antes posible después de sacarlo del almacenamiento húmedo.
- b. Limpiar la humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra. Medir la longitud de la muestra en tres puntos espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia.
- c. Todos los especímenes de prueba de la edad de prueba especificada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo permitidas enumeradas en la Tabla 3.1:

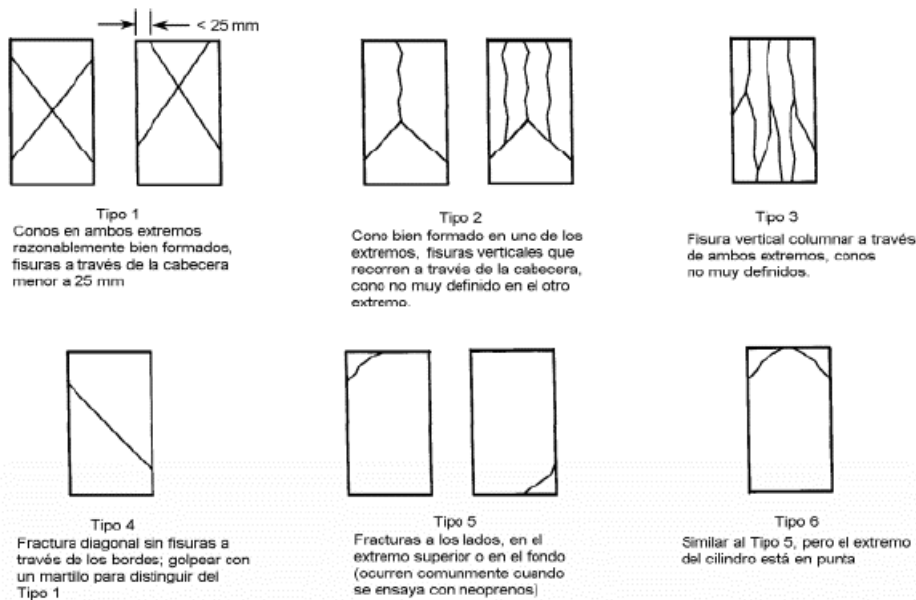
**Tabla 3. 1 Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes**

Edad de Prueba	Tolerancia Permisible
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

**Fuente:** (Luna Hermosa, 2014)

**Elaborado por:** M. Fernanda Barragán

- d. Alinear la muestra con el centro de carga en el bloque de carga esférico.
- e. Antes de probar la muestra, verifique que el indicador de carga esté en cero, si no, ajustar.
- f. Aplicar carga continuamente sin impacto.
- g. Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre una disminución constante y la muestra muestre un modo de falla bien definido.



**Figura 3. 1 Esquema de los patrones típicos de fractura**

**Fuente:** Norma ASTM C 39



*Figura 3. 2 Ensayo a compresión*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

### **Norma de Referencia**

Para este ensayo se tomará como la base la norma internacional ASTM C 39 “*Standard test Method For Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimes*” y como norma nacional la INEN 1573 Hormigón de cemento hidráulico, determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico

### **3.1.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE CONCRETO**

En el diseño de elementos de hormigón ligero, la resistencia a la tracción indirecta se utiliza para evaluar la resistencia al corte del hormigón y determinar el tiempo de desarrollo de la tracción.

### **PROCEDIMIENTO**

- a) Usando un dispositivo adecuado, dibujar los diámetros de ambos extremos de la muestra y asegurar de que estén en el mismo plano axial.
- b) Se determina el diámetro del espécimen tomando el promedio de los tres diámetros en los extremos y el centro del espécimen. La longitud de la muestra se determina midiendo la longitud al menos dos veces en un plano alineado en ambos extremos.

- c) Use la línea de diámetro marcada para centrar uno de los listones a lo largo del centro del bloque de soporte inferior. Coloque la muestra en el cubreobjetos y ajústelo de modo que la línea marcada en la punta de la muestra quede vertical y centrada en el cubreobjetos. Coloque la segunda tira a lo largo del tambor, centrada en la línea marcada en el extremo del tambor. Coloque el mango de modo que la varilla de soporte auxiliar y el centro de la muestra queden directamente debajo del centro de presión del bloque de soporte esférico.
- d) Aplicando continuamente la carga a una tasa constante en el rango de tensión de tracción indirecta, sin sacudidas, hasta que la muestra falle. Registra la carga máxima aplicada por el equipo de prueba en caso de falla.



*Figura 3. 3 Ensayo el cilindro a tracción*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

### **Norma de Referencia**

Para este ensayo se tomará como la base la norma internacional ASTM C- 496/C496M-17 “*Standard test Method For Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimes*”

### **3.1.3 PERMEABILIDAD**

Este ensayo determina la finura de cemento hidráulico, utilizando el aparato de permeabilidad al aire de Blaine.

Para casos de cemento hidráulico la masa de la muestra deber ser ajustado de modo que se produzca un lecho firme y duro mediante la compactación, en ningún caso más que la presión del pulgar para asegurar la cama apropiada, ni tal presión del pulgar al ser utilizado que el embolo vaya a rebotar desde la parte superior de la celda y se elimine la presión

### **PROCEDIMIENTO**

- 1) Se conecta el elemento permeable al manómetro, asegurándose de que la conexión sea firme, con cuidado de no golpear o alterar la capa de cemento preparada.

- 2) Se purga lentamente el aire de la varilla medidora hasta que el fluido alcance la marca alta, luego se cierra bien la válvula y se comienza a cronometrar cuando la parte inferior del menisco de fluido manométrico alcance la segunda marca



*Figura 3. 4 Ensayo de permeabilidad al cilindro*

*Foto: M. Fernanda Barragán*

#### **Norma de Referencia**

Para este ensayo se tomará como la base la norma internacional ASTM C 204 “*Standard test Method For Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus*”

#### **3.1.4 COMPRESIÓN DE CUBOS**

La resistencia a la compresión de morteros es una herramienta de prueba excepcional que se utiliza para determinar si el tipo de cemento y la aplicación apropiados. La resistencia a la compresión es una medida básica del diseño de mezcla segura.

Antes de ejecutar el proyecto, es importante realizar varias pruebas para comprender correctamente el comportamiento de los elementos de implementación de la estructura. La prueba de compresión nos mostró algunas de las características específicas que más nos interesaban.

#### **PROCEDIMIENTO**

- a) Se analiza las muestras inmediatamente después de retirarlas de la cámara de humedad, si las muestras tienen más de 24 horas, o en todos los demás casos del agua de conservación. Todos los especímenes de la edad de prueba especificada deben ensayarse dentro de las tolerancias permitidas especificadas en la Tabla 3.1.



- b) La superficie del cubo que estará en contacto con la placa de carga del compresor debe ser plana y limpia.
- c) Centrar el cubo de ensayo en la placa de carga y luego aplicar la carga a una velocidad media para que el ensayo se realice a carga máxima durante al menos 20 segundos después del inicio de la carga y no más de 80 segundos.
- d) Al determinar la resistencia a la compresión, no se tendrán en cuenta los defectos evidentes obtenidos de la misma muestra ensayada al mismo tiempo o muestras con resistencia variable superior al 10% del valor medio de todas las muestras ensayadas.



*Figura 3. 5 Elaboración de cubos de mortero*  
*Foto: M. Fernanda Barragán*

### **Noma de referencia**

La norma de referencia para este ensayo es la ASTM C 109 “*Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*”

### **3.1.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

La difracción de rayos X (DRX) es una técnica no destructiva fundamental en la caracterización de materiales. Mediante el uso de la difracción, es posible obtener información, como el estado físico de la muestra, el tamaño del cristal, la constante de red, el grado de perfección del cristal y la distancia interplanar. (de Geología et al., 2016)

DRX se basa en la interferencia constructiva que ocurre cuando los rayos X son difractados por materiales cristalinos sólidos. En condiciones regulares y periódicas, un sólido cristalino se comporta como una red, con dominios de difracción coherentes (dominios donde se produce el ordenamiento periódico) donde los átomos reflejan planos (hkl) separados entre determinados planos. (de Geología et al., 2016)

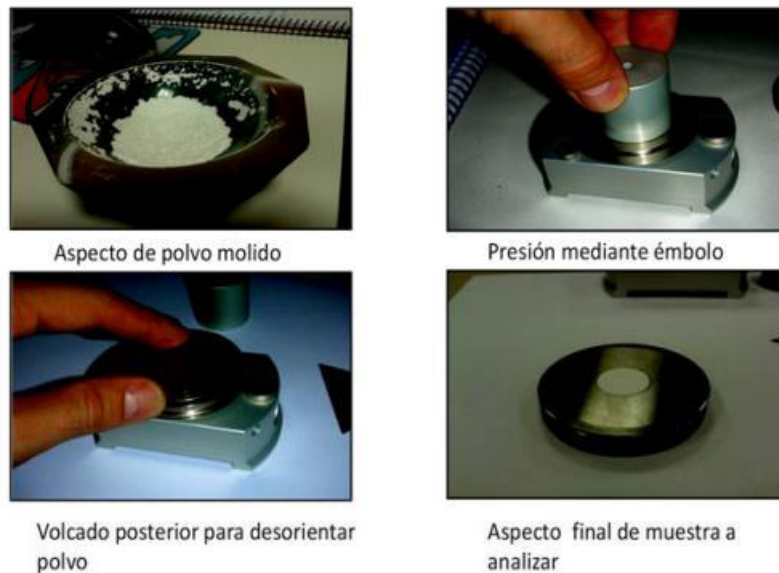
La difracción de rayos X de muestras pulverizadas cristalinas o muestras policristalinas fue desarrollada en Alemania en 1916 por Debye y Scherrer. El descubrimiento de la difracción en este tipo de muestras es un amplio campo de aplicación que se puede encontrar para estudiar las principales aplicaciones. El aspecto más importante de la difracción es la fase de la muestra según su patrón de difracción, y la determinación de otras fases. (de Geología et al., 2016)

La muestra DRX se obtiene a través de malla 200 y trata de retener la mayoría de los granos de arena, evitando así que el cuarzo cubra los picos de las fases investigadas.

