

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE  
RESISTENCIA A LOS SULFATOS DE UNA MARCA DE CEMENTO  
ECUATORIANA**

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

**KLEBER ALEXANDER ECHEVERRÍA SALAZAR**

**DIRECTOR: EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO**

**DMQ, septiembre 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Kleber Alexander Echeverría Salazar 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.

---

**Kleber Alexander Echeverría Salazar**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Kleber Alexander Echeverría Salazar, bajo mi supervisión.

---

**EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS  
TRONCOSO**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**ING. GERMAN LUNA  
REVISOR1 DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**NOMBRE\_REVISOR2  
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 (los) producto(s) resultante(s) 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.

Kleber Alexander Echeverría Salazar

Eugenia de las Mercedes Villacis Troncoso

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado para las personas que toda la vida han creído en mí y han estado presentes siempre, mis abuelitos.

Y para la persona más importante en mi vida la razón más importante para conseguir esta meta, mi hija.

Kleber Alexander Echeverria Salazar

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a las personas que han formado parte de este proceso educativo, profesores, compañeros y amigos en especial a mis amigos German y Mafer. Sin todo el apoyo e impulso brindado, esto no sería posible.

A mi tutora por compartirme su conocimiento en este proyecto, ayudarme con su dirección y acompañamiento en este trabajo además de su conocimiento impartido a lo largo de mi carrera universitaria.

A toda mi familia por el apoyo brindado y el acompañamiento en cada etapa de este arduo camino.

Al LEMSUR por su apoyo con los ensayos realizados y la predisposición para la utilización de sus instalaciones.

Al Laboratorio de Materia Condensada del Departamento de Física de la Escuela Politécnica Nacional por su colaboración en la realización de los ensayos de DRX.

Y en general a la Escuela Politécnica Nacional por haberme acogido en sus aulas y haberme dado los recursos y conocimientos para hoy poder culminar con este sueño y esta meta tan anhelada.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION .....	1
1.1	Objetivo general .....	1
1.2	Objetivos específicos .....	1
1.3	Alcance .....	2
1.4	MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1	Conceptos.....	3
1.4.2	Materiales .....	6
1.4.3	Cemento tipo V .....	7
1.4.4	Proceso de hidratación del cemento .....	8
1.4.5	Difracción de rayos X.....	10
2	METODOLOGÍA .....	12
2.1	PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE LOS MATERIALES A SER UTILIZADOS.....	13
2.1.1	Densidad real del cemento .....	13
2.1.2	Densidad aparente del cemento.....	15
2.1.3	Granulometría.....	17
2.1.4	Colorimetría.....	19
2.1.5	Absorción.....	20
2.2	PREPARACIÓN DE MUESTRAS .....	21
2.2.1	Preparación de probetas cilíndricas.....	21
2.2.2	Preparación de probetas cubicas.....	22
2.3	ENSAYOS.....	23
2.3.1	Ensayo de compresión simple en cilindros de hormigón.....	23
2.3.2	Ensayo de compresión en cubos de mortero.....	24
2.3.3	Ensayo de tracción indirecta (brasileró).....	24
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
3.1	RESULTADOS .....	26
3.1.1	Densidades aparentes y reales del cemento. ....	26
3.1.2	Densidades aparentes agregado fino y agregado grueso. ....	26
3.1.3	Granulometría .....	27
3.1.4	Peso específico y absorción de agregado fino y grueso.....	29
3.1.5	Abrasión. ....	30

3.1.6	Dosificación.....	30
3.1.7	Compresión de cubos de mortero de cemento.....	32
3.1.8	Compresión de cilindros de hormigón.....	33
3.1.9	Curvas de endurecimiento para cada ensayo.....	33
3.1.10	Difracción de rayos X.....	34
3.2	Conclusiones.....	42
3.3	Recomendaciones.....	43
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
5	ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 .....	8
Tabla 2. 1 Cantidad de muestra para tamiz 200mm.....	17
Tabla 2. 2 Cantidad de muestra de ensayo para tamiz 300 mm .....	17
Tabla 2. 3 Color normalizado en escala de Gardner; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 2. 4 Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos .....	24
Tabla 3. 1 Resultados de ensayo densidad aparente del cemento .....	26
Tabla 3. 2 Resultados de ensayo de densidad real del cemento .....	26
Tabla 3. 3 Resultados de densidad aparente del agregado fino .....	26
Tabla 3. 4 Resultados de densidad aparente de agregado grueso .....	27
Tabla 3. 5 Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.....	27
Tabla 3. 6 Módulo de finura y coeficientes. ....	27
Tabla 3. 7 Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso .....	28
Tabla 3. 8 Modulo de finura y coeficientes .....	28
Tabla 3. 9 Resultados de peso específico y absorción de agregado fino.....	29
Tabla 3. 10 Resultados de peso específico y absorción de agregado grueso .....	30
Tabla 3. 11 Resultados de ensayos de abrasión.....	30
Tabla 3. 12 Resumen de resultados para cemento HS.....	30
Tabla 3. 13 Resumen de resultados para agregado fino.....	31
Tabla 3. 14 Resumen de resultados para agregado grueso .....	31
Tabla 3. 15 Datos adicionales para dosificación .....	31
Tabla 3. 16 Volúmenes de cada material para dosificar.....	32
Tabla 3. 17 Dosificación final para hormigón con cemento HS .....	32
Tabla 3. 18 Resultados de la compresión de cubos de cemento. ....	32
Tabla 3. 19 Resultados de compresión de cilindros .....	33
Tabla 3. 20 Resultados de tracción indirecta de cilindros .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Requisitos de composición normalizada .....	5
Figura 1. 2 Gradación del agregado fino .....	6
Figura 1. 3. Requisitos para la arena normalizada .....	7
Figura 1. 4 Esquema de funcionamiento de difractómetro. ....	11
Figura 2. 1 Frasco de Le Chatelier .....	14
Figura 3. 1 Curva granulométrica de agregado fino .....	28
Figura 3. 2 Curva granulométrica de agregado grueso .....	29
Figura 3. 3 Curva de endurecimiento para ensayo de compresión de cubos de mortero .....	33
Figura 3. 4 Curva de endurecimiento para ensayo de compresión de cilindros de hormigón. ....	34
Figura 3. 5 Curva de endurecimiento para ensayo de tracción indirecta de cilindros de hormigón .....	34
Figura 3. 6 Mineralogía presente a 7 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: oxido de calcio).....	35
Figura 3. 7 Mineralogía presente a 28 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: oxido de calcio).....	36
Figura 3. 8 Mineralogía presente a 56 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: oxido de calcio).....	36
Figura 3. 9 Difractograma a diferentes edades, entre 5 - 10 grados .....	37
Figura 3. 10 Difractograma a diferentes edades, entre 15 - 20 grados .....	37
Figura 3. 11 Difractograma a diferentes edades, entre 20 - 25 grados .....	38
Figura 3. 12 Difractograma a diferentes edades, entre 30 - 35 grados .....	38
Figura 3. 13 Difractograma a diferentes edades, entre 35 - 40 grados .....	39
Figura 3. 14 Cuadro comparativo de picos máximos entre 5 – 10 grados .....	39
Figura 3. 15 Cuadro comparativo de picos máximos entre 15-20 grados .....	40
Figura 3. 16 Cuadro comparativo de picos máximos entre 20-25 grados .....	40
Figura 3. 17 Cuadro comparativo de picos máximos entre 25-30 grados .....	41
Figura 3. 18 Cuadro comparativo de picos máximos entre 30-35 grados .....	41

Figura 3. 19 Cuadro comparativo de picos máximos entre 35-40 grados ..... 42

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I Informe de resultados de densidad real del cemento .....	47
ANEXO II Informe de densidad aparente de cemento .....	48
ANEXO III Informe de análisis granulométrico (finos) .....	49
ANEXO IV Informe de análisis granulométrico (gruesos).....	50
ANEXO V Informe de contenido orgánico .....	51
ANEXO VI Informe de gravedad específica y absorción. ....	52
ANEXO VII Informe de densidad aparente de agregados finos y gruesos. ....	53
ANEXO VIII Informe de ensayo de abrasión. ....	54
ANEXO IX Informe de compresión de cilindros de hormigón. ....	55
ANEXO X Informe de compresión cubica de morteros de cemento.....	56
ANEXO XI Informe de compresión diametral de cilindros de hormigón (Tracción indirecta).....	57
ANEXO XII Difractograma comparativo completo para diferentes edades. ....	58
ANEXO XIII Cuadro de valores máximos entre intervalos $2\theta=5^\circ$ . ....	59

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizará un análisis del proceso de hidratación del cemento tipo V o tipo HS, el cual es el cemento resistente a sulfatos. Dicho estudio se lo realiza desde la fabricación de mortero y de hormigón para luego llevar a cabo varias pruebas físicas y químicas que permitirán generar conclusiones y resultados con respecto a la investigación.

Una vez fabricados los especímenes se los ensaya a compresión y en el caso de cilindros se los ensayara adicionalmente a tracción indirecta, para las edades de 7, 28 y 56 días. Con estos resultados se tendrá una curva de endurecimiento que ayuda a evaluar el comportamiento mecánico del cemento a diferentes edades.

Por medio de la difracción de rayos X se obtiene difractogramas en donde se puede observar la presencia de los compuestos como: etringita, tobermorita, portlandita, entre otros. Compuestos que se esperaban tener por medio de la hidratación y que son muy importantes para evaluar el proceso de hidratación y las fases de endurecimiento. Estos compuestos y la cantidad de estos a diferentes edades hacen notar como actúa este cemento ante la presencia de agua, generando una menor cantidad de etringita en su fase inicial para generar menor materia expansiva y por lo tanto menor agrietamiento, lo cual es clave para que este cemento tipo HS sea resistente a sulfatos gracias a que es menos permeable.

**PALABRAS CLAVE:** hidratación, cemento HS, difractogramas, resistencia a sulfatos, difracción, edades.

## **ABSTRACT**

In the present work, will realize an analysis of the hydration process of type V cement or type HS cement, which is sulfate-resistant cement. Which study is conducted from the manufacture of mortar and concrete to then carry out various physical and chemical tests that will allow conclusions and results to be generated with respect to the investigation.

Once the specimens are manufactured, they are tested under compression and, in the case of cylinders, they will be tested additionally under indirect traction, for the ages of 7, 28 and 56 days. With these results, a hardening curve will be obtained that helps to evaluate the mechanical behavior of the cement at different ages.

By means of X-ray diffraction, diffractograms are obtained where the presence of compounds such as: ettringite, tobermorite, portlandite, among others, can be observed. Compounds that were expected to have through hydration and that are especially important to evaluate the hydration process and the hardening phases. These compounds and the amount of these at different ages show how this cement acts in the presence of water, generating a lower amount of ettringite in its initial phase to generate less expansive matter and therefore less cracking, which is key for this type of HS cement is resistant to sulfates because it is less permeable.

**KEYWORDS:** hydration, HS cement, diffractograms, resistant to sulfates, diffraction, ages.

# **1 INTRODUCCION**

El cemento Portland es el más utilizado por los constructores y dentro de este cemento se tienen varios tipos. En este estudio se pretende estudiar el cemento TIPO V el cual es un cemento resistente a sulfatos.

Es de suma importancia que, como profesionales de la construcción, no solo se entienda los procesos a nivel macro sino también tener un entendimiento claro de cómo se llevan los procesos de carácter microscópico, ya que esto marca la diferencia entre un hormigón que resista las condiciones para la que fue diseñado y un hormigón deficiente que presente problemas a la hora de someterlo a cargas o al entrar en contacto con factores ambientales muy agresivos.

Este trabajo está destinado a entender y detallar el proceso de hidratación del cemento tipo V, para así poder tener una base científica mucho más sólida de los procesos que involucran esta producción de la pasta de cemento y como afecta dicho proceso a la resistencia y durabilidad del hormigón.

Es de suma importancia entender las diferentes fases dentro del proceso de hidratación en donde las reacciones químicas que se producen no son las mismas para cada etapa y los compuestos involucrados reaccionan en mayor o menor cantidad, es por eso por lo que en este proyecto se busca evaluar y cuantificar dichos procesos para generar un criterio más acertado y con un mayor entendimiento de este.

## **1.1 Objetivo general**

Analizar el proceso de hidratación del cemento resistente a los sulfatos determinando las diferentes fases que se presentan y en que interviene cada una dentro del proceso de fraguado y endurecimiento del cemento.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Generar muestras de mortero para analizar su proceso de hidratación a diferentes edades.

2. Evaluar y ensayar los componentes a utilizarse para la fabricación de muestras de mortero y hormigón.
3. Someter a pruebas para medir la resistencia a compresión de un cemento resistente a los sulfatos de 7, 28 y 56 días de edad.
4. Cuantificar la cantidad de aluminato tricálcico ( $C_3A$  - celita) que se encuentra y en qué grado afecta a la resistencia a los sulfatos.
5. Evaluar por medio de difracción de Rx a las muestras para determinar semi-cuantitativamente los componentes del proceso químico generado por la hidratación.

### **1.3 Alcance**

Se pretende realizar un análisis del estado del arte en el proceso de hidratación del cemento resistente a sulfatos de una marca ecuatoriana. Para lo cual se realizarán muestras de dicho cemento y se las someterá a pruebas físicas y químicas como la DRX, dichas pruebas se las realizará para muestras de diferentes edades 7, 28 y 56 días. Con lo que se busca determinar cómo se da el proceso de hidratación para así generar un mayor entendimiento y conocimiento del proceso para en un futuro aplicarlo y saber la importancia de este.

También se busca generar un entendimiento del proceso químico presente durante el proceso de hidratación y sus diferentes componentes como son la tobermorita (CSH), etringita, portlandita ( $Ca(OH)_2$ ), etc., realizando un estudio con mayor detalle en el hormigón resistente a sulfatos, sometiéndolo a ensayos para medir su resistencia a compresión y las etapas que se producen dentro de la reacción química. Además de conocer las fases y edades en la que cada uno de estos componentes aparecen dentro del proceso.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

### **1.4.1 Conceptos.**

#### **1.4.1.1 El concreto**

El concreto es un material duro, por lo cual se asemeja a la piedra y este material se da gracias a la mezcla entre los agregados y el material cementante, y también se incluye agua y aire. El concreto se lo puede formar a conveniencia de lo que se necesite, es decir, gracias a su fase semi líquida puede tomar cualquier forma y dimensión dependiendo del encofrado que se tome. (Ortega Garcia, 2014)

El Clinker con el agua tienen una reacción química que une las partículas de para formar una masa sólida. La resistencia de cada hormigón se da dependiendo de la cantidad de materiales que se use en su diseño. Dentro del proceso de fabricación del hormigón es importante además de la dosificación el proceso de curado de este. El hormigón tiene una alta resistencia a compresión y no es muy bueno para resistir esfuerzos de tracción, es por esto que se adiciona acero para que el hormigón tenga una mayor capacidad a resistir esfuerzos.(Ortega Garcia, 2014)

#### **1.4.1.2 Cemento Portland**

Este cemento es un material que sirve como cementante ya que al ponerse en contacto con agua genera propiedades para la adherencia y cohesión para unir los agregados finos y gruesos, para poder formar finalmente la masa que tiene propiedades físicas y químicas. (Ortega Garcia, 2014)

Debido a la diferencia de requerimientos que se tiene en cada obra los cementos Portland tienen tipos, siendo estos para cada requerimiento y específicos para cada uso. Las especificaciones Estándar para estos tipos de cemento y los métodos de prueba se encuentran al detalle en las especificaciones ASTM C-150 :

- Tipo I, que es de uso general.