## **PROCEDIMIENTO**

Las muestras se molieron en un mortero de ágata durante 1 minuto hasta obtener un polvo de tamaño de partícula uniforme. Este polvo fino se coloca en un porta muestras cilíndrico por vertido posterior para evitar el menor tratamiento superficial de la muestra que se va a analizar y para asegurar la mala orientación de los cristales.

En primer lugar, se utiliza un porta muestras cilíndrico de acero inoxidable cromado. Luego use una micro espátula para llenar el porta muestras, se utiliza una herramienta cilíndrica con forma de pistón para presionar uniformemente el orificio cilíndrico en el porta muestras y se superponga la base de la gradilla para completar el ensamblaje. Finalmente, la plataforma en la que se sostiene la muestra y la base fija se gira y se libera de ella, dejando la muestra lista para el análisis.



**Figura 2. 13 Muestra para difracción de rayos X**

**FUENTE:** (de Geología et al., 2016)

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

#### CÁLCULOS

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima [Kg]}}{\text{Área de la probeta [cm}^2\text{]}}$$

Donde,

$f'c$  = Resistencia a compresión, kg/cm<sup>2</sup>

#### EJEMPLO DE CÁLCULO

*Cálculo promedio del diámetro*

$$D = \frac{99.53 + 102.12}{2} * \frac{1}{10} = 10.08 \text{ [cm]}$$

*Altura promedio*

$$H = \frac{199 + 200 + 199}{3} * \frac{1}{10} = 19.93 \text{ [cm]}$$

*Área*

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} = 3.14 * \frac{(10.08 \text{ cm})^2}{4} = 79.84 [\text{cm}^2]$$

Volumen

$$V = A * H = 79.84 [\text{cm}^2] * 19.93 [\text{cm}] = 1591.50 [\text{cm}^3]$$

Peso unitario

$$P. \text{ unit} = \frac{\text{carga}}{V} = \frac{46.13 [\text{KN}]}{1591.50 [\text{cm}^3]} * 100 = 2.90 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$$

Resistencia

$$f'c = \frac{46.13 [\text{KN}] * 100}{79.84 [\text{cm}^2]} = 57.78 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

## RESULTADOS

*Tabla 3. 2 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 1 día*

1 DÍA																	
N°	Código	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Perpendicularidad /Panitud					Diámetro			Altura			Peso gr	Carga KN	Tipo de Falla
				PE	PL	PU	NF	NE	D1	D2	H1	H2	H3				
									mm	mm	mm	mm	mm				
1	HC - HE - 1	5/7/2022	6/7/2022	OK	X			OK	99.53	102.12	199	200	199	3592.2	46.13	2	
2	HC - HE - 2	5/7/2022	6/7/2022	OK	X			OK	100.93	101.98	200.1	199	200	3591.2	45.17	2	
3	HC - HE - 3	5/7/2022	6/7/2022	OK	X			OK	100.57	101.26	200	199.2	201.1	3592.9	44.24	2	

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 3. 3 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 1 día*

Diámetro	Altura	Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
10.08	19.93	79.84	1591.50	2.90	57.78
10.15	19.97	80.84	1614.41	2.80	55.87
10.09	20.01	79.98	1600.47	2.76	55.31

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 3. 4 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 3 días*

N°	Código	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Perpendicularidad /Panitud					Diámetro			Altura			Peso gr	Carga KN	Tipo de Falla
				PE	PL	PU	NF	NE	D1	D2	H1	H2	H3				
									mm	mm	mm	mm	mm				
4	HC - HE - 10	5/7/2022	8/7/2022	OK	X			OK	102.5	101.4	201	200.3	201.7	3704.8	162.9	2	
5	HC - HE - 11	5/7/2022	8/7/2022	OK	X			OK	102.4	101.2	200	199.4	201.5	3675.1	150.15	2	
6	HC - HE - 12	5/7/2022	8/7/2022	OK	X			OK	106	101	200.4	200.3	202	3967.4	159.8	3	

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 5 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 3 días**

Diámetro	Altura	Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
10.20	20.10	81.63	1640.82	9.93	199.55
10.18	20.03	81.39	1630.30	9.21	184.48
10.35	20.09	84.13	1690.25	9.45	189.94

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 6 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 7 días**

N°	Código	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Perpendicularidad /Panitud					Diámetro			Altura			Peso gr	Carga KN	Tipo de Falla
				PE	PL	PU	NF	NE	D1	D2	H1	H2	H3				
									mm	mm	mm	mm	mm				
7	HC - HE - 17	5/7/2022	12/7/2022	OK	X			OK	101.2	102.35	200.35	200.96	201.9	3699.9	218.2	5	
8	HC - HE - 18	5/7/2022	12/7/2022	OK	X			OK	100.77	104.05	202	202.1	202.46	3745.3	213.5	2	
9	HC - HE - 19	5/7/2022	12/7/2022	OK	X			OK	102.35	101.47	201.31	201.39	204.18	3747.9	220.2	2	

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 7 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 7 días**

Diámetro	Altura	Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
10.18	20.11	81.35	1635.76	13.34	268.21
10.24	20.22	82.37	1665.43	12.82	259.19
10.19	20.23	81.57	1650.08	13.34	269.96

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 8 Datos para ensayo a compresión en cilindros a 28 días**

N°	Código	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Perpendicularidad /Panitud					Diámetro			Altura			Peso gr	Carga KN	Tipo de Falla
				PE	PL	PU	NF	NE	D1	D2	H1	H2	H3				
									mm	mm	mm	mm	mm				
10	HC - HE - 20	5/7/2022	2/8/2022	OK	X			OK	100.65	100.45	200.48	202	201.25	3674.9	276	2	
11	HC - HE - 21	5/7/2022	2/8/2022	OK	X			OK	100.81	101.7	200.38	199.62	200.35	3696.8	261.5	2	
12	HC - HE - 22	5/7/2022	2/8/2022	OK	X			OK	101.54	100.45	199.82	199.76	199.85	3635.7	278.5	2	

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 9 Resultados del ensayo a compresión en cilindros a 28 días**

Diámetro	Altura	Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
10.06	20.12	79.41	1598.00	17.27	347.58
10.13	20.01	80.52	1611.41	16.23	324.75
10.10	19.98	80.11	1600.69	17.40	347.64

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### 3.2.1.1 CURVA DE ENDURECIMIENTO

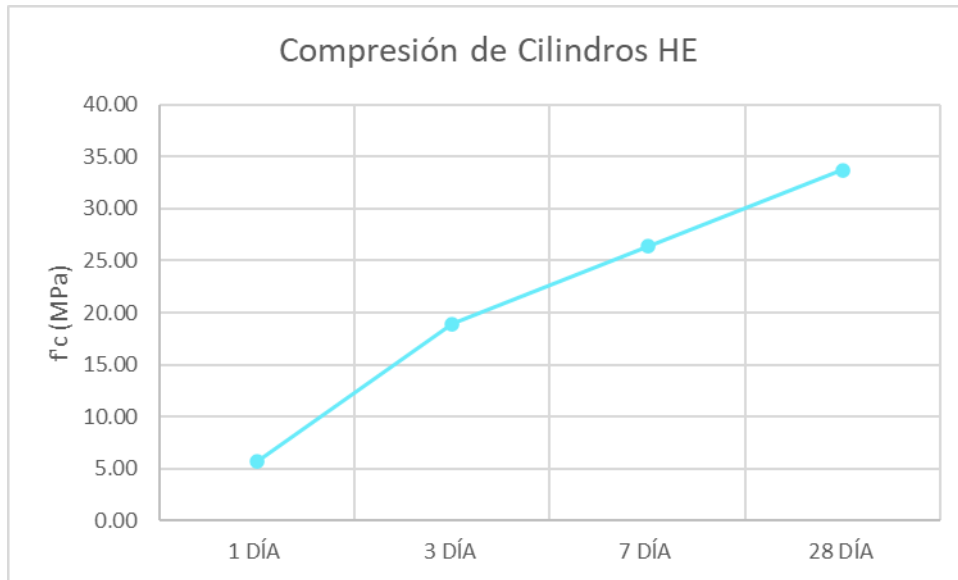


Figura 3. 6 Curva de endurecimiento en compresión de cilindros

### 3.2.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE CONCRETO

#### CÁLCULOS

$$f_t = \frac{2P}{\pi * L * d}$$

Donde,

$f_t$  = Esfuerzo de tracción, MPa

$P$  = Carga aplicada, N

$L$  = Longitud del cilindro (H), mm

$d$  = diámetro del cilindro, mm

#### EJEMPLO DE CÁLCULO

Cálculo promedio del diámetro

$$D = \frac{100.83 + 100.48 + 101.4}{3} = 100.90 \text{ [mm]}$$

Altura promedio

$$H = \frac{198 + 200}{2} = 199 \text{ [mm]}$$

Esfuerzo a tracción

$$ft = \frac{2P}{\pi * L * d}$$

$$ft = \frac{2 * 30.91 * 1000}{\pi * 199 * 100.90} = 0.98 \text{ [MPa]}$$

## RESULTADOS

*Tabla 3. 10 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 1 día*

N°	Descripción	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Diámetro			Altura		Peso	Carga
				D1	D2	D3	H1	H2		
				mm	mm	mm	mm	mm		
1	HC - HE - 4	5/7/2022	6/7/2022	100.83	100.48	101.4	198	200	3571.5	30.91
2	HC - HE - 5	5/7/2022	6/7/2022	100.16	101.93	103.1	200	200	3707.3	23.53

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 3. 11 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 1 día*

Diámetro	Altura	Esfuerzo de Tracción	ft
mm	mm	Mpa	Kg/cm2
100.90	199.00	0.98	3.1070
101.73	200.00	0.74	2.3037

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 3. 12 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 3 días*

N°	Descripción	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Diámetro			Altura		Peso	Carga
				D1	D2	D3	H1	H2		
				mm	mm	mm	mm	mm		
3	HC - HE - 13	5/7/2022	8/7/2022	100.7	103.5	103.9	202.3	200.1	3727.8	58.99
4	HC - HE - 14	5/7/2022	8/7/2022	102.2	101.6	101.5	200	200.3	3693.4	67.06

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

*Tabla 3. 13 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 3 días*

Diámetro	Altura	Esfuerzo de Tracción	ft
mm	mm	Mpa	Kg/cm2
102.70	201.20	1.82	5.5994
101.77	200.15	2.10	6.5509

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Tabla 3. 14 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 7 días

N°	Descripción	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Diámetro			Altura		Peso	Carga
				D1	D2	D3	H1	H2		
				mm	mm	mm	mm	mm		
5	HC - HE - 15	5/7/2022	12/7/2022	102.23	102.16	102.72	201.11	200.34	3685.1	87.9
6	HC - HE - 16	5/7/2022	12/7/2022	101.98	103.18	103.2	199.47	200.59	3689.4	91.7

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Tabla 3. 15 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 7 días

Diámetro	Altura	Esfuerzo de Tracción	ft
mm	mm	Mpa	Kg/cm2
102.37	200.73	2.72	8.4372
102.79	200.03	2.84	8.7916

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Tabla 3. 16 Datos para ensayo a tracción en cilindros a 28 días

N°	Descripción	Fecha de Fábrica	Fecha de Rotura	Diámetro			Altura		Peso	Carga
				D1	D2	D3	H1	H2		
				mm	mm	mm	mm	mm		
7	HC - HE - 23	5/7/2022	2/8/2022	100.73	99.98	100.63	201.28	200.93	3666.3	125.4
8	HC - HE - 24	5/7/2022	2/8/2022	101.28	102.32	101.06	196.93	197.42	3659.8	125.5

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Tabla 3. 17 Resultados del ensayo a tracción en cilindros a 28 días

Diámetro	Altura	Esfuerzo de Tracción	ft
mm	mm	Mpa	Kg/cm2
100.45	201.11	3.95	12.4549
101.55	197.18	3.99	12.6856

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

### 3.2.3 PERMEABILIDAD

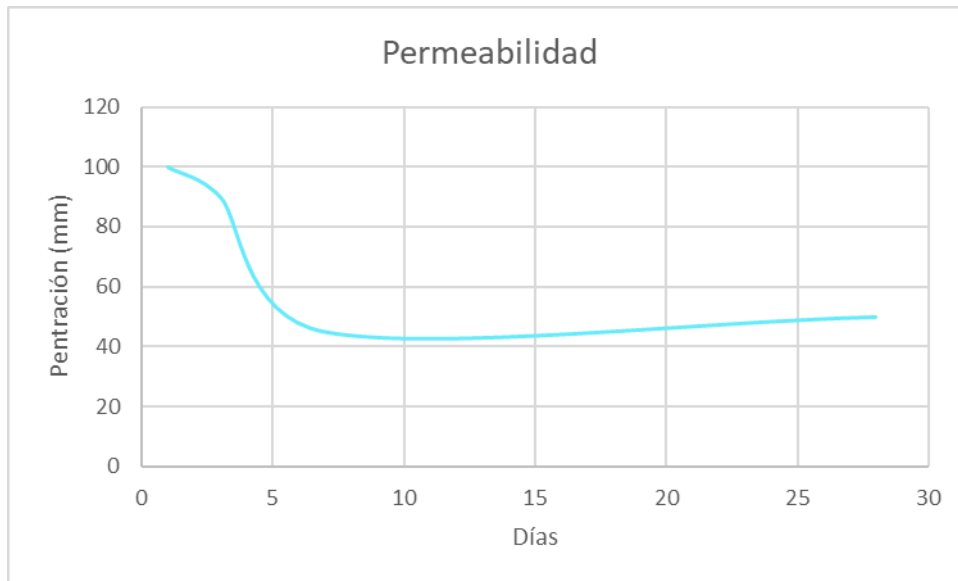
#### RESULTADOS

Tabla 3. 18 Resultados del ensayo de permeabilidad a cilindros

N°	Edad	Descripción	Fecha de Fábrica	Fecha de Ensayo	Penetración
	días				mm
1	1	HC - HE - 4	5/7/2022	6/7/2022	100
2	3	HC - HE - 4	5/7/2022	8/7/2022	90
3	7	HC - HE - 4	5/7/2022	12/7/2022	45
4	28	HC - HE - 4	5/7/2022	2/8/2022	50



*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*



*Figura 3. 7 Curva de permeabilidad*

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### 3.2.4 COMPRESIÓN DE CUBOS

#### CÁLCULOS

$$f'c = \frac{\frac{\text{Carga máxima [Kg]}}{\text{gravedad } \left[\frac{m}{s^2}\right]}}{\text{Área de la probeta [cm}^2\text{]}}$$

Donde,

$f'c$  = Resistencia a compresión, kg/cm<sup>2</sup>

#### EJEMPLO DE CÁLCULO

Área

$$A = 5.007 \text{ [cm]} * 5.092 \text{ [cm]} = 25.50 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Volumen

$$V = A * H = 25.50 \text{ [cm}^2\text{]} * 5.283 \text{ [cm]} = 133.55 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Peso unitario

$$P. \text{ unit} = \frac{\text{carga}}{V} = \frac{\frac{9.78 \text{ [KN]} * 1000}{9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]}}{133.55 \text{ [cm}^3]} = 7.47 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$$

Resistencia

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima [Kg]}}{\text{gravedad} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot \text{Área de la probeta [cm}^2]}}$$

$$f'c = \frac{9.78 * 1000}{25.50} = 39.10 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

## RESULTADOS

Tabla 3. 19 Datos para ensayo a compresión en cubos a 1 día

N°	Fecha de Fabricación	Descripción	Fecha de Rotura	A	B	C	Peso	Carga
				cm	cm	cm	gr	KN
1	7/6/2022	HC - HE 1	8/6/2022	5.007	5.092	5.238	281.60	9.78
2	7/6/2022	HC - HE 2	8/6/2022	5.064	5.015	5.147	280.00	9.82
3	7/6/2022	HC - HE 3	8/6/2022	5.116	5.169	5.107	286.90	10.75
4	7/6/2022	HC - HE 4	8/6/2022	5.19	5.075	5.050	282.10	10.50
5	7/6/2022	HC - HE 5	8/6/2022	5.118	5.231	5.005	291.70	10.12
6	7/6/2022	HC - HE 6	8/6/2022	5.089	5.173	5.136	288.70	10.28

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Tabla 3. 20 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 1 día

Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
25.50	133.55	7.47	39.10
25.40	130.71	7.66	39.42
26.44	135.05	8.11	41.44
26.34	133.01	8.05	40.64
26.77	134.00	7.70	38.53
26.33	135.21	7.75	39.81

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

**Tabla 3. 21 Datos para ensayo a compresión en cubos a 3 días**

N°	Fecha de Fabricación	Descripción	Fecha de Rotura	A	B	C	Peso	Carga
				cm	cm	cm	gr	KN
1	7/6/2022	HC - HE 1	10/6/2022	5.4	5.300	5.100	273.80	56.14
2	7/6/2022	HC - HE 2	10/6/2022	5.3	4.950	4.600	272.40	56.02
3	7/6/2022	HC - HE 3	10/6/2022	5.02	5.010	5.000	272.60	50.91
4	7/6/2022	HC - HE 4	10/6/2022	4.95	4.970	5.000	274.60	55.85
5	7/6/2022	HC - HE 5	10/6/2022	4.98	4.950	4.990	275.60	55.77
6	7/6/2022	HC - HE 6	10/6/2022	5	4.980	4.970	275.20	59.00

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 22 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 3 días**

Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
28.62	145.96	39.21	199.96
26.24	120.68	47.32	217.67
25.15	125.75	41.27	206.34
24.60	123.01	46.28	231.42
24.65	123.01	46.22	230.62
24.90	123.75	48.60	241.54

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 23 Datos para ensayo a compresión en cubos a 7 días**

N°	Fecha de Fabricación	Descripción	Fecha de Rotura	A	B	C	Peso	Carga
				cm	cm	cm	gr	KN
1	7/6/2022	HC - HE 7	14/6/2022	5.09	5.060	5.140	293.10	98.13
2	7/6/2022	HC - HE 8	14/6/2022	4.91	5.010	5.010	272.50	79.58
3	7/6/2022	HC - HE 9	14/6/2022	5.09	5.180	5.070	291.20	82.27
4	7/6/2022	HC - HE 10	14/6/2022	5.01	4.940	5.000	272.40	76.14
5	7/6/2022	HC - HE 11	14/6/2022	5.12	5.080	5.180	293.30	72.78
6	7/6/2022	HC - HE 12	14/6/2022	4.35	5.020	5.010	273.80	75.95

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 24 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 7 días**

Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm2	cm3	Kg/cm3	Kg/cm2
25.76	132.38	75.56	388.39
24.60	123.24	65.82	329.77
26.37	133.68	62.74	318.07
24.75	123.75	62.72	313.60
26.01	134.73	55.07	285.24
21.84	109.40	70.77	354.54

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 25 Datos para ensayo a compresión en cubos a 28 días**