- Tipo II, es usado para resistir sulfatos en donde no sea necesario una gran protección de los mismos.
- Tipo III, este cemento tiene una alta resistencia inicial y alcanza su resistencia de diseño a los 7 días de vertido. Se usa para poder desencofrar de manera rápida sin esperar mucho tiempo de fraguado.
- Tipo IV, este cemento sirve cuando no se deber controlar el calor de hidratación, sin embargo alcanza su resistencia de diseño mucho mas lento que el resto de tipos de cemento.
- Tipo V, este tipo de cemento resiste muy bien a la presencia de agentes ambientales muy severos, como es los sulfatos o cloruros. Este tipo de cemento se los utiliza mucho en la costa y cercanías al mar, y en las cimentaciones en donde puede existir presencia de agua u otros agentes en donde haya presencia de sulfatos o cloruros. Este cemento llega a la resistencia de diseño en mas tiempo que el resto de tipos de cemento. (Ortega Garcia, 2014)

#### **1.4.1.3 Clasificación del cemento hidráulico según la NTE INEN 2380**

En la normativa correspondiente para el Ecuador existe una nomenclatura y tipología designada para cada tipo de cemento hidráulico y según la NTE INEN 2380 es la siguiente:

*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.

En el presente trabajo se utilizará y se enfocara al estudio del Cemento Tipo HS, ya que lo que se busca es el análisis cuantitativo y cualitativo del proceso de hidratación para este tipo de cemento específicamente.

#### 1.4.1.4 Requisitos de composición química normalizada

Dentro de la normativa ecuatoriana se nos presenta una tabla que muestra la composición química de cada uno de los cementos, y para nuestro caso se tomará la composición del cemento Tipo V o HS y se partirá de esta composición para luego evaluar los cambios o composiciones posteriores. Esta composición normalizada está dada según la NTE INEN 152.

Tipo de cemento <sup>A</sup>	Norma de ensayo aplicable	I y IA	II y IIA	III y IIIA	IV	V
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % máximo	INEN 160	--	6,0	--	--	--
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % máximo	INEN 160	--	6,0 <sup>B,C</sup>	--	6,5	--
Óxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), <sup>D</sup> % máximo	INEN 160					
Cuando (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> es 8% o menor		3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
Cuando (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> es mayor del 8%		3,5	<sup>F</sup>	4,5	<sup>F</sup>	<sup>F</sup>
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Silicato tricálcico (C <sub>3</sub> S) <sup>E</sup> , % máximo	Ver Anexo A	--	--	--	35 <sup>B</sup>	--
Silicato dicálcico (C <sub>2</sub> S) <sup>E</sup> , % mínimo	Ver Anexo A	--	--	--	40 <sup>B</sup>	--
Aluminato tricálcico (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> , % máximo	Ver Anexo A	--	8	15	7 <sup>B</sup>	5 <sup>C</sup>
Suma de C <sub>3</sub> S + 4,75C <sub>3</sub> A <sup>G</sup> , % máximo	Ver Anexo A	--	100 <sup>H</sup>	--	--	--
Ferroaluminato tetracálcico más dos veces aluminato tricálcico (C <sub>4</sub> AF+2(C <sub>3</sub> A)), o solución sólida (C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F), cuando sea aplicable, % máximo	Ver Anexo A	--	--	--	--	25 <sup>C</sup>

<sup>A</sup> Ver nota 2.  
<sup>B</sup> No se aplica cuando se especifica el límite de calor de hidratación en la tabla 4.  
<sup>C</sup> No se aplica cuando se especifica el límite de resistencia a sulfatos en la tabla 4.  
<sup>D</sup> Existen casos donde el SO<sub>3</sub> óptimo (Usando la NTE INEN 1 505) para un cemento particular es cercano o excede el límite en esta norma. En tales casos donde las propiedades de un cemento pueden ser mejoradas excediendo los límites de SO<sub>3</sub> establecidos en esta tabla, se permite exceder los valores de la tabla con la condición de que se demuestre con la NTE INEN 2 529 que el cemento con el SO<sub>3</sub> incrementado no desarrollará una expansión en el agua superior al 0,020% a los 14 días. Cuando el fabricante provea cemento bajo esta provisión, debe, según pedido, proporcionar datos de respaldo al comprador.  
<sup>E</sup> Ver el Anexo A para el cálculo.  
<sup>F</sup> No es aplicable  
<sup>G</sup> Ver nota 4.  
<sup>H</sup> Además, debe ser realizado un ensayo de calor de hidratación a los 7 días, utilizando la NTE INEN 199, por lo menos una vez cada seis meses. Tal ensayo no debe ser usado para aceptación o rechazo del cemento, pero los resultados deben ser reportados con propósitos de información.

Figura 1. 1 Requisitos de composición normalizada  
Fuente: NTE INEN 152 (2012)

## 1.4.2 Materiales

### Agregado fino o arena.

Estos elementos son considerados como elementos inertes dentro del hormigón ya que estos no forman parte del proceso químico del Clinker con el agua. Para un hormigón bueno y de calidad se necesita que el agregado fino debe ser duro, fuerte y durable, también debe ser libre de materia orgánica y otras impurezas. No debe tener un tamaño menor a ¼ pulg. Y su gradación debe ser en base a la norma ASTM C33 99a, los cuales se muestran en la siguiente figura. (Harmsen, 2002)

Tamiz estándar	% en peso del material que pasa el tamiz
3/8"	100
#4	95 a 100%
#8	80 a 100%
#16	50 a 85%
#30	25 a 60%
#50	5 a 30 (AASHTO 10 a 30)
#100	0 a 10 (AASHTO 2 a 10)

Figura 1. 2 Gradación del agregado fino

Fuente: Harmsen, T (2005)

### Agua

El agua para este procesos del hormigón tiene tres funciones principales:

- I. Hidratar el clinker.
- II. Lubricar para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.
- III. Generar vacíos necesarios para que los compuestos puedan generarse y se puedan desarrollarse.

Por esto es que el agua que se adicione a la mezcla es normalmente para mejorar la trabajabilidad que se espera tener aunque también es importante para el proceso de hidratación. (Harmsen, 2002)

## Arena de sílice

*Arena 20-30.* Arena normalizada, gradada para que pase por el por el tamiz de 850  $\mu\text{m}$  (No. 20) y sea retenida en el tamiz de 600  $\mu\text{m}$  (No. 30). (NTE INEN 873, 2017)

*Arena gradada.* Arena normalizada, gradada para pasar el tamiz de 600  $\mu\text{m}$  (No. 30) y retenerse en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$  (No. 100). (NTE INEN 873, 2017)

Arena normalizada o arena de sílice, compuesta en su mayoría de granos de cuarzo casi puro, redondeados naturalmente. (NTE INEN 873, 2017)

La arena normalizada debe cumplir los requisitos de la Figura 1.3 en lo que se refiere a la gradación. (NTE INEN 873, 2017)

Figura 1. 3. Requisitos para la arena normalizada  
Fuente: INEN 873 (2017)

<b>Características Gradación, porcentaje pasante del tamiz:</b>	<b>Arena 20 – 30</b>	<b>Arena Gradada</b>
1,18 mm (No. 16)	100	100
850 $\mu\text{m}$ (No. 20)	85 a 100	
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	0 a 5	96 a 100
425 $\mu\text{m}$ (No. 40)		65 a 75
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)		20 a 30
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)		0 a 4
Diferencia en el contenido de aire en morteros elaborados con arena lavada y sin lavar, % máx. de aire <sup>a</sup>	2,0	1,5 <sup>b</sup>
Fuente de arena	Ottawa, IL o LeSuer, MN	Ottawa, IL

<sup>a</sup> Esta determinación es necesaria cuando se sospecha la contaminación de la arena, como se indica en 6.3.  
<sup>b</sup> La resistencia a la compresión en morteros según NTE INEN 488 (arena normalizada gradada), fabricados cuando se usa el cemento especificado en NTE INEN 152, NTE INEN 490 y NTE INEN 2380, puede reducirse aproximadamente un 4 % por cada porcentaje de aire en el cubo compactado. Sin embargo, pueden ser necesarias hasta tres amasadas con arena lavada y tres amasadas de arena sin lavar, para detectar una diferencia del 7 % en la resistencia entre morteros elaborados con arena lavada y otros sin lavar.

### 1.4.3 Cemento tipo V

Para el análisis de este proceso se debe entender que el cemento TIPO V es un cemento que está compuesto por alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ), belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), celita ( $\text{C}_3\text{A}$ ), ferrita ( $\text{C}_4\text{AF}$ ), como principales componentes del Clinker en donde se le adicionan componentes como yeso, entre otros. En este cemento específicamente se busca

que su composición tenga la menor cantidad de celita ( $C_3A$  - aluminato tricálcico), ya que es uno de los compuestos más vulnerables a la acción de sulfatos, y al entrar en contacto con agua forma un producto expansivo llamada etringita, lo cual se lo explicará más a detalle en el avance de este componente.

Este cemento tiene una composición diferente al resto de los tipos de cementos, lo cual se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 1. 1  
Composición química de los tipos de cemento

TIPO	DESIGNACIÓN ASTM	COMPOSICIÓN			
		$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
		Alita	Belita	Celita	Ferrita
I	Uso general	50	24	11	8
II	Moderada resistencia a sulfatos	42	33	5	13
III	Alta resistencia inicial	60	13	9	8
IV	Bajo calor de hidratación	26	50	5	12
V	Alta resistencia a sulfatos	40	40	4	9

Fuente: (Ramachandran, Paroli, Beaudoin, & Delgado, 2002)x

#### 1.4.4 Proceso de hidratación del cemento

La hidratación del cemento es un proceso fisicoquímico bastante complejo. La hidratación se da desde que el clinker entra en contacto con el agua, cambiando su comportamiento como fluido a un comportamiento como sólido. (Piqué & Vázquez, 2012)

El proceso de hidratación se puede dividir en cinco etapas.

La primera etapa es la disolución, en la que el cemento se mezcla con el agua, esta etapa dura aproximadamente una hora. Durante esta etapa se forma portlandita o tobermorita ( $Ca(OH)_2$ ), etringita y comienza la hidratación de la celita ( $C_3A$  - aluminato tricálcico) y la alita. Este primero proceso de hidratación se da dentro de los primeros 15-20 minutos (Piqué & Vázquez, 2012)

En este primero proceso de hidratación entra mucho en juego la hidratación de la celita ( $C_3A$ ), y este proceso se lo controla con el yeso que existe en la mezcla. La mezcla entre estos compuestos produce etringita y una vez consumido todo el yeso el exceso de  $C_3A$  reacciona con la etringita para formar sulfoaluminato hidratado.

La segunda etapa ocurre después de una hora hasta aproximadamente las tres horas y media, los productos de hidratación aumentan en tamaño hasta estar en contacto unos con otros, se forma aluminato de calcio hidratado, mas etringita y portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). (Piqué & Vázquez, 2012)

Dentro de la segunda etapa se da la hidratación de la belita, compuesto que es fundamental en este estudio, en donde experimentalmente se ha demostrado que este compuesto reacciona en una 30% hasta los 28 días de edad, y el 70% restante reacciona dentro del año. Por lo que comparado con el proceso de hidratación de la alita este es mucho más lento. (Ramachandran, Paroli, Beaudoin, & Delgado, 2002)

La tercera etapa en esta etapa la mezcla empieza a fraguar. Y esto se da entre tres y siete horas. Dentro de esta etapa la pasta pierde movilidad y ya no tiene un comportamiento plástico y se empieza a comportar como sólido. Durante este periodo domina la hidratación de la alita ( $\text{C}_3\text{S}$  - silicato tricálcico) observándose una importante producción de silicato de calcio hidratado (CSH) y portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). (Piqué & Vázquez, 2012)

La cuarta etapa es el endurecimiento de esta. Se termina de consumir el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) presente en el cemento y la etringita se transforma en mono sulfatos, con una mayor densidad. Mientras tanto la alita continúa hidratándose, aumentando el contenido de silicato de calcio hidratado en la pasta endurecida. (Piqué & Vázquez, 2012)

Por último, después de endurecida la pasta, comienza el proceso difusivo, por lo que el proceso desacelera. La hidratación continua, pero de forma más lenta. (Piqué & Vázquez, 2012)

Aunque el estudio de la hidratación del cemento puro es muy útil para seguir el proceso de hidratación del cemento Portland, no se puede aplicar directamente a todos los cementos, debido a sus interacciones complejas. (Ramachandran, Paroli, Beaudoin, & Delgado, 2002)

Existe evidencia que el C-S-H formado por diferentes alitas no tiene la misma composición, ya que el proceso de hidratación de la celita, ferrita y belita presente en el cemento, se ve afectado por la cantidad de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{OH}^-$  en la solución

hidratante. La reactividad de la ferrita puede ser influenciada por la cantidad de iones de  $\text{SO}_4^{2-}$  consumido por la celita. Algo de los iones de  $\text{SO}_4^{2-}$  pueden agotarse al ser consumidos dentro de la fase C-S-H, en donde también se sabe que el yeso afecta a la tasa de hidratación de silicatos de calcio. Cantidades significativas de aluminio (Al) y hierro (Fe) se incorporan a la estructura de C-S-H. (Ramachandran, Paroli, Beaudoin, & Delgado, 2002)

Generalmente se cree que la velocidad de hidratación en los primeros días de los compuestos del cemento se da en el orden de celita ( $\text{C}_3\text{A}$ ) > alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ) > ferrita ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) > belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ). Y la velocidad de hidratación de cada compuesto depende del tamaño del cristal, imperfecciones, tamaño de la partícula, la distribución de los tamaños de las partículas, velocidad de enfriamiento, el área de la superficie, presencia de aditivos, la temperatura, etc. (Ramachandran, Paroli, Beaudoin, & Delgado, 2002)

#### **1.4.5 Difracción de rayos X**

La difracción de rayos X (DRX) es un ensayo que en el último siglo ha tomado mucha importancia para el análisis de compuestos, materiales y minerales.

Este ensayo tiene numerosas utilidades y ha ayudado a analizar la composición de suelos y también identificar minerales, aleaciones, etc.