N°	Fecha de Fabricación	Descripción	Fecha de Rotura	A	B	C	Peso	Carga
				cm	cm	cm	gr	KN
1	4/7/2022	HC - HE 1	2/8/2022	5.121	5.067	5.097	289.20	91.41
2	4/7/2022	HC - HE 2	2/8/2022	5.094	5.194	5.087	297.00	72.49
3	4/7/2022	HC - HE 3	2/8/2022	5.186	5.151	5.087	293.00	97.65
4	4/7/2022	HC - HE 4	2/8/2022	5.109	5.190	5.141	299.20	105.48
5	4/7/2022	HC - HE 5	2/8/2022	5.138	5.040	5.042	285.20	99.85
6	4/7/2022	HC - HE 6	2/8/2022	5.16	5.114	5.006	286.00	101.71

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

**Tabla 3. 26 Resultados del ensayo de compresión de cubos a 28 días**

Área	Volumen	P. Unit	f'c
cm2	cm3	Kg/cm3	Kg/cm2
25.95	132.26	70.45	359.10
26.46	134.59	54.90	279.29
26.71	135.89	73.25	372.63
26.52	136.32	78.88	405.51
25.90	130.57	77.96	393.06
26.39	132.10	78.49	392.90

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

### 3.2.4.1 CURVA DE ENDURECIMIENTO

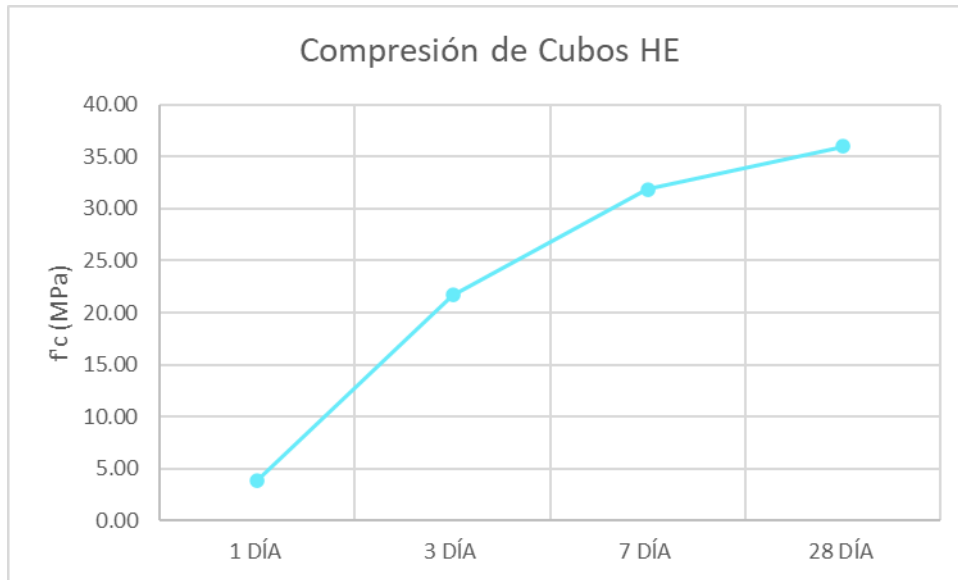


Figura 3. 8 Curva de endurecimiento en compresión de cubos

### 3.2.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

#### 3.2.5.1 DRX primer día

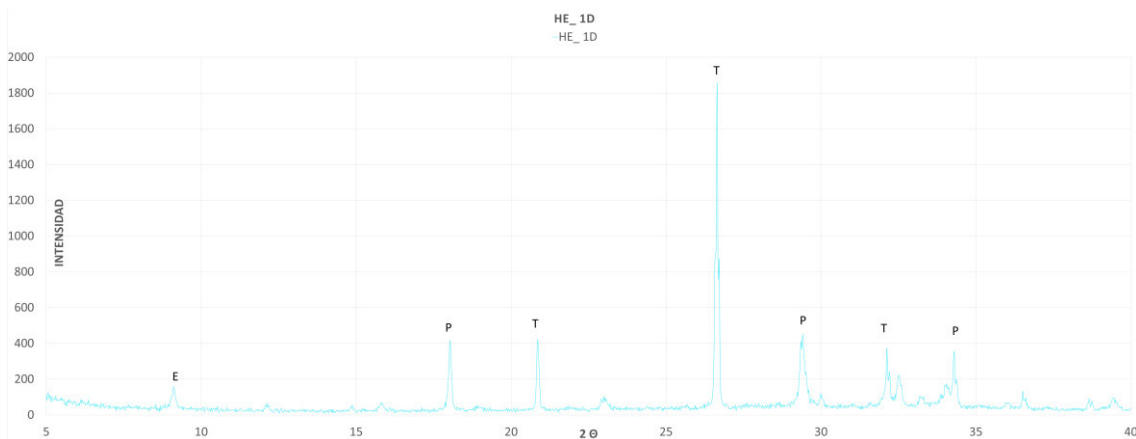


Figura 3. 9 Mineralogía presente al primer día de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita)

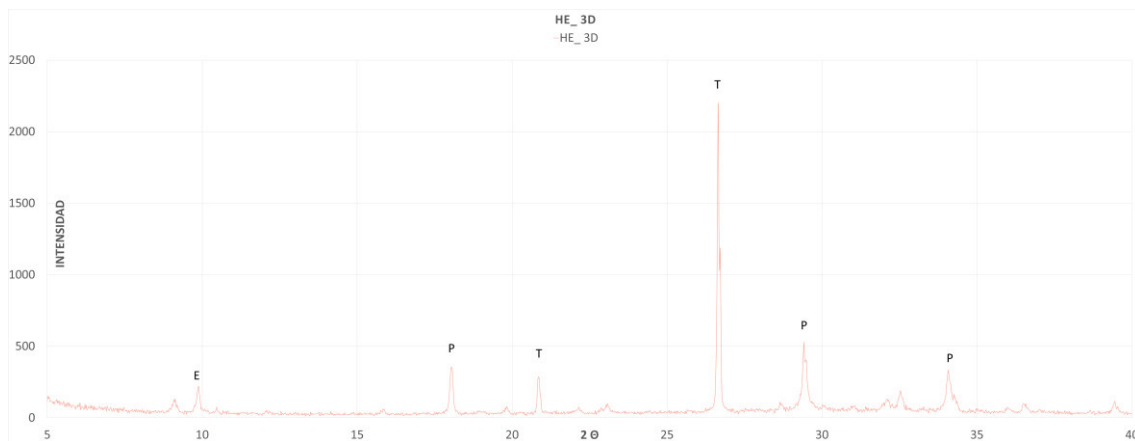
Elaborado por: M. Fernanda Barragán

A esta edad establecida, se detectó un pico característico de los principales productos de hidratación. El pico más destacado en el patrón de difracción correspondiente a la tobermorita del está en el valor  $2\theta = 26,65$ . Los pequeños picos corresponden principalmente a valores de tobermorita y Portlandita. El pequeño pico que

se muestra corresponde a la etringita ubicada en  $2\theta = 9.10$ . Esto se debe principalmente a que este mineral es tan raro que los picos quedan oscurecidos por fases minerales más abundantes.

Según los resultados obtenidos por este método, la tobermorita es la fase más abundante en esta edad. Esto se debe a que es la fase con mayor fuerza.

### 3.2.5.2 DRX a tres días

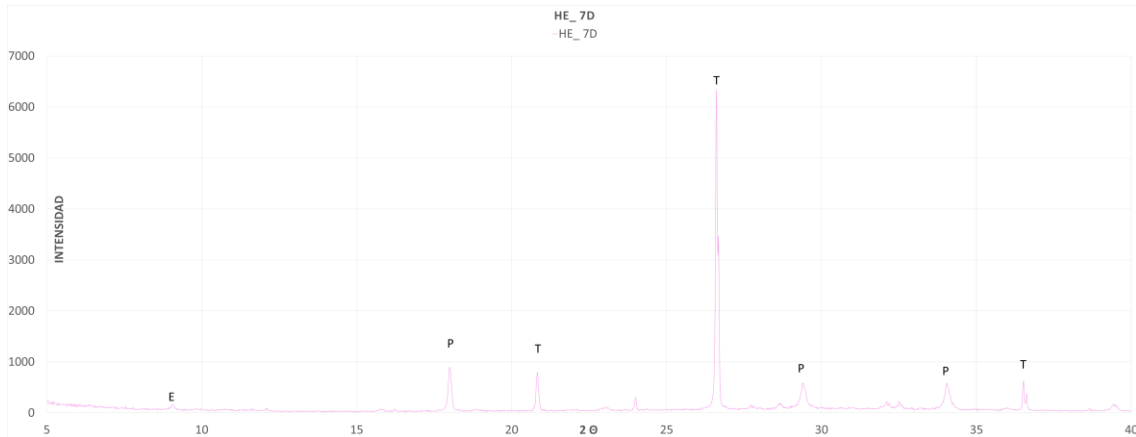


**Figura 3. 10 Mineralogía presente al tercer día de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita)**

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

Esta edad establecida por sí sola muestra un patrón similar al observado en el gráfico de difracción en el día 1. Una característica importante puede ser el hecho de que a esta edad de endurecimiento es mucho más frecuente encontrar un pequeño pico de valor  $2\theta = 9,88$ , correspondiente a la etringita que se presenta en la hidratación a esta edad. Mirando el gráfico, especialmente la altura del pico mencionado, la intensidad aumenta ligeramente con respecto a los valores obtenidos el primer día, pero sigue siendo una fase más pequeña que la tobermorita y la Portlandita, donde los picos son más intensos.