Este ensayo genera difractogramas que son los que nos ayudan determinar los compuestos y cantidades que existen en una muestra, este difractograma está compuesto por picos que corresponden a las distancias de dimensiones nanométricas entre familias de planos de átomos. (Aparicio & Carbajal, 2010)

El ensayo se realiza con un difractómetro, los rayos X generados en el tubo, el cual alberga un ánodo y un cátodo. El cátodo contiene un filamento de tungsteno por donde se disparan electrones, producidos por la diferencia de potencial de 45,000 voltios, el choque de estos produce los rayos X de fondo que atraviesan por una ventana de berilia que, debido a su bajo número atómico, permite el paso de los rayos X. (Aparicio & Carbajal, 2010)

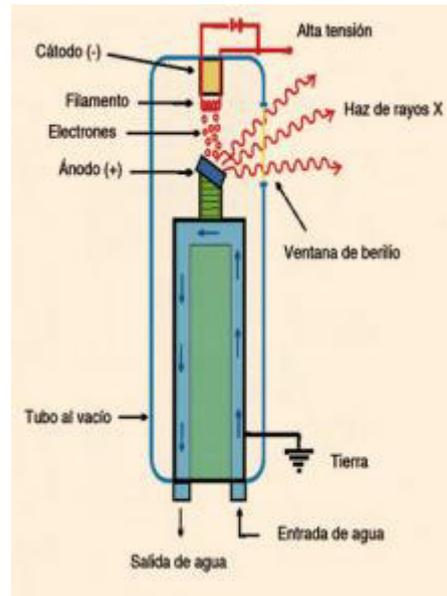


Figura 1. 4 Esquema de funcionamiento de difractor.  
Fuente: Aparicio y Carbajal (2010)

## **2 METODOLOGÍA**

El presente estudio investigativo es de carácter mixto (cuantitativo y cualitativo), debido a que se busca generar un análisis del proceso de hidratación del cemento resistente a los sulfatos, apoyándose principalmente de la difracción de Rx en donde se analizará los compuestos y sus porcentajes a diferentes edades, es por esto por lo que este trabajo investigativo se apega al método exploratorio-descriptivo, ya que se está evaluando el comportamiento de una estructura microscópica implementando ensayos y métodos químicos y físicos para evaluar el avance del proceso de hidratación de cada componente del cemento. Además, se tendrá diferentes métodos de estudio y se someterá a diferentes ensayos, de manera que el análisis depende de los datos que se obtienen de la microestructura y su comportamiento de hidratación, así como también se evaluarán y tabularán los datos obtenidos para los ensayos físicos de resistencia a compresión de las probetas de hormigón. Permitiendo la comparación entre los resultados con las normas y tablas establecidas dentro de los diferentes códigos que hacen referencia a este tema. Esta comparación se realizará en base al análisis de resultados en donde se evaluará las fases o etapas del proceso y las características propias de cada etapa, así como también se denotará el grado de hidratación de cada uno de los componentes en diferentes tiempos de fraguado.

Para el desarrollo de este trabajo se tendrá que recurrir primeramente a una extensa revisión bibliográfica y un análisis documental para generar conocimientos sólidos y poder recabar información que nos sea útil para el correcto entendimiento de los procesos a seguir. Así también se generarán ensayos prácticos de laboratorio que nos ayudarán a explorar y evaluar este caso particular, en donde se analizara la resistencia a compresión, composición química y el proceso de hidratación del cemento en sus diferentes fases con la ayuda de la difracción de Rx (DRX).

Para fines de este estudio se tomará muestras de hormigón y mortero en forma de cilindros y cubos respectivamente para someterlos a distintos ensayos de laboratorio y evaluar las propiedades del cemento que se está analizando.

## **2.1 PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE LOS MATERIALES A SER UTILIZADOS**

### **2.1.1 Densidad real del cemento**

El cemento es uno de los elementos del concreto más pesados que existe, puesto que su densidad real esta alrededor de 3.10 g/cm<sup>3</sup>; sin embargo, este valor puede verse afectado o disminuido por la mezcla del cemento con elementos extraños, o afectado por condiciones ambientales del almacenamiento. (Luna Hermosa, 2014)

#### **2.1.1.1 Equipo y material Empleado**

- Frasco de Le Chatelier
- Balanza 0.01g
- Espátula
- Embudo
- Reactivo (gasolina o Querosene)
- Muestra de cemento
- Limpiador

#### **2.1.1.2 Procedimiento mediante frasco de Le Chatelier**

La determinación de la densidad real del cemento puede realizarse mediante el siguiente procedimiento: (Luna Hermosa, 2014)

El frasco Le Chatelier es un recipiente que este graduado para mediciones volumétricas (ver Figura 2.1), el procedimiento es el siguiente:

- a) Colocar una determinada cantidad de reactivo en el frasco, de tal forma que su nivel no pase del cuello inferior (entre 0 y 1cm<sup>3</sup>)
- b) Leer el volumen (L1) inicial, obtener el peso del frasco con reactivo (P1), y anotar.

- c) Introducir la muestra de cemento en el frasco, con la ayuda del embudo y la espátula, hasta que el nivel del reactivo este en el cuello superior entre 18 y 24 cm<sup>3</sup> (se requiere alrededor de 65 g de cemento).
- d) Tapar el frasco y agitar rotacionalmente para extraer el aire atrapado en el cemento o someter al frasco a baño maría, luego dejar reposar.
- e) Determinar la lectura del volumen (L2) final y el peso del frasco con reactivo y cemento (P2).



Figura 2. 1 Frasco de Le Chatelier  
Fuente: Pinzuar

La densidad real se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_{real} = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

*D<sub>real</sub>* = densidad real del cemento.

*P2* = peso del frasco con reactivo y cemento.

*P1* = peso del frasco con reactivo.

*L2* = volumen final después de añadir el cemento.

*L1* = volumen inicial solo con reactivo.

## **2.1.2 Densidad aparente del cemento**

### **2.1.2.1 Determinación de la densidad aparente compactada**

Para obtener la densidad aparente compactada existen dos métodos que se detallaran a continuación.

#### **Procedimiento por apisonado:**

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50mm (2”).

- a) Llenar en tres capas iguales, con la última capa rebasando el molde
- b) Compactar cada capa con 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisonar la capa del fondo pero sin dañar la medida.
- d) Apisonar las capas superiores haciendo que el pison penetre un poco en la capa anterior.
- e) Eliminar el exceso de material con una varilla sin ejercer presión.
- f) Determine y registre la masa (kg/m<sup>3</sup>) de agregados compactado que llena el molde.

#### **Procedimiento por percusión.**

- a) Llenar en tres capas el molde, intentando que las capas sean iguales y en la última capa sobre pasar el molde.
- b) Emparejar cada capa de material.
- c) Levantar el molde aproximadamente 5 cm y dejarlo caer para compactar.
- d) Repetir el paso c 50 veces.
- e) Eliminar el exceso de material con una varilla para enrasar. Sin ejercer presión.
- f) Determinar y registrar la masa (kg/m<sup>3</sup>) del molde

Una vez obtenidos los datos se debe realizar los siguientes cálculos:

Calcule la densidad aparente compactada para cada molde según la fórmula siguiente.

$$\rho_{ac} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{mc}{V}$$

Donde:

*mc* : Masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m<sup>3</sup>)

*V* : Capacidad volumétrica de la medida (m<sup>3</sup>).

### **2.1.2.2 Determinación de la densidad aparente suelta**

Procedimiento por simple vaciado se aplica a los agregados finos con un tamaño nominal máximo igual o menor que 100 mm.

- a) Llenar con una paleta, lanzando el material desde una distancia de 5 cm sobre el borde superior del molde.
- b) Desplace la paleta por el borde del molde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Eliminar el exceso de agregado con una varilla de enrase, sin ejercer presión.
- d) Determinar y registrar la masa (kg/m<sup>3</sup>) de agregado suelto. Una vez obtenidos los datos se debe realizar los siguientes cálculos:

Calcule la densidad aparente suelta para cada ensaye según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_{as} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{ms}{V}$$

Donde:

*ms* : Masa del áridos suelto que llena la medida (kg/m<sup>3</sup>).

*V* : Capacidad volumétrica de la medida ( m<sup>3</sup> ).

### 2.1.3 Granulometría

Se ejecuta acorde a la norma ASTM C136/C136M (2019).

#### Para el árido fino

- a) Para la utilización de los tamices de 200 mm, para la muestra se deber tomar en estado seco y con una masa mayor a la señalada en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Cantidad de muestra para tamiz 200mm.

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75 mm	≤ 5 %	500
2,36mm	≤ 5 %	100

Fuente: (ASTM C136, 2019)

- b) Cuando se utilicen tamices de mayor tamaño los tamaños de muestras también deben aumentar a los señalados en la Tabla 2.1 siempre y cuando se cumpla lo establecido anteriormente.
- c) La muestra debe tener un máximo que lo que se retenga al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g/cm<sup>3</sup>. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

#### Para los áridos gruesos.

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, para la muestra se debe tomar valores mayores a los indicados en la tabla Tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Cantidad de muestra de ensayo para tamiz 300 mm

Absoluto Tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25,0	10
19	8
12,5	5
9,5	4

Fuente: ASTM C136

- b) Cuando se tenga una fracción de agregado fino mayor al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm.
- c) Los tamaños de muestra que se indican en la Tabla 2.2 podrán incrementarse proporcionalmente cuando se utilicen tamices de mayor tamaño.
- d) La muestra debe tener una masa máxima en donde la fracción retenida en cada tamiz se pueda distribuir de manera uniforme en una sola capa.

### **Procedimiento**

Según la norma ASTM C136 se debe seguir el siguiente procedimiento para hacer el ensayo de granulometría.

1. Secar la muestra de agregado fino una en un horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C en el horno.
2. Pesar una cantidad de agregado fino seco de acuerdo con la tabla 2.2.
3. El agregado fino se debe colocar en la malla N°4, cuidando que el fondo se encuentre ensamblado con la malla. Tapar la malla y sacudir manualmente por espacio de 3 a 5 minutos.
4. Colocar el juego de tamices de mayor a menor diámetro. Verter la muestra que paso la malla N°4 en la malla superior, verificar que este colocada la bandeja.
5. Colocar el juego de tamices en el vibrador mecánico por espacio de 10 a 15 minutos.
6. Colocar la masa retenidas en cada tamiz en recipientes y pesar las cantidades retenidas.
7. Registrar los datos en la tabla de resultados.
8. Calcular el porcentaje de error de la prueba y verificar que no sea mayor que 2%

### **Determinación de la Masa**

Determinar el peso retenido en cada tamiz y que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito.

#### **2.1.4 Colorimetría**

Para la realización de este ensayo en donde el principal objetivo es determinar el contenido aproximado de materia orgánica los agregados. Este procedimiento se lo hace en base a la NTE INEN 855.

Para la preparación del reactivo se debe contar con hidróxido de sodio (3%) como reactivo. Se lo disuelve 3 partes de masa del reactivo en 97 partes de agua. (NTE INEN 855, 2010)

Para la muestra se toma en base a la NTE INEN 695. La muestra debe tener aproximadamente 450 g y debe ser tomada en base a la norma ASTM C702.

#### **Procedimiento**

Ingresar la muestra de agregado fino a ser evaluada en la botella de vidrio hasta aproximadamente el nivel equivalente al volumen de 130 cm<sup>3</sup>. (NTE INEN 855, 2010)

Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta que el nivel sobre pase el agregado fino, después se debe agitar, este nivel es 200 cm<sup>3</sup> aproximadamente. (NTE INEN 855, 2010)

Tapar la botella, agitar bien y dejar que la solución repose 24 h.

Para comparar y determinar el color del líquido de la muestra de ensayo, se deben utilizar cinco vidrios de color normalizado, utilizando los siguientes colores: (NTE INEN 855, 2010)

Tabla 2. 3 Color normalizado en escala de Gardner

<b>Color normalizado escala de Gardner No.</b>	<b>Número de orden en el comparador</b>
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.

Fuente: NTE INEN 855 (2010)

En caso de que la muestra presente un color oscuro y sobre pase el color No.3r No. 3 del comparador (color normalizado Gardner No. 11), se podrá decir que el agregado fino del ensayo tiene demasiadas impurezas orgánicas. Y se deberá realizar mas ensayos para que el agregado puedas ser aprobado o rechazado. (NTE INEN 855, 2010)

### 2.1.5 Absorción

- **En agregados gruesos**

Para agregados grueso se debe tomar los siguientes pesos:

#### **Peso del agregado saturado superficialmente seco.**

1. Retirar la muestra del agua y secar con un trapo cada partícula de manera que las muestras queden con un color mate, sin brillo y visualmente sin agua en su superficie. Secar individualmente las partículas más grandes, y cubrir con el paño hasta pesar la muestra lo más rápido posible. (Luna Hermosa, 2014)

Determinar la cantidad de masa de agregado saturado superficialmente seco, aproximando a 1 g. Este dato se lo llamara M<sub>sss</sub>.

#### **Peso del agregado sumergido**

1. Colocar la muestra en el canasto de ensayo.

2. Sumergir el canasto en agua a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, aproximadamente 3 minutos.
3. Anotar el peso y registrarlo como  $M_{SUM}$ .

Nota: Se debe mantener el canasto sumergido durante todo el proceso y los elementos que los sostengan deben ser lo mas delgados posibles para no afectar en el peso obtenido.

### **Peso del agregado seco**

1. Tomar el mismo agregado sumergido y verterlo en una bandeja.
2. Secar la muestra hasta que no exista variación en peso en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
3. Dejar enfriar la muestra hasta que llegue a temperatura ambiente y en un recipiente cerrado donde no se absorba humedad del ambiente.
4. Pesar la muestra seca y registrar el peso como  $M_s$ .

Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente.

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SSS} - M_{SUM}}{M_s} * 100$$

Donde:

$\alpha$  : Absorción (%)

$M_{SUM}$  : Masa del áridos sumergida (g).

$M_{SSS}$  : Masa del áridos saturado superficialmente seco (g).

$M_s$  : Masa del áridos seco (g).

## **2.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

### **2.2.1 Preparación de probetas cilíndricas.**

Para la preparación de probetas cilíndricas, primeramente, se debe realizar la dosificación del hormigón a realizarse, y una vez obtenida la misma se realiza el siguiente proceso en base a la norma NTE INEN 1576.

Se debe limpiar y llenar el molde cilíndrico de altura 20 cm y diámetro 10 cm. (Luna Hermosa, 2014)

En el caso de hormigón no vibrado se llenará el molde en tres capas que serán aproximadamente iguales, en donde cada capa se debe compactar con 25 golpes de varilla compactadora, de manera uniforme en la superficie, para el curado se tiene en cuenta la norma NTE INEN 1576. (Luna Hermosa, 2014)

### **2.2.2 Preparación de probetas cúbicas**

Una vez obtenida la dosificación para realizar el mortero se realiza el proceso de fundición en base a la norma NTE INEN 155-2.

#### **Proceso para la mezcla de morteros.**

Colocar la paleta y el tazón secos en la mezcladora, en posición de mezclado, luego introducir el material para una amasada dentro del tazón y mezclar de la siguiente manera, este procedimiento se lo realiza citando la norma NTE INEN 155.