### 3.2.5.3 DRX a siete días

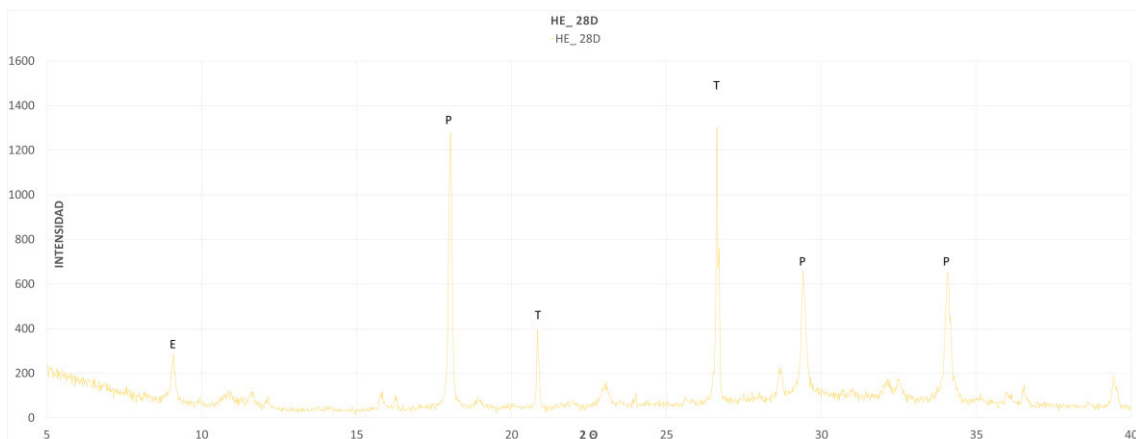


**Figura 3. 11 Mineralogía presente a siete días de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita)**

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

Los gráficos presentados a esta edad de hidratación son similares a los obtenidos en los días 1 y 3, destacando los valores de intensidad del pico principal de tobermorita en los gráficos de ruido obtenidos a esta edad. En este caso, por encima de 6000 CPS tiende a haber una disminución de los valores de fuerza alcanzados en las pequeñas fases. Debido a su baja intensidad, la etringita de esta edad es bastante difícil de reconocer ya que sus picos característicos están en su mayoría oscurecidos por los altos valores alcanzados por la fase tobermorita.

### 3.2.5.4 DRX a veintiocho días



**Figura 3. 12 Mineralogía presente a veintiocho días de hidratación (E: etringita, P: Portlandita y T: tobermorita)**

*Elaborado por: M. Fernanda Barragán*

El patrón exhibido por esta edad de hidratación muestra una fuerte disminución en la intensidad, mostrando así dos picos para tobermorita y Portlandita en diferentes  $2\theta$ , pero con magnitudes similares alrededor de 1270. Se observó un pico más bajo de etringita.

### 3.2.5.5 Evolución de la hidratación por DRX

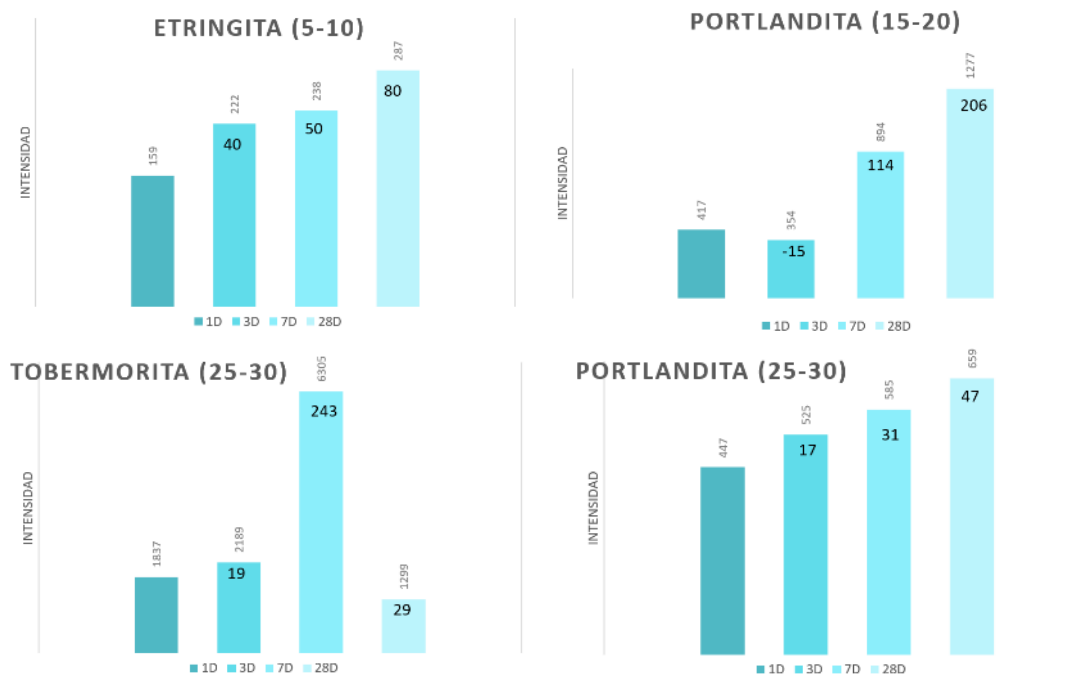


Figura 3. 13 Cantidad de minerales a las diferentes edades

Elaborado por: M. Fernanda Barragán

Las tendencias generales se pueden extraer de los gráficos de difracción obtenidos para varias muestras. Comparando las cronologías en los días 1, 3, 7 y 28, la presencia de tobermorita dominó sobre la Portlandita con intensidades considerablemente diferentes a medida que aumentaba el tiempo de hidratación, especialmente en el día 7 de hidratación. En contraste, al comparar las edades de 1 a 28, la intensidad de tobermorita disminuyó en un 29 % y la intensidad de Portlandita aumentó en un 206 % con respecto al primer día de hidratación, sin embargo, la tobermorita predominó en todo momento.

A medida que el cemento comienza el proceso de hidratación, los minerales anhidros reaccionan para formar tobermorita y silicatos, lo que da como resultado un gel de tobermorita compuesto de alita que reacciona a un ritmo mayor que las placas para formar silicatos. En consecuencia, en las tres primeras edades, la diferencia entre los dos picos era muy notoria. A medida que avanza el tiempo de curado, se produce más Portlandita, lo que minimiza la diferencia entre los picos de las dos fases minerales en los respectivos



difracto gramas de 28 días. Dado que la cantidad de la etapa de tobermorita de 7 días es mucho mayor que la de la etapa de Portlandita, la diferencia entre los dos picos es muy clara. También vale la pena recordar que la intensidad de los picos de difracción de rayos X indica abundancia y cristalinidad relativas. Por lo tanto, a los 7 días de edad, se informa que el contenido de gel tobermorita es mayor, mucho más allá de la cristalización de la fase Portland.

A medida que el cemento comienza a hidratarse, se puede identificar mejor el pico correspondiente a la etringita. Esto significa que la cristalización de esta fase mineral aumenta gradualmente a medida que avanza la hidratación.

### **3.3 Conclusiones**

- El difractograma Fig. 3.13 muestra un aumento gradual de la fase hidratada, lo que se refleja en la intensidad y definición de los picos, los mismos que aumentan a medida que aumenta la edad, para los picos correspondientes a tobermorita y Portlandita, acompañados de picos débiles de etringita.
- La celita es el silicato de calcio que reacciona primero, gracias a su rápida transformación desde el primer día a etringita, adicionalmente, al paso de los días la alita de forma rápida y celita de forma más lenta se transforman en gel de tobermorita, que alcanzan la velocidad de reacción completa en casi 7 días.
- La alita, celita, belita y ferrita, son componentes del Clinker, especialmente en el cemento de alta resistencia inicial, existe una mayor cantidad de alita lo que hace que a una edad temprana se produzca más hidróxido de calcio o Portlandita con lo que produce una rápida reacción y formación de silicatos de calcio hidratados o tobermorita.
- Se observa que la velocidad de reacción de la belita es lenta; es decir, como generador ayuda a aumentar su resistencia mecánica. El cemento se vuelve muy importante en una etapa posterior (más de 7 días) y su papel en el desarrollo de la resistencia es apoyar la retención del valor adquirido de minerales como la alita y la celita.
- La resistencia a la compresión de cubos de mortero fue superior a 21 MPa llegando a esta resistencia al 3 día de fraguado, y como resistencia final de 36 MPa a los 28 días. La resistencia en cilindros llegó a la resistencia de 26 MPa a los 7 días y resistencia final de 34 MPa a los 28 días demostrando al séptimo día que las

muestras con cemento de alta resistencia inicial ya logran obtener el 100% de la resistencia deseada.

- La resistencia a la tracción indirecta máxima para un cemento de alta resistencia inicial comúnmente a los 7 días sería de 2.10 MPa, pero las muestras analizadas obtuvieron una resistencia de 2.8 MPa es decir un incremento del 33% y a los 28 días la resistencia fue de 3.95 MPa con un aumento del 88% mostrando una tendencia de aumento.
- El aumento de la resistencia a la compresión en los cubos de mortero fabricados con arena de sílice permite que la relación agua cemento se analice directamente sin la absorción de agua por parte de la arena.
- En el ensayo de permeabilidad se muestra que el valor de penetración se reduce a mayores edades y desde los 7 días tenemos una reducción del 50% debido a la hidratación del cemento de alta resistencia inicial.
- Los rendimientos de etringita, tobermorita y Portlandita aumenta a una edad temprana con el aumento de la tasa de evolución de calor de hidratación generado.

### **3.4 Recomendaciones**

- Tener precaución al momento del desencofrado de morteros y cilindros, procurando que cada molde se encuentre correctamente aceitados evitando que las muestras se adhieran al molde o se desintegren al retirarlos de los mismos.
- Para un correcto desarrollo de los ensayos es primordial controlar la temperatura ya que se puede generar variaciones en los resultados.
- Adquirir moldes que cumplan con las especificaciones de las normas, tanto los cubos de mortero como cilindros de hormigón, ya que las condiciones de cada probeta tienen una importante relevancia en ciertos parámetros a analizar
- Para evitar el desperdicio de material y tiempo, se debe realizar un número determinado de probetas de prueba para comprobar la resistencia, tanto en los cilindros como en los cubos.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejandro Giraldo, M. M., & Iván Tobón, J. (2006). EVOLUCIÓN MINERALÓGICA DEL CEMENTO PORTLAND DURANTE EL PROCESO DE HIDRATACIÓN MINERALOGICAL EVOLUTION OF PORTLAND CEMENT DURING HYDRATION PROCESS. *Año*, 73, 69–81.