1. Colocar el agua en el tazón de mezcla.
2. Verter el cemento en el agua; luego prender la mezcladora y mezclar a velocidad baja ( $140 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ ) por medio minuto.
3. Agregar la arena progresivamente durante medio minuto, mientras se sigue mezclando a baja velocidad.
4. Parar la mezcladora, y cambiar a media velocidad ( $285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ) y mezclar por medio minuto.
5. Parar la mezcladora y dejar la mezcla descansar por un minuto y medio. Durante los primeros 15 segundos de este tiempo, limpiar el recipiente rápidamente hacia abajo para mover la mezcla que pudo haberse quedado en las paredes de tazón, y luego dejar reposar la mezcla durante el tiempo restante.
6. Terminar de mezclar por un minuto a velocidad media ( $285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ )

## **Proceso para encofrado de cubos de mortero.**

Con un molde de 5 cm de arista, se debe llenar completamente, este proceso debe realizarse en un lugar bajo sombra y con una temperatura entre 15 y 25 °C. (Luna Hermosa, 2014)

Para el caso de un hormigón vibrado se llenará el cubo con un vibrador de inmersión o con mesa vibradora. (Luna Hermosa, 2014)

Cada cubo debe ser marcado con fecha, lote y lugar. Esta identificación se la debe hacer con un papel sobre el hormigón o escribiendo en el molde directamente. El marcador utilizado y el papel deben ser resistentes al agua y la humedad. También se debe cubrir al cubo con un paño húmedo para contrarrestar la evaporación del agua de manera acelerada. Si se coloca un papel para identificar la muestra, este podría utilizarse en lugar del paño húmedo. (Luna Hermosa, 2014)

Luego de tener una edad de entre 18 y 48 horas, se debe retirar el molde y colocar el cubo en un tanque de agua con temperatura de  $20^{\circ} \pm 2$  °C. El curado se lo hará en base a la norma NTE INEN 1576. (Luna Hermosa, 2014)

## **2.3 ENSAYOS**

### **2.3.1 Ensayo de compresión simple en cilindros de hormigón.**

Antes de la prueba se determina la densidad de la probeta, tomando sus dimensiones y peso. Las dimensiones de las probetas deben medirse con un error menor a un milímetro, para determinar la superficie de la sección de ensayo. El procedimiento se guiará por la NTE INEN 1573. (NTE INEN 1573, 2010)

Una vez preparada la prensa, se debe limpiar bien todas superficies y los soportes en donde se toparán las probetas. Primero se debe centrar la probeta sobre el plato inferior, después se debe llevar el plato superior hasta que quede en contacto con la probeta, con el fin de que la probeta quede en completo contacto. Los cubos deben ensayarse preferentemente sobre las caras laterales que son perpendiculares al moldeo. Para la compresión transversal de los prismas, los planos deben tener unas dimensiones tales que las caras de contacto sean

realmente cuadradas y tengan las mismas dimensiones de la arista nominal del prisma objeto de ensayo. (Luna Hermosa, 2014)

La carga debe ser aplicada a una velocidad constante. Y se podrá tolerar una velocidad mayor solo en la primera mitad de la carga de rotura. No debe introducirse ninguna corrección a los mandos de la máquina de ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente, momento antes de la rotura. El ensayo continua hasta la rotura de la probeta y se debe anotar la carga soportada. (Luna Hermosa, 2014)

El esfuerzo  $f'c$  se calcula con la expresión.

$$f'c = \frac{\text{carga máxima (kg)}}{\text{área de la probeta (cm}^2\text{)}}$$

### 2.3.2 Ensayo de compresión en cubos de mortero

Para el análisis de los especímenes cúbicos de mortero, se realizarán en base a la norma NTE INEN 488, 2009 en donde especifica las dimensiones que deben tener los moldes, la dosificación y la manera que se debe apisonar.

Al momento de ensayar los especímenes se deber cumplir con los tiempos de ensayo ya que se tiene una tolerancia como en la siguiente tabla.

**Tabla 2. 4** Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia admisible</b>
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Fuente: (NTE INEN 488, 2009)

### 2.3.3 Ensayo de tracción indirecta (brasileiro)

Se le conoce como ensayo brasileiro, o de hendimiento, que permite determinar el valor de  $f_t$  (tracción indirecta) pudiendo correlacionarse, en laboratorio, con el módulo de rotura por flexo tracción ( $M_r$ ), resultando mucho más manejable que el ensayo con vigas; consiste en la aplicación diametral de carga sobre una probeta cilíndrica. (Luna Hermosa, 2014)

La carga puede aplicarse rápidamente hasta la mitad de la carga prevista para la rotura, después se aplicará la carga con una velocidad tal que el aumento de tensión sea igual a  $0.5 \pm 0.2$  MPa/s. La resistencia a tracción indirecta debe calcularse mediante la expresión: (Luna Hermosa, 2014)

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

En la que:

$f_t$  = *esfuerzo de tracción, en MPa.*

$P$  = *carga aplicada, en N.*

$L$  = *longitud del cilindro, en mm.*

$d$  = *diámetro del cilindro en mm.*

Normalmente este ensayo descrito por la norma ASTM C 496, se efectuará sobre probetas cilíndricas 10 X 20 cm.

Al aplicar la carga según dos generatrices diametralmente opuestas, la rotura se produce por hendimiento del hormigón, obteniéndose un valor para  $f_t$  ligeramente mayor al que corresponde a tracción pura ( $M_r$ ) en vigas, siendo este último del orden del 15% menor que el primero. (Luna Hermosa, 2014)

Por tanto, la resistencia a tracción pura del hormigón se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$M_r = 0.85 * \frac{2P}{\pi * L * d} = 0.541 \frac{P}{L * d}$$

$M_r$  = *resistencia a tracción pura*

$P$  = *carga aplicada, en N.*

$L$  = *longitud del cilindro, en mm.*

$d$  = *diámetro del cilindro en mm.*

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 RESULTADOS

Dentro de este capítulo se colocará los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados, también se concluirá sobre estos resultados y se hará ciertas recomendaciones.

##### 3.1.1 Densidades aparentes y reales del cemento.

A continuación, se muestran los resultados de las densidades aparentes y reales del cemento. Ver Anexo 1.

**Tabla 3. 1** Resultados de ensayo densidad aparente del cemento

Densidad Aparente del cemento												
Muestra	Molde N	Peso de molde	Diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra suelta		Densidad Suelta		Peso del molde + muestra compactada		Densidad Compactada	
		g	mm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>		g		g/cm <sup>3</sup>	
1	6	152.4	54.84	14.79	497.9	488.4	0.99	0.96	594.9	600.6	1.27	1.28
2	6	152.4	54.84	14.79	482.2	479.6	0.94	0.94	622.6	608	1.35	1.30

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 2** Resultados de ensayo de densidad real del cemento

Densidad Real del Cemento							
Muestra	Volúmen Inicial	Peso Inicial	Temperatura Inicial	Volúmen Final	Peso Final	Temperatura Final	Densidad Real
	cm <sup>3</sup>	g	C	cm <sup>3</sup>	g	C	g/cm <sup>3</sup>
4	0.2	320.7	24	19.1	380.7	24	3.17
5	0.2	320.9	23	18.5	378.8	23	3.16

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

##### 3.1.2 Densidades aparentes agregado fino y agregado grueso.

**Tabla 3. 3** Resultados de densidad aparente del agregado fino

Densidad Aparente del agregado fino												
Muestra	Molde N	Peso de molde	Diámetro del molde	Altura del molde	Peso del molde + muestra suelta		Densidad Suelta		Peso del molde + muestra compactada		Densidad Compactada	
		g	cm	cm	g		g/cm <sup>3</sup>		g		g/cm <sup>3</sup>	
1	1	1897.8	15.2	15.44	6372.7	6377	1.60	1.60	6881	6900.8	1.78	1.79

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 4** Resultados de densidad aparente de agregado grueso

Densidad Aparente del agregado grueso												
Muestra	Molde N	Peso de molde g	Diámetro del molde cm	Altura del molde cm	Peso del molde + muestra suelta g		Densidad Suelta g/cm <sup>3</sup>		Peso del molde + muestra compactada g		Densidad Compactada g/cm <sup>3</sup>	
1	1	5021.1	20.24	29.2	17056.3	16889.1	1.28	1.26	17956.2	18013.3	1.38	1.38

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.3 Granulometría

**Tabla 3. 5** Resultados del análisis granulométrico del agregado fino

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

<b>Peso Inicial</b>	1000	gr
---------------------	------	----

Tamiz N	Abertura [mm]	Peso Retenido [gr]	Peso retenido acumulado [gr]	% Peso retenido acumulado	%Pasa
3/8"	9.525	0	0	0	100.00
4	4.75	1.3	1.3	0.13	99.87
8	2.36	259.4	260.7	26.11	73.89
16	1.18	266.9	527.6	52.85	47.15
30	0.6	161.4	689	69.02	30.98
50	0.355	104.2	793.2	79.46	20.54
100	0.15	73.1	866.3	86.78	13.22
200	0.075	47.1	913.4	91.50	8.50
Bandeja		84.9	998.3	100.00	0
<b>TOTAL</b>		<b>998.3</b>			

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 6** Módulo de finura y coeficientes.

<b>Módulo de Finura</b>	3.14	
<b>D60</b>	1.70	
<b>D30</b>	0.60	
<b>D10</b>	0.08	
<b>Coeficiente de uniformidad</b>	2.83	
<b>Coeficiente de curvatura</b>	2.82	

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

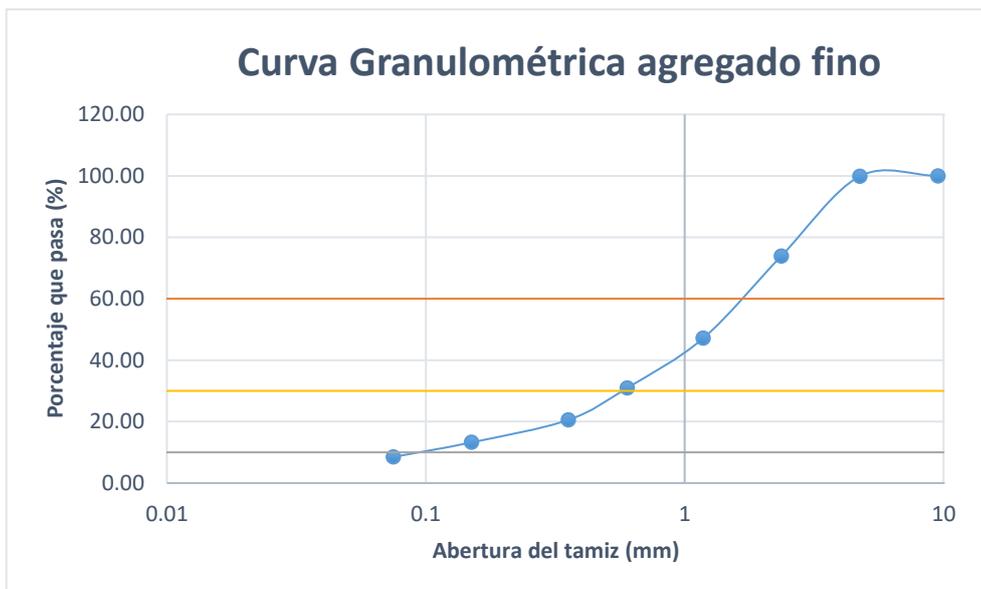


Figura 3. 1 Curva granulométrica de agregado fino  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 7** Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO**

Peso Inicial	10020.7	gr
--------------	---------	----

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	978.3	978.3	9.76	90.24
1/2"	12.7	3402.9	4381.2	43.73	56.27
3/8"	9.5	2071.5	6452.7	64.40	35.60
4	4.75	3087.2	9539.9	95.22	4.78
8	2.38	204.7	9744.6	97.26	2.74
12	1.7	60.5	9805.1	97.87	2.13
Bandeja		213.9	10019	100.00	0
<b>TOTAL</b>		<b>10019</b>			

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 8** Modulo de finura y coeficientes

<b>Módulo de Finura</b>	2.13	
<b>D60</b>	10.40	
<b>D30</b>	8.50	
<b>D10</b>	4.80	
<b>Coefficiente de uniformidad</b>		1.22
<b>Coefficiente de curvatura</b>		1.45

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

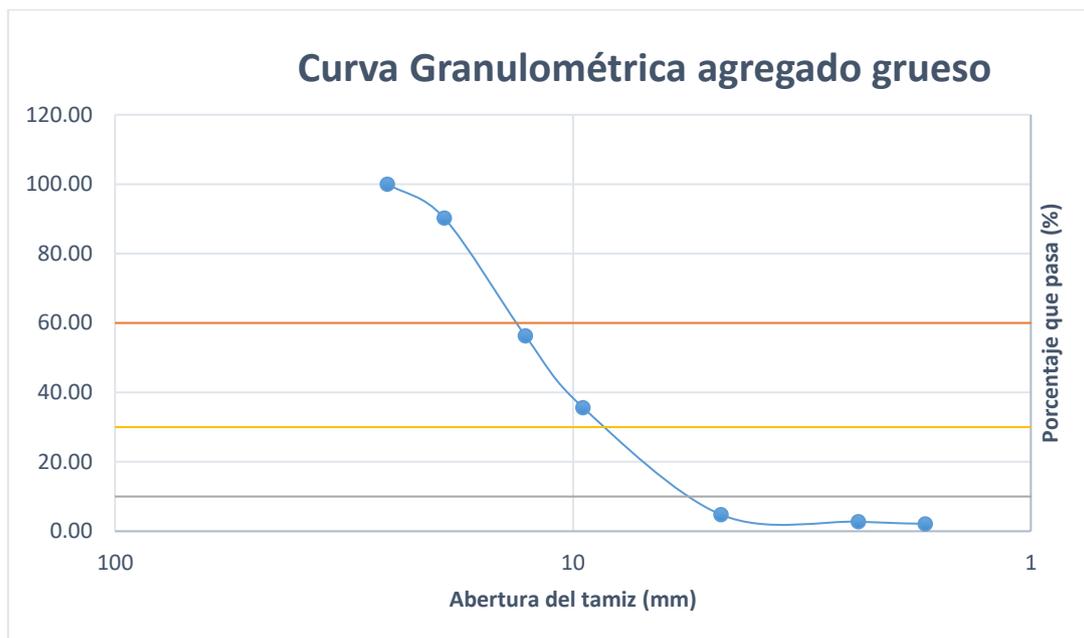


Figura 3. 2 Curva granulométrica de agregado grueso  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

### 3.1.4 Peso específico y absorción de agregado fino y grueso

Tabla 3. 9 Resultados de peso específico y absorción de 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>	<b>2.55</b>
<b>Densidad S.S.S.</b>	<b>2.62</b>
<b>Absorción de agua</b>	<b>2.70</b>
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.74</b>

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

**Tabla 3. 10** Resultados de peso específico y absorción de 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>	<b>2.37</b>
<b>Densidad S.S.S.</b>	<b>2.45</b>
<b>Absorción de agua</b>	<b>3.19</b>
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.57</b>

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.5 Abrasión.

**Tabla 3. 11** Resultados de ensayos de abrasión.

<b>Gradación</b>		B
<b>Número 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>		

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

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.6 Dosificación.