*ASTM Sands | U.S. Silica.* (s/f). Recuperado el 21 de agosto de 2022, a partir de <https://www.ussilica.com/products/astm-sands>

Calleja Carrete, J. (2001). La “Portlandita” - hidróxido de calcio - y la “tobermorita” - silicatos de calcio hidratados - de la pasta de cemento: tratamiento estequiométrico de sus compartimentos. *Cemento Hormigón*, ISSN 0008-8919, N.º. 824, 2001, Págs. 526-542, 824, 526–542. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5528283>

de Geología, D., Geoquímica, Y., García, D. R., & Madrid, G. (2016). *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID FACULTAD DE CIENCIAS Dirigida por: Dra. Raquel Vigil de la Villa Mencía.*

Luna Hermosa, G. v. (2014). *ESTUDIO DEL HORMIGÓN.*

Moragues Terrades ETS Caminos, A. I., & Puertos PROCESOS HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN, C. de. (s/f). *PROCESOS DE HIDRATACIÓN DEL PROCESOS DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND MICROESTRUCTURA DEL MICROESTRUCTURA DEL HORMIGÓN.*

Nerville, A. (2010). *CONCRETE TECHNOLOGY* (British Library).

Portugal, P. (s/f). *Tecnología del Concreto de alto Desempeño (High Performance Concrete)*. Recuperado el 20 de agosto de 2022, a partir de <https://n9.cl/zh8k4>

Ramachandran, V. S. (Vangipuram S. (2002). *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Noyes Publications.

Sánchez de Guzmán, Diego. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* <https://n9.cl/8kh8i>

## 5 ANEXOS

## ANEXO 1

**TABLA No. 1**  
**ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN**

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO* (cm)	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Fundaciones: paredes y zapatas reforzadas	12,7	5,0
Zapatas simples, Caissons y muros de subestructura	10,0	2,5
Losas, Vigas y Peredes reforzadas	15,0	7,6
Columnas de edificaciones	15,0	7,6
Pavimentos y veredas	7,6	5,0
Construcción	7,6	2,5

\* Cuando se empleen vibradores de alta frecuencia en la obra, los valores dados deberían reducirse en alrededor de un tercio

## ANEXO 2

**TABLA No. 2**  
**TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS**

DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN. cm (pulg)	TIPOS DE CONSTRUCCIÓN			
	Paredes, Vigas y Columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo
6,4 a 12,7 (2,5 a 5)	1,27 a 1,9 (1/2 a 3/4)	1,9 (3/4)	1,9 a 2,5 (3/4 a 1)	1,9 a 3,8 (3/4 a 1 1/2)
15,2 a 28,0 (6 a 11)	1,9 a 3,8 (3/4 a 1 1/2)	3,8 (1 1/2)	3,8 (1 1/2)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)
30,5 a 73,7 (12 a 29)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7,6 (3)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7,6 (3)
76,2 ó más (30 ó más)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	15,2 (6)	3,8 a 7,6 (1 1/2 a 3)	7,6 a 15,2 (3 a 6)

### ANEXO 3

**TABLA No. 3**  
**CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO, LITROS /M3 DE HORMIGÓN, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS**

ASENTAMIENTO, cm (pulg)	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, cm (pulg)							
	0,95 (3/8)	1,27 (1/2)	1,9 (3/4)	2,54 (1)	3,81 (1 1/2)	5,08 (2)	7,62 (3)	15,24 (6)
<b>HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE</b>								
2,5 a 5,1 (1 a 2)	208	198	183	178	163	153	144	124
7,6 a 10,2 (3 a 4)	228	218	203	193	178	168	158	139
15,2 a 17,8 (6 a 7)	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de Aire Atrapado, %	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
<b>HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE</b>								
2,5 a 5,1 (1 a 2)	183	178	163	153	144	134	124	109
7,6 a 10,2 (3 a 4)	203	193	178	168	158	149	139	119
15,2 a 17,8 (6 a 7)	213	203	188	178	168	158	149	129
Porcentaje de Aire Atrapado, %	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

## ANEXO 4

**TABLA No. 4**  
**RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c) MÁXIMA PERMISIBLE, EN litros/kg de cemento, PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS**  
**Y CON DISTINTAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN**

TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN (1)					
	Fluctuaciones muy severas de temperatura o cambios frecuentes de congelación y deshielo (hormigón con inclusión de aire, soamente)			Temperatura moderada, rara vez bajo el punto de congelación o lluvioso o árido		
	En aire	A nivel del agua o dentro del rango de fluctuación del nivel de agua o humedecimiento		En aire	A nivel del agua o dentro del rango de fluctuación del nivel de agua o humedecimiento	
		En agua dulce	En agua salada o con sulfatos (2)		En agua dulce	En agua salada o con sulfatos (2)
Secciones delgadas como: pasamanos, bordillos de aceras, dinteles, rebordes, hormigón ornamental o arquitectónico, pilotes reforzados, tuberías y todas las secciones con menos de 1 pulg. (2.54 cm) de recubrimiento sobre el refuerzo.	0,49	0,45	0,40 (3)	0,53	0,49	0,40 (3)
Secciones moderadas como: muros de contención, estribos y pilas de puentes, viguetas, vigas. Partes exteriores de secciones masivas.	0,53	0,49	0,49 (3)	(4)	0,53	0,49 (3)
Hormigón depositado con embudo metálico bajo el agua.	----	0,45	0,49	----	0,45	0,49
Losas de hormigón fabricadas sobre el suelo.	0,53	----	----	(4)	----	----
Hormigón protegido de la interperie, interiores de edificios, hormigón bajo tierra.	(4)	----	----	(4)	----	----
Hormigón que posteriormente será protegido por un cerramiento o relleno, pero que estará expuesto a congelamiento y deshielo por muchos años, antes de que tal protección sea efectiva.	0,53	----	----	(4)	----	----

## ANEXO 5

### TABLA No. 5

**RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c) RECOMENDADA, EN litros/kg de cemento, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE \***

RELACIÓN AGUA-CEMENTO, (a/c) (litros/kg de cemento)	LITROS DE AGUA POR CADA SACO DE 50 Kg DE CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE A LOS 28 DÍAS (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE	HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE
0,353	17,5	425	325
0,445	22,5	350	280
0,530	26,5	280	210
0,623	31,0	210	180
0,705	35,5	180	140
0,800	40,0	140	110



## ANEXO 6

### TABLA No. 6

VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN M<sup>3</sup>, POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN \*

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		VOLUMEN, EN M <sup>3</sup> , DE AGRAGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO, POR M <sup>3</sup> DE HORMIGÓN							
		MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO							
cm	pulg	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
1,00	3/8	0,470	0,460	0,450	0,440	0,430	0,420	0,410	0,400
1,25	1/2	0,560	0,550	0,540	0,530	0,520	0,510	0,500	0,490
1,90	3/4	0,660	0,650	0,640	0,630	0,620	0,610	0,600	0,590
2,54	1	0,710	0,700	0,690	0,680	0,670	0,660	0,650	0,640
3,81	1 1/2	0,770	0,760	0,750	0,740	0,730	0,720	0,710	0,700
5,08	2	0,800	0,790	0,780	0,770	0,760	0,750	0,740	0,730
7,62	3	0,850	0,840	0,830	0,820	0,810	0,800	0,790	0,780
15,24	6	0,910	0,900	0,890	0,880	0,870	0,860	0,850	0,840

## ANEXO 7

**TABLA No. 7-a**  
**EXIGENCIA DE GRADUACIÓN PARA AGREGADOS GRUESOS**

TAMAÑO No.	TAMAÑO NOMINAL	pulg mm	PORCENTAJES, EN PESO, QUE PASAN CADA TAMIZ												
			4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
			100	87,5	75	63	50	38,1	25	19	12,5	9,5	4,76	2,3	1,19
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	2 1/2" a 1 1/2"	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	2" a 1"	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
4	1 1/2" a 3/4"	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
7	1/2" a No. 4	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	3/8" a No. 8	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
357	2" a No. 4	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
467	1 1/2" a No. 4	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
57	1" a No. 4	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
67	3/4" a No. 4	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---

**TABLA No. 7-b**  
**EXIGENCIA DE GRADUACIÓN PARA AGREGADOS FINOS**

TAMAÑO NOMINAL	pulg mm	PORCENTAJES, EN PESO, QUE PASAN CADA TAMIZ							
		3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
		9,5	4,76	2,36	1,19	0,60	0,30	0,15	0,075
3/8" a No. 200		100	95 a 100	80 a 100	50 a 85	25 a 60	10 a 30	2 a 10	0 a 5

# ANEXO CEMENTO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0379-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 19 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-21  
NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
HOLCIM	HE	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm <sup>3</sup> )	Peso inicial (g)	Volúmen final (cm <sup>3</sup> )	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )
1	1	326.9	18.4	378.9	1	2.99
2	0.7	312	18.8	367.4	2	3.06
PROMEDIO						3.02

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, marca y tipo de cemento, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO





DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0377 - 1  
Hoja 01 de 01

Quito, 19 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE


Razón Social: BARRAGÁN ESQUIVEL MARÍA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE CEMENTO: HE  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-21  
NORMA: \*\*\*

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm <sup>3</sup>	DENSIDAD COMPACTADA g/cm <sup>3</sup>
21-016-I-1	1	0,914	1,296

**OBSERVACIÓN:** La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia y tipo de cemento, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



# ANEXO AGREGADOS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-368-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: BARRAGÁN ESQUIVEL MARÍA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078946

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

MUESTRA: ÁRIDO GRUESO

PROCEDENCIA: HOLCIM

FECHA DE ENSAYO: 2022-04-19

NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		10000.00	Número de Tamaño		67
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	QUE PASA (%)
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	1067.1	10.7	10.7	89.3
3/8"	9.50	6624.0	66.3	79.0	21.0
No. 4	4.75	1817.5	18.2	97.2	2.8
No. 8	2.36	132.7	1.3	98.5	1.5
Bandeja	-	146.0	1.5	100.0	0.0
TOTAL		9987.3	M. FINURA	6.9	

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0371-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

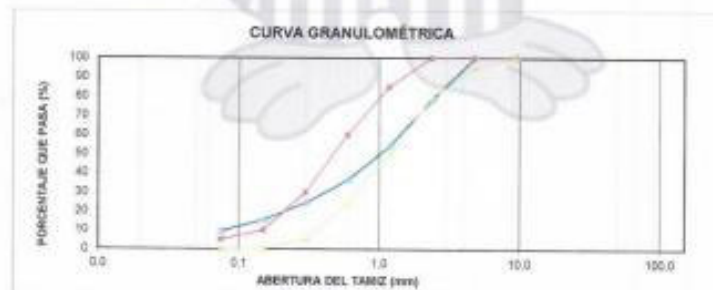
Razón social: BARRAGÁN ESQUIVEL MARÍA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: ÁRIDO FINO  
PROCEDENCIA: HÓLCIM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-19  
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	0,7	0,1	0,1	99,9
No. 8	2,360	214,7	21,5	21,5	78,4
No. 15	1,180	244,3	24,4	46,0	54,0
No. 30	0,600	171,8	17,2	63,2	36,8
No. 50	0,300	123,3	12,3	75,5	24,5
No. 100	0,150	92,0	9,2	84,7	15,3
No. 200	0,075	59,0	5,9	90,6	9,4
BANDEJA	-	93,7	9,4	100,0	0,0
TOTAL		999,6			

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como: muestra, ubicación, procedencia y profundidad, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



ING. MERCEDES VILACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0374- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: BARRAGÁN ESQUIVEL MARÍA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE MUESTRA: INDICADO  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-20  
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
016-I-001	ÁRIDO FINO	1617	36	1794	30
016-I-002	ÁRIDO GRUESO	1250	47	1330	44

**OBSERVACIÓN:** La información proporcionada por el cliente, tal como, descripción y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0278-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 3 de mayo de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: MARIA FERNANDA BARRAGAN ESQUIVEL  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

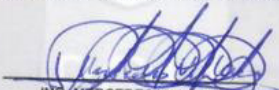
#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE MUESTRA: INDICADAS  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-19  
NORMA: ASTM C128-15 / ASTM C127-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
016-I-01	Arena	2.55	2.62	2.74	2.70
016-I-02	Ripio	2.38	2.45	2.57	3.19

#### OBSERVACIÓN:

La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO







### ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-363-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 12 de mayo de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: ECHEVERRIA SALAZAR KLEBER ALEXANDER  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0988524837

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-21  
NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO	
MUESTRA:	Agregado grueso
GRADACIÓN:	B
NUMERO DE ESFERAS:	11
PESO INICIAL (g):	5001.3
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g):	4747.60
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (g):	3856.40
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%)	5.07
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%)	22.89
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0.22

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0420-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE MUESTRA: AGREGADO FINO

FECHA DE ENSAYO: 2022-04-20

NORMA: ASTM C40



OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



# ANEXO ENSAYOS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0413-I  
Hojo 01 de 01

Quito, 10 de agosto de 2022

Razón social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948  
DATOS DEL PROYECTO  
Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	PESO * ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	σ U (MPa)
1	HC - HE - 1	2022-07-05	2022-07-08	1	100,75	7972	2260	46,0	TIPO 2	A	5,8	0,02
2	HC - HE - 2	2022-07-05	2022-07-08	1	101,50	8091	2220	46,0	TIPO 2	A	5,8	0,02
3	HC - HE - 3	2022-07-05	2022-07-08	1	101,00	8012	2240	44,1	TIPO 2	A	5,5	0,02
4	HC - HE - 10	2022-07-05	2022-07-08	3	102,00	8171	2280	181,2	TIPO 2	A	18,7	0,11
5	HC - HE - 11	2022-07-05	2022-07-08	3	101,75	8131	2250	148,8	TIPO 2	A	18,2	0,10
6	HC - HE - 12	2022-07-05	2022-07-08	3	100,50	8413	2250	158,1	TIPO 3	A	18,8	0,10
7	HC - HE - 17	2022-07-05	2022-07-12	7	101,75	8131	2280	218,8	TIPO 5	A	20,6	0,11
8	HC - HE - 18	2022-07-06	2022-07-12	7	102,80	8282	2250	211,8	TIPO 2	A	25,7	0,11
9	HC - HE - 19	2022-07-06	2022-07-12	7	102,00	8171	2270	218,8	TIPO 2	A	26,8	0,11
10	HC - HE - 20	2022-07-06	2022-08-02	28	100,50	7933	2300	274,2	TIPO 2	A	34,5	0,13
11	HC - HE - 21	2022-07-06	2022-08-02	28	101,25	8082	2290	288,7	TIPO 2	A	32,3	0,13
12	HC - HE - 22	2022-07-06	2022-08-02	28	101,00	8012	2270	276,7	TIPO 2	A	34,5	0,13



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = REGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA.  
OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensajados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VELASCO  
JEFE DE LABORATORIO





COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

RF. No. 22-04141  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C 496/ INEN 2548

Identificación	Descripción	Fecha de fábrica	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Defectos
HC - HE - 4	Cilindro 1	2022-07-05	2022-07-06	1	101	200	2229	30930	0,95	A
HC - HE - 5	Cilindro 2	2022-07-05	2022-07-06	1	102	200	2280	23520	0,75	A
HC - HE - 13	Cilindro 3	2022-07-05	2022-07-08	3	103	202	2228	59000	1,80	A
HC - HE - 14	Cilindro 4	2022-07-05	2022-07-08	3	102	200	2271	67070	2,10	A
HC - HE - 15	Cilindro 5	2022-07-05	2022-07-12	7	102	200	2344	87870	2,70	A
HC - HE - 16	Cilindro 6	2022-07-05	2022-07-12	7	103	200	2225	91680	2,85	A
HC - HE - 23	Cilindro 7	2022-07-05	2022-08-02	28	101	202	2288	125380	3,95	A
HC - HE - 24	Cilindro 8	2022-07-05	2022-08-02	28	102	198	2284	125480	3,95	A

DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO ; B = SEGREGADO ; C = POROSIDAD ; D = FISURAS PREEXISTENTES ; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, descripción) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. La descripción de defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0412 - I  
Hoja 01 de 02

Quito, 10 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C109

Nº	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (MPa)
1	2022-06-07	HC - HE 1 D 1	2022-06-08	1	281,6	1,00	9,78	39	3,8
2	2022-06-07	HC - HE 1D 2	2022-06-08	1	280	1,00	9,82	39	3,8
3	2022-06-07	HC - HE 1D 3	2022-06-08	1	286,9	1,10	10,75	41	4,1
4	2022-06-07	HC - HE 1D 4	2022-06-08	1	282,1	1,07	10,50	41	4,0
5	2022-06-07	HC - HE 1D 5	2022-06-08	1	291,7	1,03	10,12	39	3,8
6	2022-06-07	HC - HE 1D 6	2022-06-08	1	288,7	1,05	10,28	40	3,9
7	2022-06-07	HC - HE 1	2022-06-10	3	273,8	5,72	56,14	200	19,6
8	2022-06-07	HC - HE 2	2022-06-10	3	272,4	5,71	56,02	218	21,4
9	2022-06-07	HC - HE 3	2022-06-10	3	272,6	5,19	50,91	208	20,2
10	2022-06-07	HC - HE 4	2022-06-10	3	274,6	5,70	55,85	231	22,7
11	2022-06-07	HC - HE 5	2022-06-10	3	275,6	5,69	55,77	231	22,6
12	2022-06-07	HC - HE 6	2022-06-10	3	275,2	6,02	59,00	242	23,7

**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO





COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0412 - I  
Hoja 02 de 02

Quito, 10 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: BARRAGAN ESQUIVEL MARIA FERNANDA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0961078948

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C109

Nº	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (MPa)
13	2022-06-07	HC - HE 7	2022-06-14	7	293,1	10,01	96,13	389	38,1
14	2022-06-07	HC - HE 8	2022-06-14	7	272,5	8,11	79,58	330	32,4
15	2022-06-07	HC - HE 9	2022-06-14	7	291,2	8,39	82,27	318	31,2
16	2022-06-07	HC - HE 10	2022-06-14	7	272,4	7,76	76,14	314	30,8
17	2022-06-07	HC - HE 11	2022-06-14	7	293,3	7,42	72,78	285	28,0
18	2022-06-07	HC - HE 12	2022-06-14	7	273,8	7,74	75,95	312	30,8
19	2022-07-04	HC - HE 1	2022-08-02	29	289,2	9,32	91,41	358	35,2
20	2022-07-04	HC - HE 2	2022-08-02	29	297	7,39	72,49	279	27,4
21	2022-07-04	HC - HE 3	2022-08-02	29	293	9,86	97,65	373	36,8
22	2022-07-04	HC - HE 4	2022-08-02	29	299,2	10,76	105,48	406	39,8
23	2022-07-04	HC - HE 5	2022-08-02	29	285,2	10,18	99,85	392	38,4
24	2022-07-04	HC - HE 6	2022-08-02	29	288	10,37	101,71	393	38,5