**Tabla 3. 12** Resumen de resultados para cemento HS

<b>Ensayo</b>	<b>CEMENTO HS</b>	
DENSIDAD REAL	Densidad real (gr/cm <sup>3</sup> )	3.16
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	0.96
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.30

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 13** Resumen de resultados para agregado fino

Ensayo	AGREGADO FINO (ARENA)	
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1.60
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79
GRANULOMETRIA	Módulo de Finura	3.14
	Coefficiente de uniformidad	2.83
	Coefficiente de curvatura	2.82
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso específico	2.55
	Densidad S.S.S.	2.62
	Absorción de agua	2.70
	Peso específico aparente	2.74

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 14** Resumen de resultados para agregado grueso

Ensayo	AGREGADO GRUESO (RIPIO)	
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1.28
	Densidad compactada (gr/cm <sup>3</sup> )	1.38
GRANULOMETRIA	Módulo de Finura	2.13
	Coefficiente de uniformidad	1.22
	Coefficiente de curvatura	1.45
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso específico	2.37
	Densidad S.S.S.	2.45
	Absorción de agua	3.19
	Peso específico aparente	2.57
ABRASION	Pérdida 100 rev (%)	5.07
	Pérdida 500 rev (%)	22.89
	Coefficiente de uniformidad	0.22

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 15** Datos adicionales para dosificación

Parametro	Observación		
Asentamiento	Construcción	7.6	cm
Tamaño maximo del agregado	3/4"	19.1	mm
Cantidad aproximada de agua	Sin inclusion de aire	203	litros/m <sup>3</sup> de hormigón
Porcentaje a aire atrapado	Sin inclusion de aire	2	%
Relación agua - Cemento	Por resistencia a la compresión	0.53	Para 1kg de cemento, asumiendo densidad del agua 1kg/dm <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión	Sin inclusion de aire	210	kg/cm <sup>2</sup>
Volúmen aparente del agregado	MF y T. max agregado	0.59	m <sup>3</sup>
Factor de cemento		383.02	kg/m <sup>3</sup>
Volúmen real del cemento		121.21	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Volúmen real SSS agregado grueso		331.51	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 16** Volúmenes de cada material para dosificar

<b>Total</b>	1000	dm3
<b>V. Cemento</b>	121.21	dm3
<b>V. Agua</b>	203	dm3
<b>V. Aire atrapado (2%)</b>	20	dm3
<b>V. Ripio</b>	331.51	dm3
<b>Suma</b>	675.72	dm3
<b>V. Arena</b>	324.28	dm3

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

**Tabla 3. 17** Dosificación final para hormigón con cemento HS

Componente	Cantidad en volumen real	Densidad Real (kg/dm3)	Cantidad en peso (kg)	Cantidad relativa en peso
Agua	203	1	203.00	0.66
Cemento	121.21	3.16	383.02	1
Arena	324.28	2.62	850.27	2.22
Ripio	331.51	2.45	812.32	2.12
Corrección por humedad			251.81	

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.7 Compresión de cubos de mortero de cemento

**Tabla 3. 18** Resultados de la compresión de cubos de cemento.

COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO							
DESCRIPCION	FECHA DE ROTURA	A	B	C	PESO	CARGA	RESISTENCIA
		[cm]	[cm]	[cm]	[g]	[Kn]	[MPa]
7 DIAS	HC-HS	5.08	5.15	5.16	290.8	56.65	21.7
	HC-HS	5.01	4.56	4.99	269.9	56.51	22.7
	HC-HS	5.01	5.01	5.05	270.9	47.63	19
	HC-HS	5.01	4.98	4.99	269.9	54.68	21.9
	HC-HS	5.15	5.17	5.05	292.1	43.52	16.3
	HC-HS	5.11	5.14	5.13	290.6	54.43	20.7
28 DIAS	HC-HS	5.105	5.1	5.1	292.2	72.2	27.7
	HC-HS	5.18	5.12	5.07	290.9	73.32	27.6
	HC-HS	5	5	5.01	271.1	61.58	24.6
	HC-HS	4.95	5.01	4.99	271.1	64.16	25.9
	HC-HS	5.03	5.06	5.16	291.1	75.09	29.5
	HC-HS	4.99	5	4.98	274.7	73.2	29.3
56 DIAS	HC-HS	5	4.99	5.01	274.2	61.99	24.8
	HC-HS	5.01	4.97	4.99	273.3	47.38	19
	HC-HS	5.08	5.14	5.18	294.2	64.26	24.6
	HC-HS	5.01	5.01	4.99	274.5	70.29	28
	HC-HS	5.06	5.16	5.11	293.8	64.12	24.6
	HC-HS	5.12	5.08	5.11	289.3	62.35	24

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.8 Compresión de cilindros de hormigón

Tabla 3. 19 Resultados de compresión de cilindros

	DESCRIPCION	FECHA		DIAMETRO			ALTURA			PESO	CARGA	TIPO	Resistencia	
		FABRICACION	ROTURA	D1	D2	H1	H2	H3						
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]						
7 DIAS	HC-HS	07/06/2022	14/06/2022	101	101.2	200	201.1	200.5	3669.9	130	1	16.2		
	HC-HS			101.25	101.1	201.1	201.5	201.3	3715.2	132.3	2	16.4		
	HC-HS			101.25	101.25	201.3	201.3	200.3	3702.5	153.4	1	19		
28 DIAS	HC-HS		05/07/2022	05/07/2022	102.2	101	197	198.2	198.3	3667.8	202.15	1	24.7	
	HC-HS				102.3	102.3	202.3	200.5	202.2	3719.4	204.85	2	24.7	
	HC-HS				101.6	102.4	201.5	201	201	3736.3	160.9	2	19.5	
56 DIAS	HC-HS			02/08/2022	02/08/2022	100.1	104	201.2	201.1	202.2	3744.4	215.9	2	26.2
	HC-HS					101.1	101.4	200.8	201.8	201.8	3671	220.9	2	27.2
	HC-HS					101.2	101	201.2	201	201	3646.2	201.3	2	24.9

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

Tabla 3. 20 Resultados de tracción indirecta de cilindros

	DESCRIPCION	FECHA		DIAMETRO			ALTURA		PESO	CARGA	RESISTENCIA
		FABRICACION	ROTURA	D1	D2	D3	H1	H2			
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
7 DIAS	HC-HS	07/06/2022	14/06/2022	101			202			50.1	1.55
28 DIAS	HC-HS		05/07/2022	104.3	101.2	102.3	200	200.9	3700.7	102.75	3.2
	HC-HS		05/07/2022	101.5	101.1	101	201.4	201.5	3644.9	88.01	2.75
56 DIAS	HC-HS		02/08/2022	102	102.4	102.5	203.1	200.8	3730.7	102.3	3.15
	HC-HS		02/08/2022	103.2	102.4	102.7	199.4	200.5	3725.9	97	3

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

### 3.1.9 Curvas de endurecimiento para cada ensayo

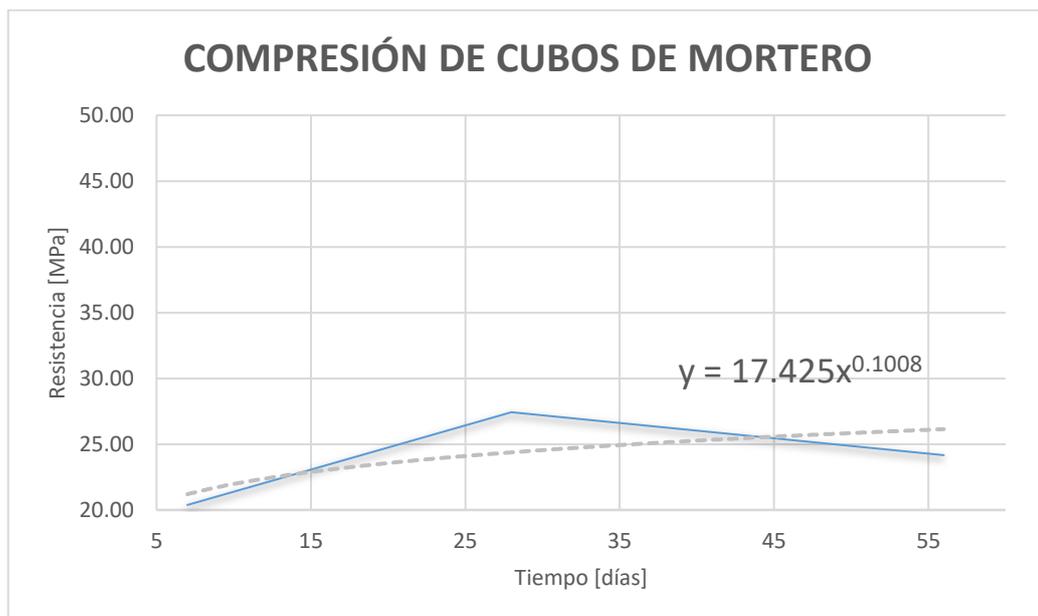


Figura 3. 3 Curva de endurecimiento para ensayo de compresión de cubos de mortero  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

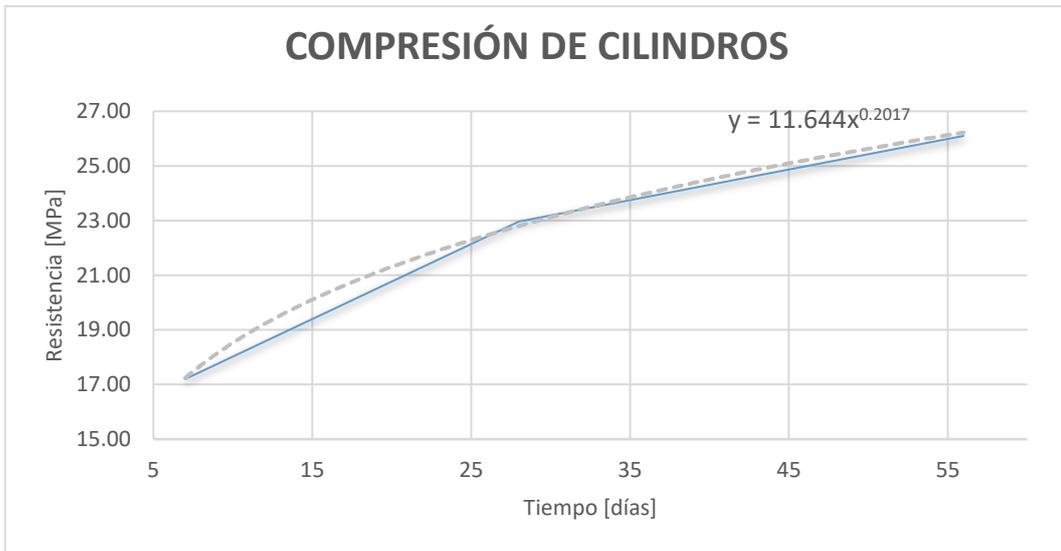


Figura 3. 4 Curva de endurecimiento para ensayo de compresión de cilindros de hormigón.  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

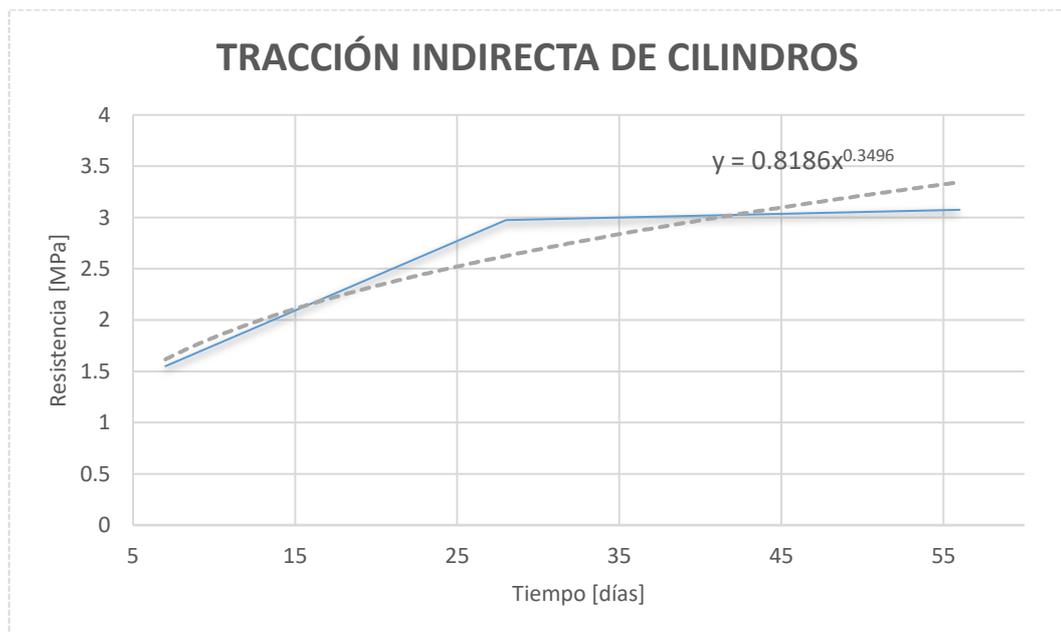


Figura 3. 5 Curva de endurecimiento para ensayo de tracción indirecta de cilindros de hormigón.  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

### 3.1.10 Difracción de rayos X

Dentro de esta sección de resultados se presentarán los difractogramas obtenidos en el cemento HS a las edades de 7, 28 y 56 días de edad.

Para la obtención de estos resultados se utilizó el siguiente equipo:

*Difractómetro:* Bruker D2 Phaser con detector LYNXEYE XE-T (1D-mode).

Fuente de rayos X: tubo de Cu (1.54184 Å) radiación Ka, 30kV, 10mA.

Rendija de divergencia (divergence slit): 1.00 mm

Pantalla de dispersión de aire (airscatter screen): 1.00 mm

Portamuestras estándar: Bruker (C79298A3244D82/D84), material PMMA, 8.5 mm altura, recepción de la muestra © 25 mm

Y con parámetros de medición:

$2\Theta = 5^\circ - 40^\circ$ , incremento  $0.02^\circ$

Tiempo por paso: 0.25 s/paso

Apertura del detector (PSD Opening):  $2.5^\circ$

Sin rotación de la muestra durante la adquisición del difractograma.

A continuación, se presentarán los difractogramas obtenidos para las diferentes edades.