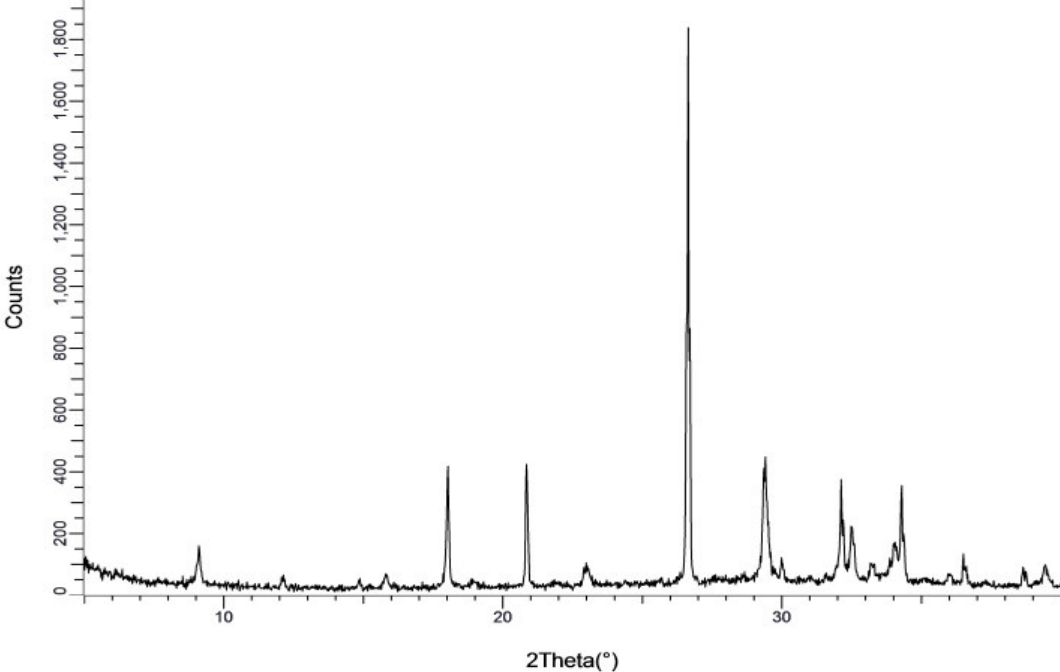
**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



# ANEXO DRX 1D

(780) Coupled TwoTheta/Theta 11:01:33 AM LYNXEYE\_XE\_T (1D mode): PSD counter

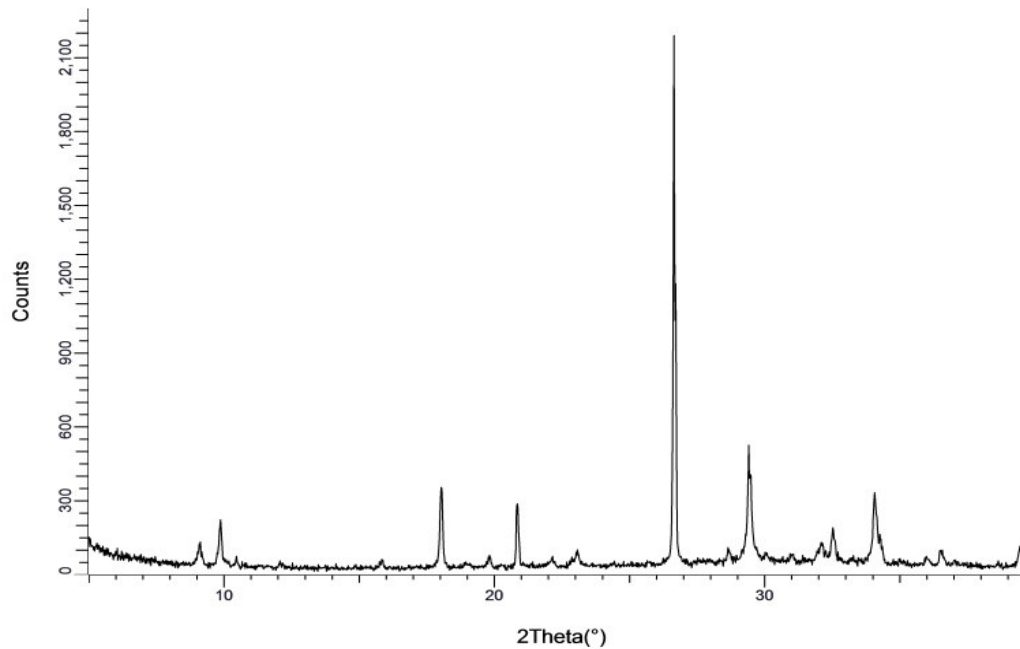


## Experiment

User ID	Lab Manager(213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 11:12:11 AM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		

# ANEXO DRX 3D

(779) Coupled TwoTheta/Theta 10:49:19 AM LYNXEYE\_XE\_T (ID mode): PSD counter



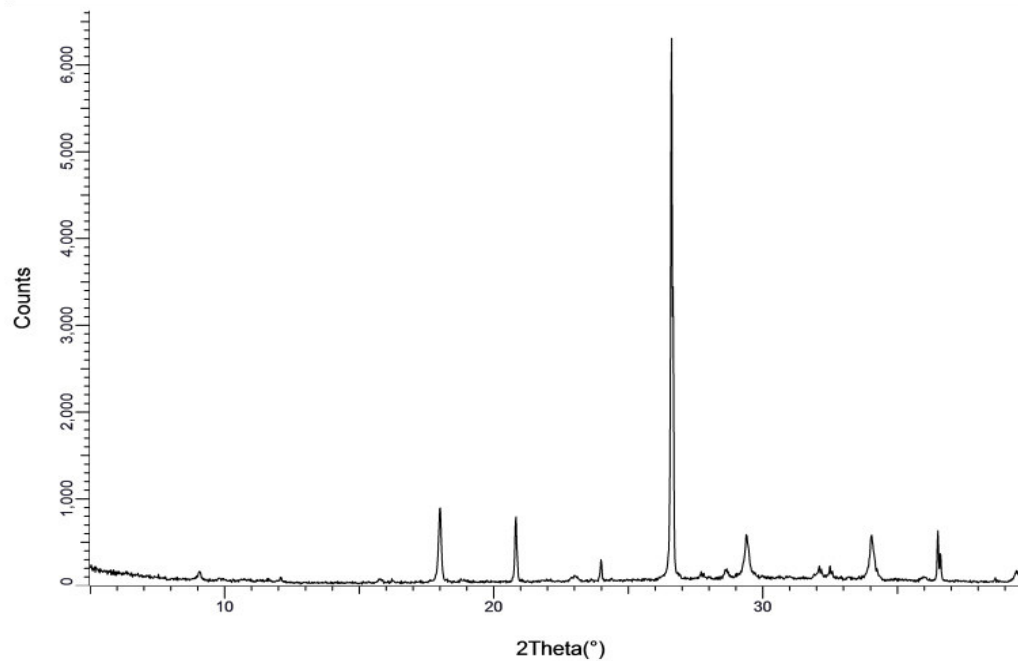
## Experiment

User ID	Lab Manager (213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 10:59:51 AM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		



# ANEXO DRX 7D

(787) Coupled TwoTheta/Theta 1:48:54 PM LYNXEYE\_XE\_T (1D mode): PSD counter

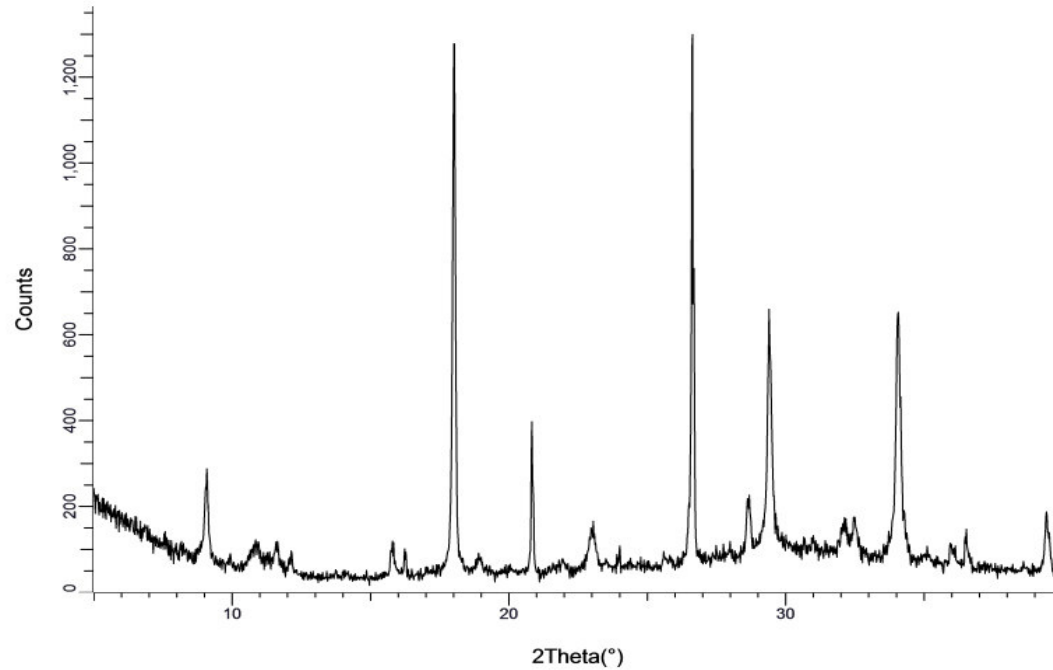


## Experiment

User ID	Lab Manager (213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 1:59:20 PM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		

# ANEXO DRX 28D

(784) Coupled TwoTheta/Theta 11:46:18 AM LYNXEYE\_XE\_T (1D mode): PSD counter



## Experiment

User ID	Lab Manager(213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 11:54:54 AM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		