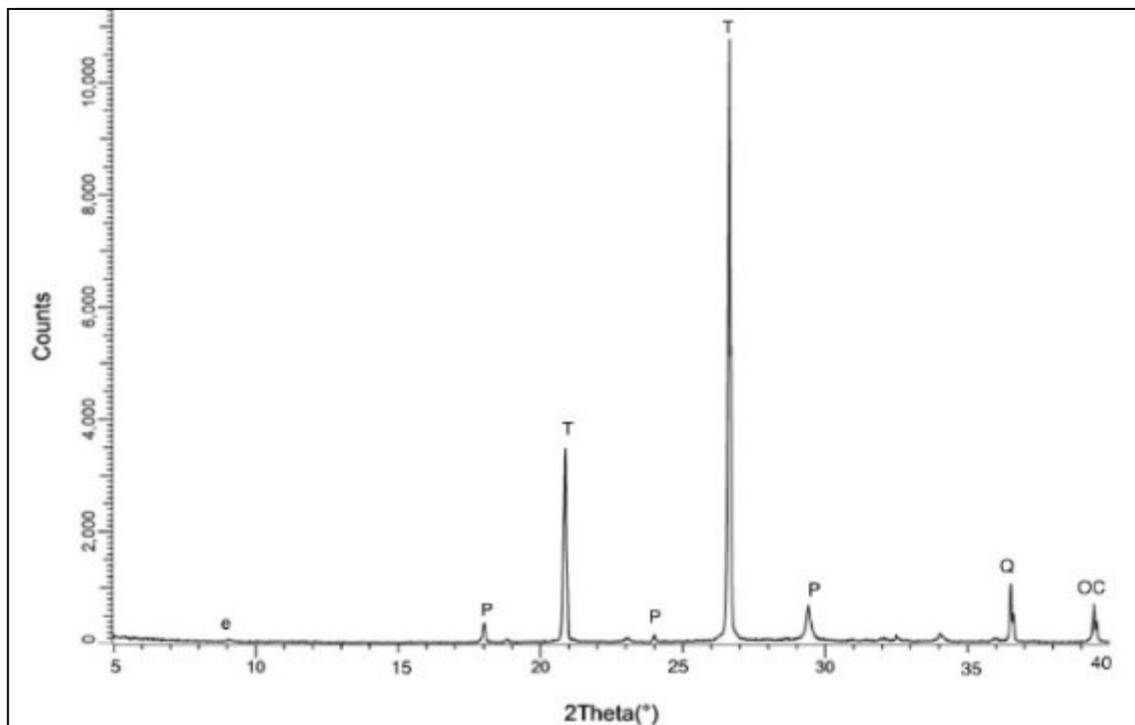


Figura 3. 6 Mineralogía presente a 7 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: óxido de calcio)

Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

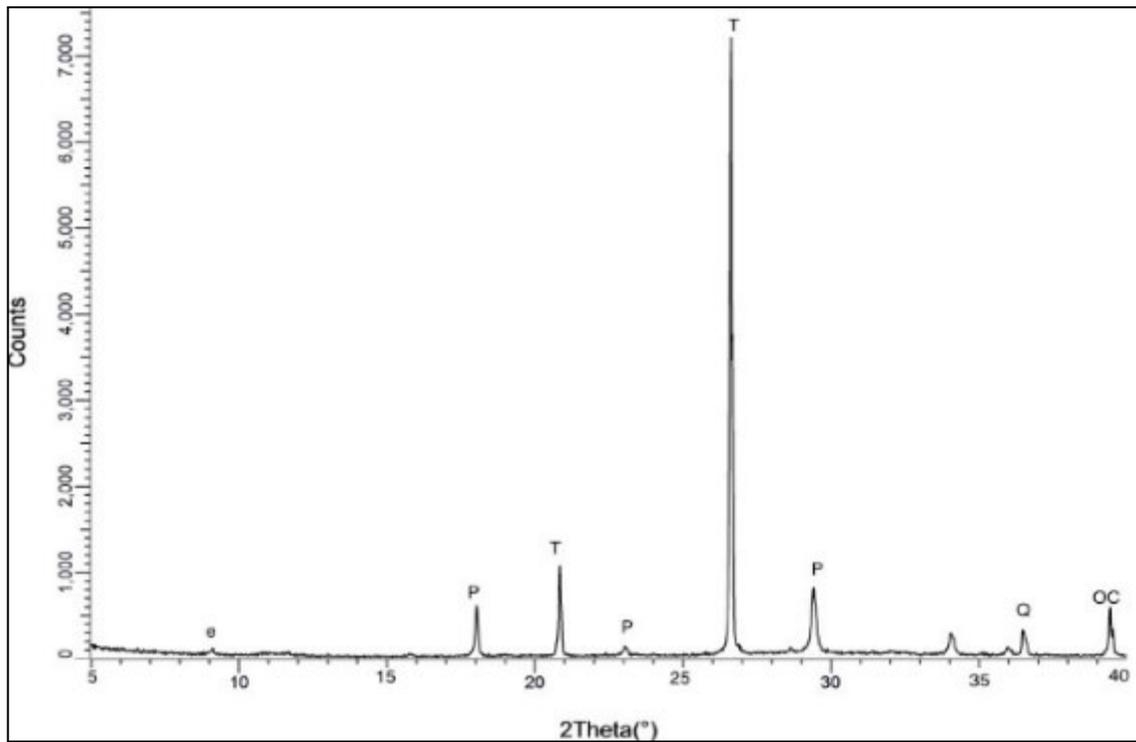


Figura 3. 7 Mineralogía presente a 28 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: oxido de calcio)  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

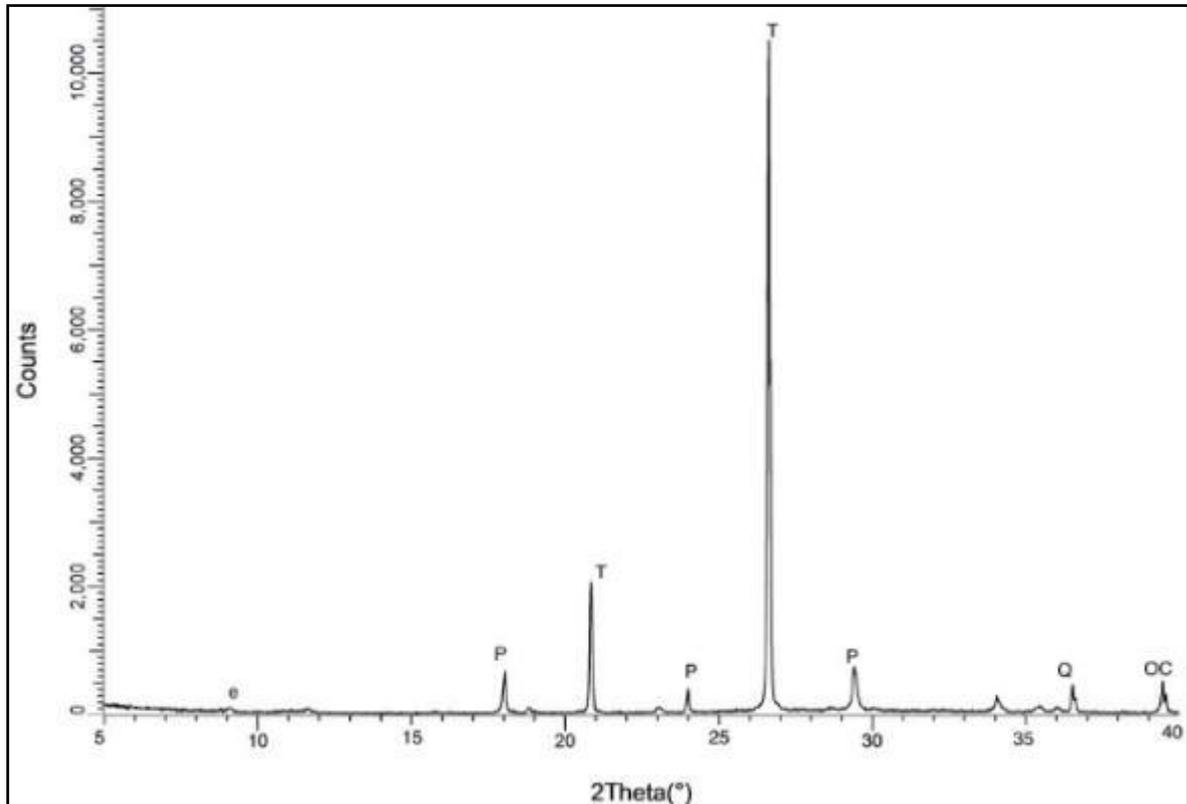


Figura 3. 8 Mineralogía presente a 56 días de hidratación (e: etringita, P: portlandita, T: tobermorita, Q: cuarzo, OC: oxido de calcio)  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

A continuación, se representa una comparación entre los difractogramas a las diferentes edades para realizar un análisis. Esta figura completa se la puede observar en el Anexo 12.

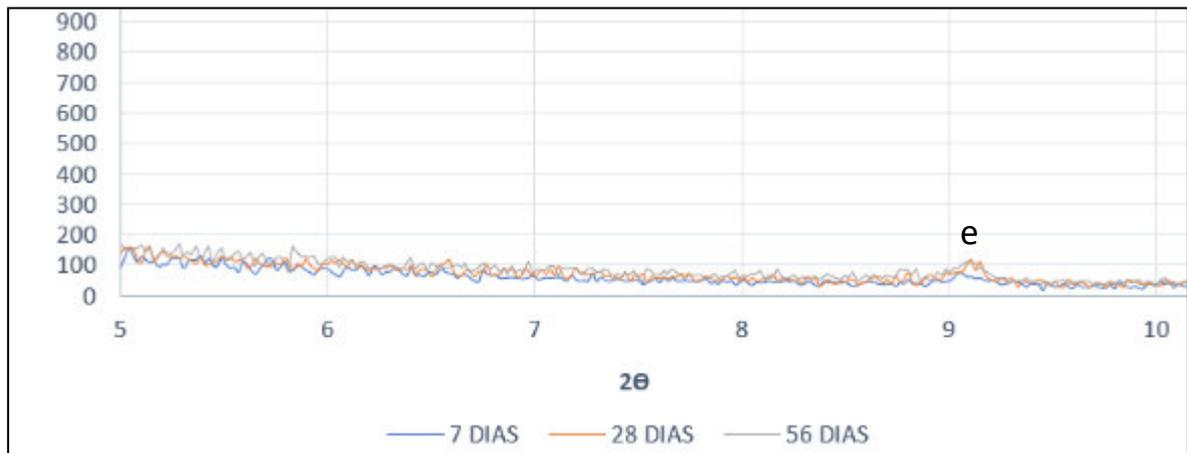


Figura 3. 9 Difractograma a diferentes edades, entre 5 - 10 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

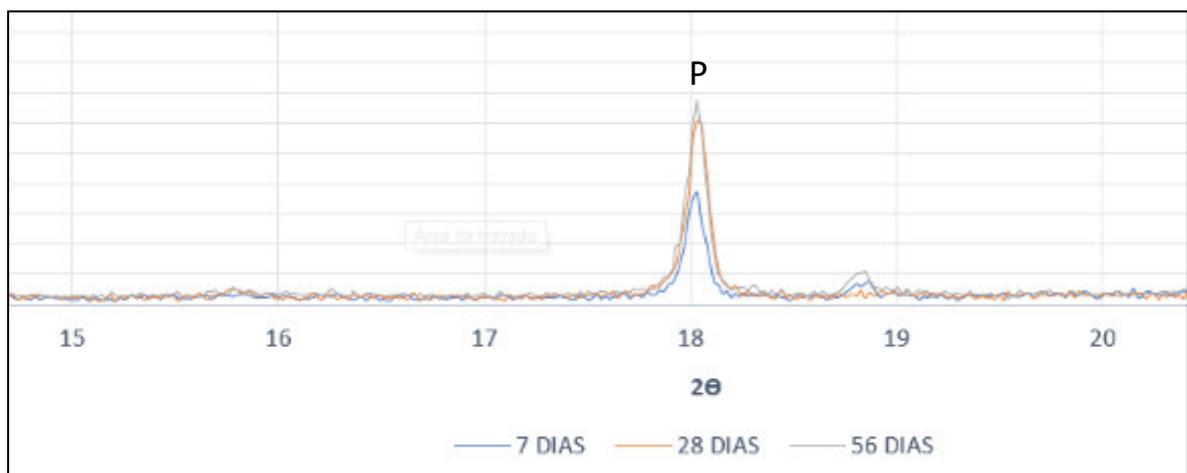


Figura 3. 10 Difractograma a diferentes edades, entre 15 - 20 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

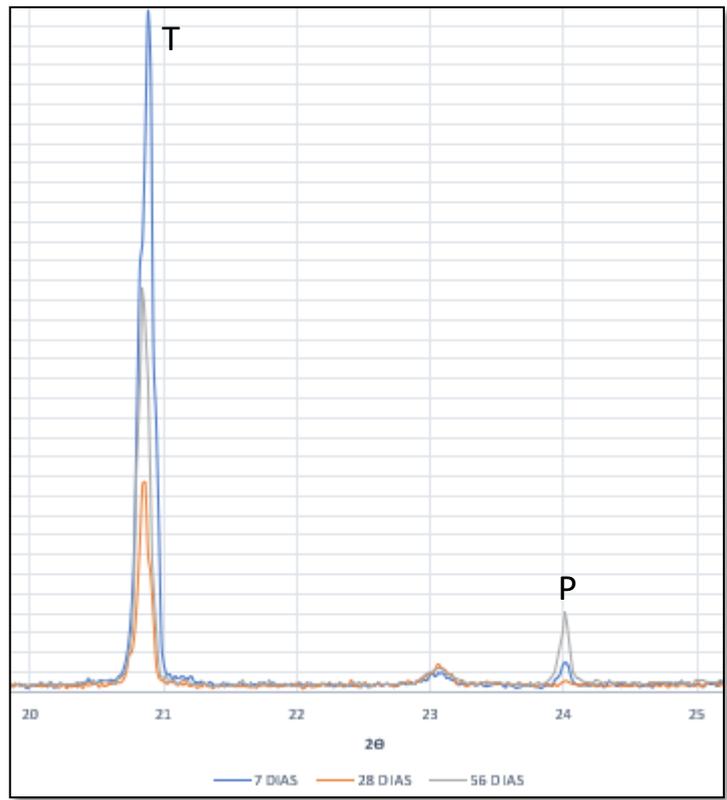


Figura 3. 11 Difractograma a diferentes edades, entre 20 - 25 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

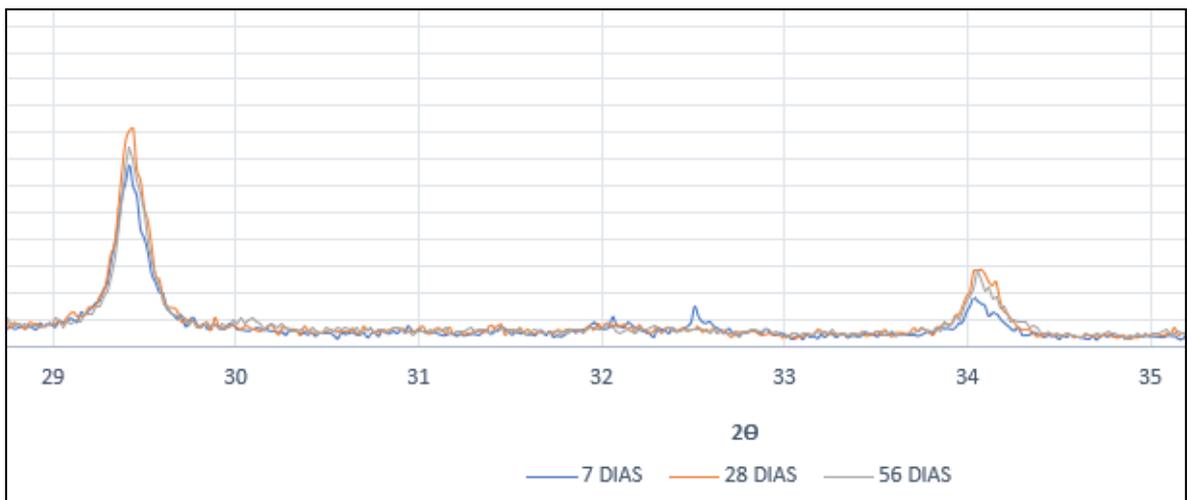


Figura 3. 12 Difractograma a diferentes edades, entre 30 - 35 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

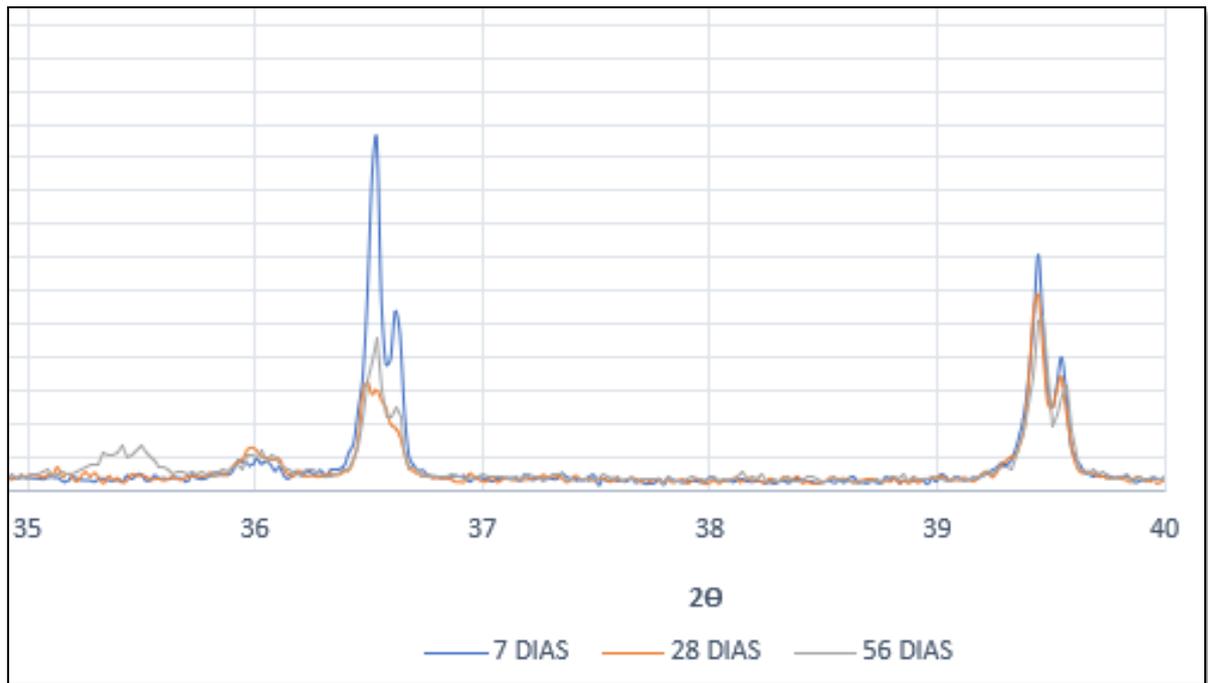


Figura 3. 13 Diffractograma a diferentes edades, entre 35 - 40 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

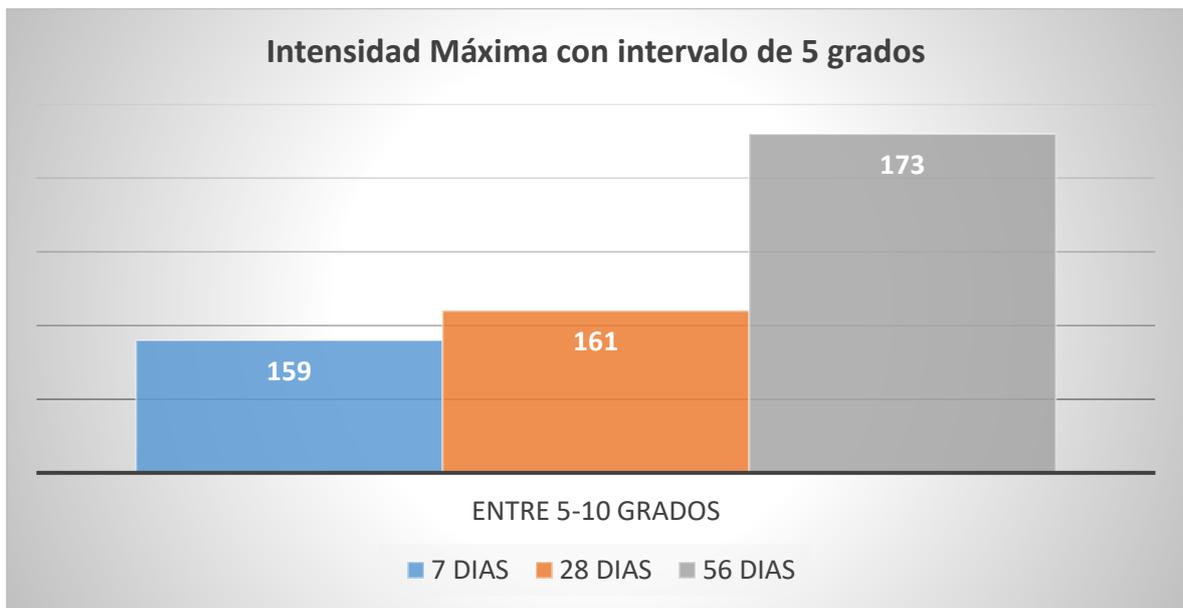


Figura 3. 14 Cuadro comparativo de picos máximos entre 5 – 10 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

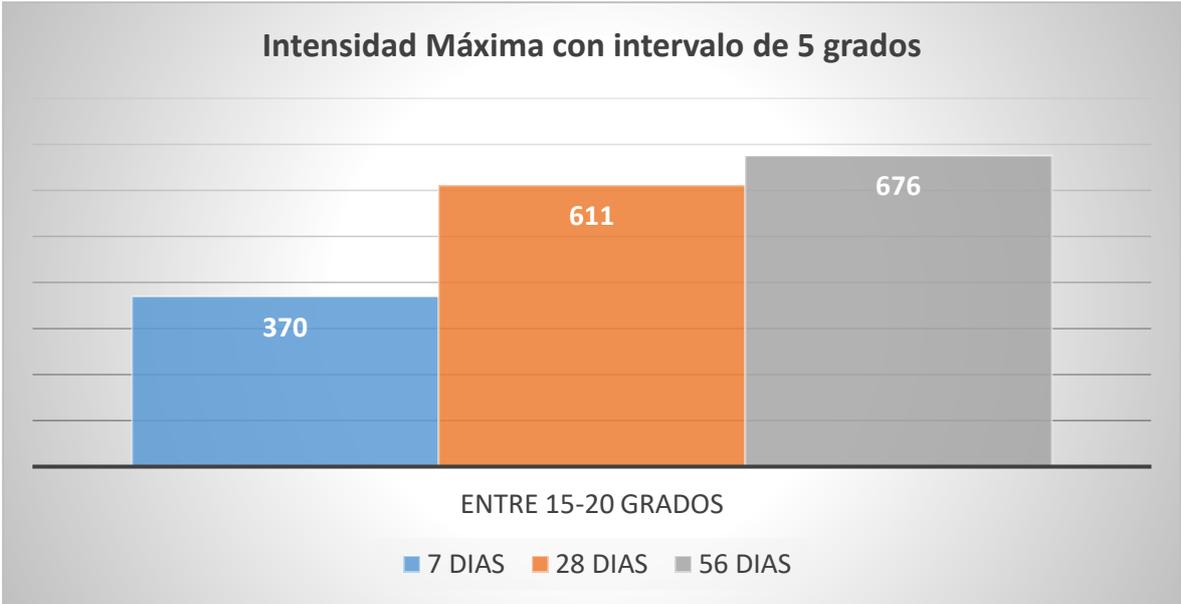


Figura 3. 15 Cuadro comparativo de picos máximos entre 15-20 grados  
 Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

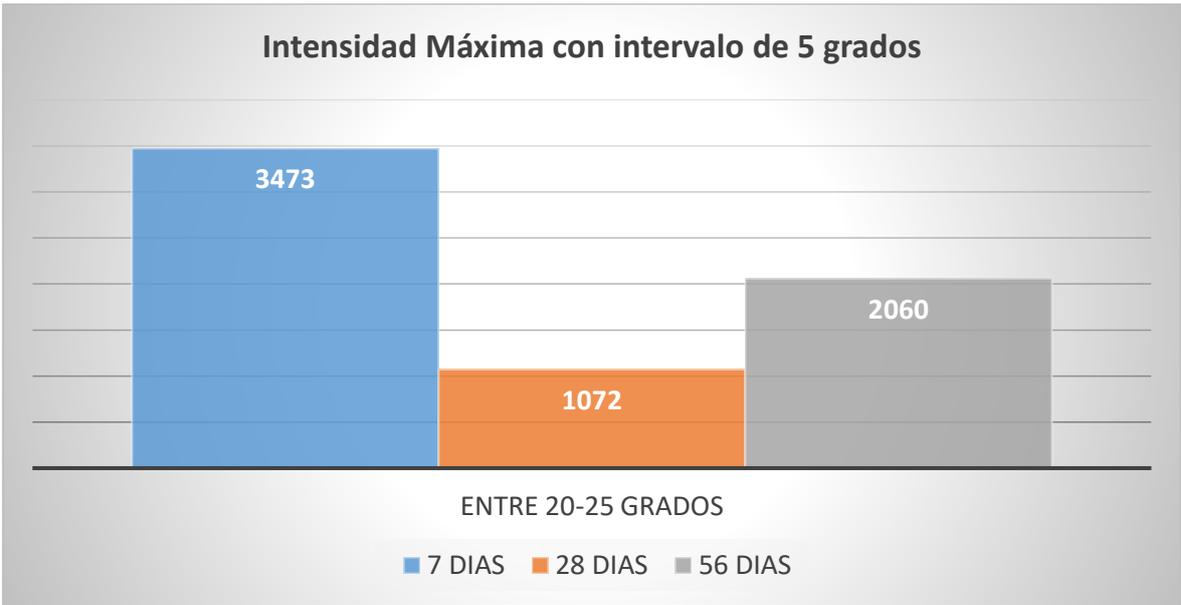


Figura 3. 16 Cuadro comparativo de picos máximos entre 20-25 grados  
 Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

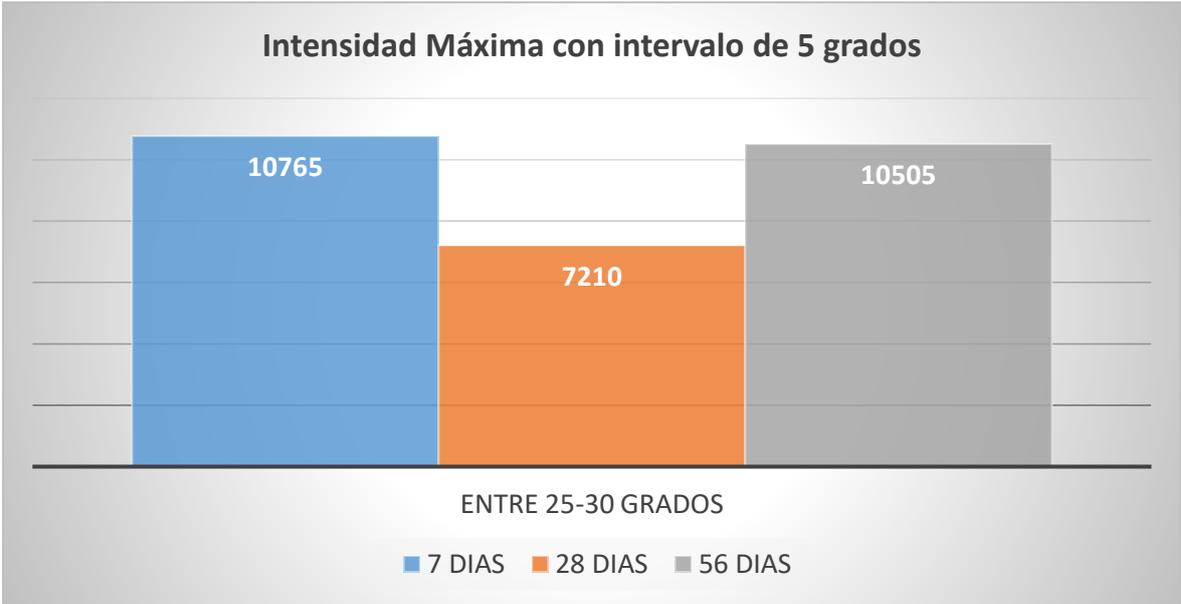


Figura 3. 17 Cuadro comparativo de picos máximos entre 25-30 grados  
 Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

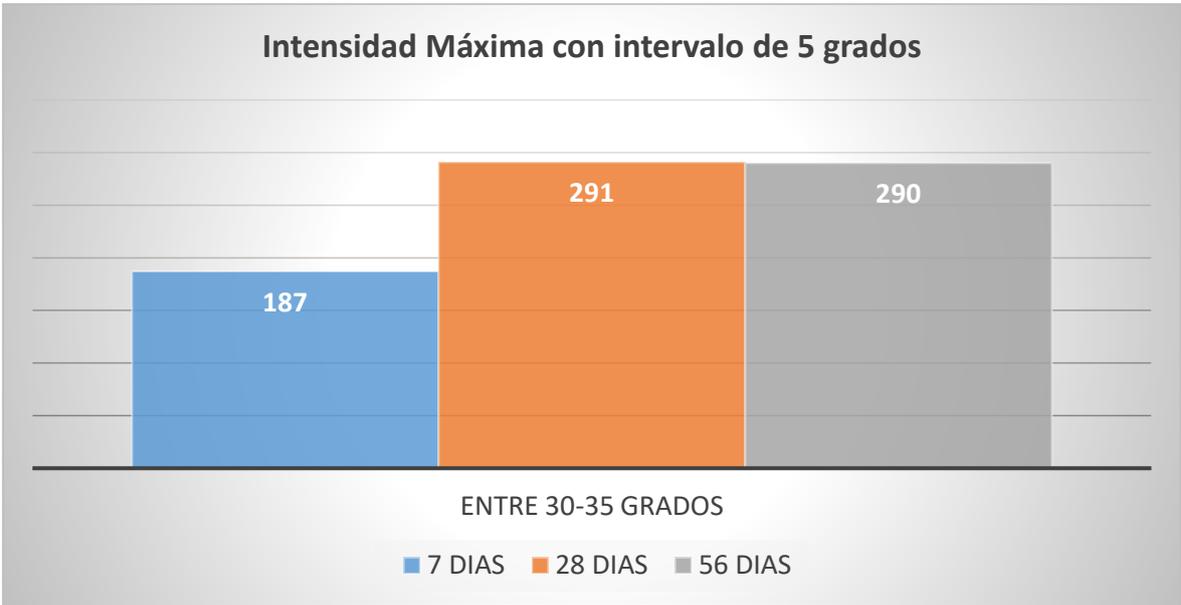


Figura 3. 18 Cuadro comparativo de picos máximos entre 30-35 grados  
 Fuente: Elaborado por Kleber Echeverria

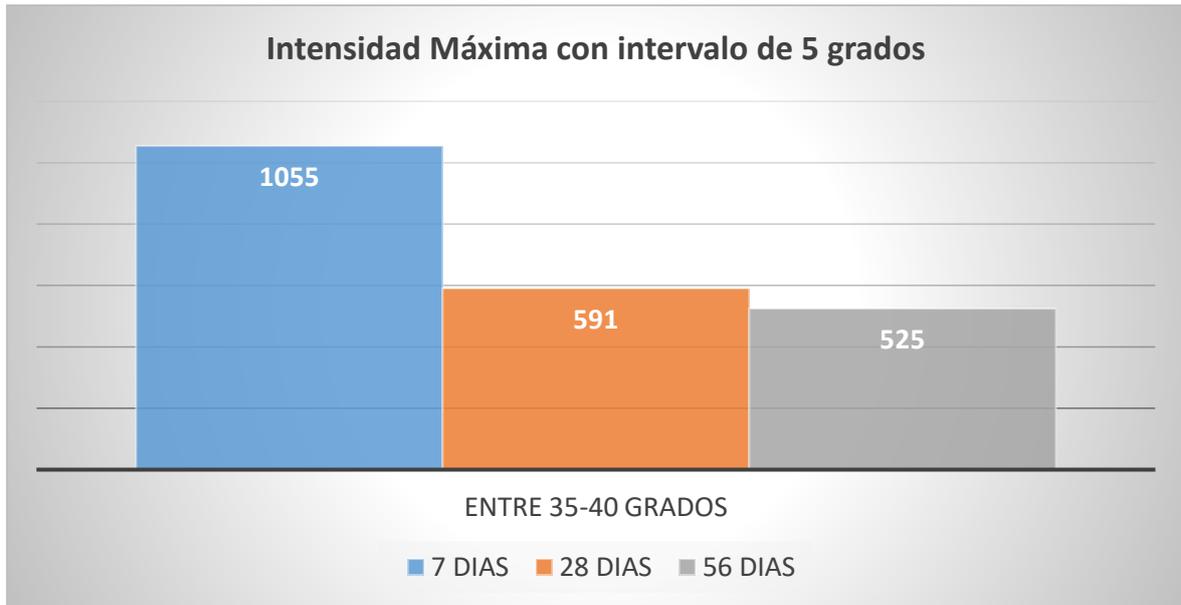


Figura 3. 19 Cuadro comparativo de picos máximos entre 35-40 grados  
Fuente: Elaborado por Kleber Echeverría

Para poder apreciar de mejor manera la cantidad de compuesto que existe en cada intervalo se recomienda ver el Anexo 13.

### 3.2 Conclusiones

- Una vez ensayadas las muestras realizadas en mortero y en hormigón se puede ver según la Figura 3.3, 3.4 y 3.5 que el proceso de endurecimiento del hormigón es creciente en el caso de los cilindros mientras que en los cubos de mortero existe una pequeña diferencia y gracias a las reacciones químicas internas y a la hidratación de los componentes del Clinker, este puede llegar a desarrollar una resistencia a compresión de 26.1 MPa.
- En la figura 3.9 se observa el primer pico obtenido del difractograma, este pico esta entre los 5 y 10 grados, por lo que corresponde a la fase de creación de la etringita, este pico en este caso no es tan pronunciado y este es un claro indicativo de la poca cantidad de celita  $C_3A$  que existe en este tipo de cemento, ya que este compuesto es el principal en reaccionar con el agua para formar etringita en la primera fase de hidratación.
- En el cemento tipo HS la presencia de celita  $C_3A$  en los difractogramas es mucho menos perceptible que en otros tipos de cemento ya que este es

compuesto expansivo que genera agrietamiento y para resistir a sulfatos se necesita un hormigón menos permeable y por lo tanto menos agrietado en sus estructuras moleculares.

- Al continuar con el proceso de hidratación se puede encontrar un pico mucho más pronunciado en la Figura 3.10, el cual se lo encuentra entre  $2\Theta=17^\circ$  y  $2\Theta=19^\circ$ , correspondiente en este pico se ve la formación de portlandita y debido a la cantidad de alita  $C_3S$  y belita  $C_2S$  que reacciona en esta fase, se puede ver que la formación va creciendo paulatinamente en el tiempo, siendo la menor producción a los 7 días y llegando al pico mas alto a los 56 días.
- En la Figura 3.11 referente los difractogramas dentro del rango de  $2\Theta=20-25^\circ$  y de  $2\Theta=25-30^\circ$  encontramos los dos picos más altos de todo el difractograma, siendo este el indicativo de la producción de Tobermorita gel y la producción de CSH en donde se nota claramente la presencia predominante de alita  $C_3S$  y belita  $C_2S$ , los cuales son los principales aportantes a la producción de Tobermorita gel.
- En los picos mas altos del difractograma se puede ver que el pico mas alto es a los 7 días lo cual también se puede en la Figura 3.16 y 3.17 esto debido a que la reacción de alita  $C_3S$  se da dentro de los primeros días y así también la belita reacciona en un 30% dentro de los primeros 28 días por lo que conjuntamente producen una mayor cantidad de Tobermorita en los primeros días y conforme pasa el tiempo se va reduciendo y estabilizando.
- En los picos finales del difractograma, es decir entre los  $2\Theta=30^\circ$  y  $2\Theta=40^\circ$  se puede encontrar la presencia de cuarzo y oxido de calcio, y la producción de estos compuestos también se da conforme se aumenta de edad de manera creciente.

### 3.3 Recomendaciones

- Es importante que, para la realización de los ensayos de laboratorio como la compresión de cubos y cilindros, los equipos estén bien calibrados y cuenten con la velocidad correcta de ensayo.

- Se recomienda que para la detención de la hidratación del cemento antes de hacer la difracción se lo haga con alcohol isopropílico o acetona ya que estos dos compuestos pueden eliminar el agua en la muestra y detener la hidratación.
- Las muestras deben estar en un desecador hasta ser llevadas al laboratorio en donde se realicen los ensayos de DRX, para evitar que las muestras absorban humedad del ambiente.
- Se deber moler las muestras después de la compresión de cubos tomando el alma del cubo y moliéndole hasta que pase por el tamiz #200 de esta manera se garantiza que la detención de la hidratación esta correcta y además facilita el ensayo de DRX.
- Para el análisis cuantitativo es importante tomar en cuenta que las graficas tienen un grado de ruido, esto dependerá del equipo o difractor que se utilice, pero hay que analizar analíticamente evaluar si estos picos son representativos para la investigación o es mejor despreciarlos.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, M., & Carbajal, G. (2010). *Utilidad de la difracción de rayos X en las nanociencias*. Mundo Nano.
- ASTM C778. (2017). *Standard Specification for Standard Sand*.
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Luna Hermosa, G. V. (2014). *Estudio del Hormigón*. Quito: Edicumbre.
- NTE INEN 152. (2012). *Cemento Portland. Requisitos*.
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*.
- NTE INEN 2380. (2011). *Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*.
- NTE INEN 488. (2009). *Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*.
- NTE INEN 855. (2010). *Aridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el arido fino para hormigón*.
- NTE INEN 873. (2017). *Arena Normalizada. Requisitos*.
- Ortega García, J. E. (2014). *Diseño de estructuras de Concreto Armado*. Lima, Perú: Editora MACRO.
- Piqué, T. M., & Vázquez, A. (2012). *Uso de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier en el estudio de la hidratación del cemento*.
- Ramachandran, V., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., & Delgado, A. H. (2002). *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Norwich: Noyes Publications.

## 5 ANEXOS

# ANEXO I Informe de resultados de densidad real del cemento



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



## DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0408-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de agosto 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:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** \*\*\*  
**NORMA:** ASTM C188

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

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	0,2	320,7	19,1	380,7	0	3,17
2	0,2	320,9	18,5	378,8	0	3,16
PROMEDIO						3,17

**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



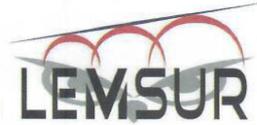
Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

## ANEXO II Informe de densidad aparente de cemento



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



### DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0375 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 19 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: \*\*\*  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE CEMENTO: HS  
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>
21-014-I-1	1	0,975	1,275

**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



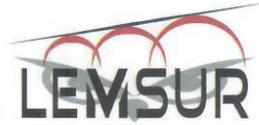
Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO III Informe de análisis granulométrico (finos)



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



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0369-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

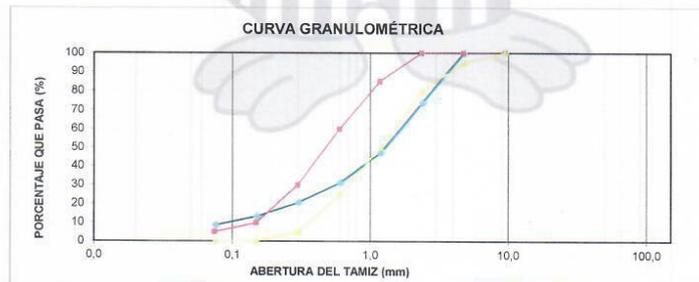
Razón social: ECHEVERRIA SALAZAR KLEBER ALEXANDER  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0988524837

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: ÁRIDO FINO  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
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	1,3	0,1	0,1	99,9
No. 8	2,360	259,4	26,0	26,1	73,9
No. 16	1,180	266,9	26,7	52,8	47,2
No. 30	0,600	161,4	16,2	69,0	31,0
No. 50	0,300	104,2	10,4	79,5	20,5
No. 100	0,150	73,1	7,3	86,8	13,2
No. 200	0,075	47,1	4,7	91,5	8,5
BANDEJA	-	84,9	8,5	100,0	0,0
TOTAL		998,3			

**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



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

GR.F-22-019-I

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO IV Informe de análisis granulométrico (gruesos)



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



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-366-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

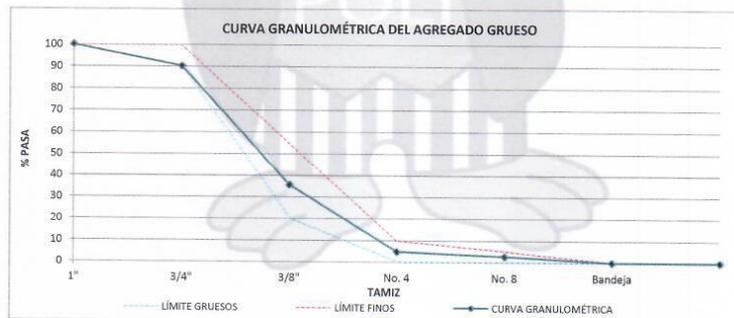
Razón social: ECHEVERRIA SALAZAR KLEBER ALEXANDER  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0988524837

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: ÁRIDO GRUESO  
PROCEDENCIA: HOLCIM  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-19  
NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		10020,70	Número de Tamaño		67
TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RET. ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25,00	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,00	978,3	9,8	9,8	90,2
3/8"	9,50	5474,4	54,6	64,4	35,6
No. 4	4,75	3087,2	30,8	95,2	4,8
No. 8	2,36	204,7	2,0	97,3	2,7
Bandeja	-	274,4	2,7	100,0	0,0
TOTAL		10019,0	M. FINURA	6,7	

**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



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO V Informe de contenido orgánico



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0418-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de agosto 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: \*\*\*

PROCEDENCIA: HOLCIM  
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO FINO  
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-20  
NORMA: ASTM C40

**ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO**



**ESCALA GARDNER**

0	<input checked="" type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>

**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 VI Informe de gravedad específica y absorción.



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



## GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0276-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 3 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: KLEBER ALEXANDER ECHEVERRIA SALAZAR  
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: \*\*\*  
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 (%)
014-I-01	Arena	2,55	2,62	2,74	2,70
014-I-02	Ripio	2,37	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 VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO

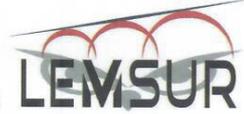


Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

# ANEXO VII Informe de densidad aparente de agregados finos y gruesos.



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



## DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0372- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: ECHEVERRÍA 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: \*\*\*  
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 (%)
014-I-001	ÁRIDO FINO	1598	37	1782	30
014-I-002	ÁRIDO GRUESO	1276	46	1384	42

**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



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

# ANEXO VIII Informe de ensayo de abrasión.



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



## 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



ABR22-004-I

Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO IX Informe de compresión de cilindros de hormigón.



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



## COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0407-I  
Hoja 01 de 01

### DATOS DEL CLIENTE

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

Quito, 9 de agosto de 2022

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS  
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)	± U (MPa)
1	HC-HS	2022-06-07	2022-06-14	7	101,00	8012	2240	130,0	TIPO 1	A	16,2	0,11
2	HC-HS	2022-06-07	2022-06-14	7	101,25	8052	2270	132,3	TIPO 2	A	16,4	0,11
3	HC-HS	2022-06-07	2022-06-14	7	101,25	8052	2250	153,1	TIPO 1	A	19,0	0,11
4	HC-HS	2022-06-07	2022-07-05	28	101,50	8091	2280	200,5	TIPO 1	A	24,7	0,11
5	HC-HS	2022-06-07	2022-07-05	28	102,25	8211	2240	203,2	TIPO 2	A	24,7	0,11
6	HC-HS	2022-06-07	2022-07-05	28	102,00	8171	2270	169,2	TIPO 2	A	19,5	0,11
7	HC-HS	2022-06-07	2022-06-02	56	102,00	8171	2270	214,2	TIPO 2	A	26,2	0,11
8	HC-HS	2022-06-07	2022-06-02	56	101,25	8052	2280	219,2	TIPO 2	A	27,2	0,11
9	HC-HS	2022-06-07	2022-06-02	56	101,00	8012	2260	199,8	TIPO 2	A	24,9	0,11



**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, elemento, identificación) son proporcionadas 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.

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.

*[Firma]*  
ING. MERCEDES VILLARIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

F-T-6-08

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO X Informe de compresión cubica de morteros de cemento.



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



## COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0405 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de agosto 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: \*\*\*  
NORMA: ASTM C109

N°	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (MPa)
1	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	290,8	5,78	56,85	221	21,7
2	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	269,9	5,76	56,51	232	22,7
3	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	270,9	4,86	47,63	194	19,0
4	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	269,9	5,58	54,68	223	21,9
5	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	292,1	4,44	43,52	167	16,3
6	2022-07-04	HC-HS	2022-07-11	7	290,6	5,55	54,43	211	20,7
7	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	292,2	7,36	72,20	283	27,7
8	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	290,9	7,48	73,32	282	27,6
9	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	271,1	6,28	61,58	251	24,6
10	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	271,1	6,54	64,16	264	25,9
11	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	291,1	7,66	75,09	301	29,5
12	2022-07-05	HC-HS	2022-08-02	28	274,7	7,46	73,20	299	29,3
13	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	274,2	6,32	61,99	253	24,8
14	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	273,3	4,83	47,38	194	19,0
15	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	294,2	6,55	64,26	251	24,6
16	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	274,5	7,17	70,29	286	28,0
17	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	293,8	6,54	64,12	250	24,6
18	2022-05-24	HC-HS	2022-07-19	56	289,3	6,36	62,35	244	24,0

**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 items ensayados bajo las condiciones de Laboratorio o 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



Telf.: 2976300

# ANEXO XI Informe de compresión diametral de cilindros de hormigón (Tracción indirecta).



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



## COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22-0406-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 09 de agosto de 2022

### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: ECHEVERRÍA 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: \*\*\*  
Contralista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C 496/ INEN 2648

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-HS (7 días)	Cilindro 1	2022-06-07	2022-06-14	7	101	202	2263	50110	1,55	A
HC-HS (28 días)	Cilindro 2	2022-06-07	2022-07-05	28	103	200	2242	102710	3,20	A
HC-HS (28 días)	Cilindro 3	2022-06-07	2022-07-05	28	101	202	2241	87980	2,75	A
HC-HS (56 días)	Cilindro 4	2022-06-07	2022-08-02	56	102	202	2249	102260	3,15	A
HC-HS (56 días)	Cilindro 5	2022-06-07	2022-08-02	56	103	200	2247	96960	3,00	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 proporcionadas 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



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

**ANEXO XII Difractograma comparativo completo para diferentes edades.**

**ANEXO XIII Cuadro de valores máximos entre intervalos  $2\theta=5^\circ$ .**

