

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANO

GERMÁN EDUARDO GALARZA CASTRO

german.galarza@epn.edu.ec

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

DIRECTOR: EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO

mercedes.villacis@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Germán Galarza 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.

GERMÁN GALARZA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Germán Galarza, bajo mi supervisión.

ING. MERCEDES VILLACIS MSC.

DIRECTORA

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

ING. GERMÁN LUNA
REVISOR1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

ING. NICOLAY YANCHAPANTA
REVISOR2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante 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.

GERMÁN GALARZA

ING. MERCEDES VILLACIS MSC.

DEDICATORIA

El trabajo de titulación lo hice con toda la dedicación y esfuerzo que se merece, el mismo que está dedicado a mis padres Marco, Elizabeth y mis hermanos que me apoyaron durante todos estos años y gracias al su esfuerzo y sacrificio estoy donde estoy.

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por darme salud, vida e inteligencia ya que solo él sabe lo duro y sacrificado estudiar la carrera.

Quiero agradecer a mis padres por apoyarme y permitirme estudiar la carrera que me gusta y espero no fallarles nunca en mi carrera profesional.

Agradezco a Lesly que fue un gran apoyo durante mi etapa universitaria, en donde siempre encontré una gran compañía y refugio.

Agradezco a mis amigos, en especial Kleber y María Fernanda que nos apoyamos durante toda la carrera, compartimos conocimientos y espero que esta amistad perdure para siempre.

Agradezco a mi tutora de tesis Ing. Mercedes Villacis que apporto en mi conocimiento desde materias de pregrado de la carrera de ingeniería civil hasta este proyecto de titulación que espero pueda seguir estudiando sobre el tema y así aplicarlo en mi vida profesional.

Agradezco al laboratorio LEMSUR por permitirme realizar los ensayos que se desarrollaron en este trabajo de titulación.

Al Laboratorio de Materia Condensada del Departamento de Física que nos ayudaron con los ensayos complementarios para el desarrollo y conclusión de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Cemento de uso común o TIPO I (Holcim GU).....	2
1.4.1.2 Hidratación del cemento	5
1.4.3 Concreto	6
1.4.4 Agregados	6
2 METODOLOGÍA.....	12
2.1 Elaboración de especímenes.....	12
2.1.1 Cubos de mortero	12
2.2.1 Cilindros de hormigón	13
2.2 Ensayos.....	14
2.3.1 Difracción Rx	14
2.3.3 Compresión simple.	15
2.3.4. Tracción indirecta.....	16
2.3.5. Permeabilidad	16
2.3.4. Detención de la hidratación del cemento.....	16

2.3	Caracterización de los materiales para la dosificación de cilindros de hormigón	17
2.4.1	Cemento	17
2.4.2	Agregados	18
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
3.1	Resultados	23
3.1.1	Caracterización de los materiales	23
3.1.2	Compresión cubica de morteros de cemento	30
3.1.3	Compresión de cilindros de hormigón	32
3.1.4	Tracción indirecta de cilindros de hormigón	33
3.1.5	Permeabilidad en probetas cilíndricas de hormigón	35
3.1.5	Difracción Rx	36
3.2	Conclusiones	39
3.3	Recomendaciones	40
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
5	ANEXOS	43
5.1	Ensayos de Áridos	43
5.2	Ensayos del Cemento	49
5.3	Ensayos de cubos mortero	51
5.4	Ensayos de cilindros de hormigón	52
5.5	Ensayos de difracción de Rx a los 7 días	55
5.6	Ensayo de difracción de Rx a los 28 días	56
5.7	Ensayo de difracción de Rx a los 56 días	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1. 1 Componentes del cemento (formula y abreviatura)	2
Tabla1. 2 Composición de los compuestos, finura y características de resistencia a la compresión de ciertos tipos de cementos normados en EE. UU.....	4
Tabla1. 3 Requisitos de composición de cementos normados por la NTE INEN.....	4
Tabla1. 4 Granulometría de la arena 20-30.	6
Tabla2. 1 Dosificación de cubos de mortero	12
Tabla2. 2 Análisis granulométrico para árido fino.....	19
Tabla2. 3 Análisis granulométrico para árido grueso	19
Tabla3. 1 Densidad aparente del cemento.....	23
Tabla3. 2 Densidad real del cemento.....	23
Tabla3. 3 Densidad aparente del agregado fino.....	24
Tabla3. 4 Granulometría de agregado fino.....	24
Tabla3. 5 Peso específico y absorción del agregado fino	25
Tabla3. 6 Densidad aparente del agregado grueso	26
Tabla3. 7 Granulometría del agregado grueso.....	27
Tabla3. 8 Peso específico y absorción del agregado fino	28
Tabla3. 9 Abrasión agregado fino	28
Tabla3. 10 Resumen de ensayos realizados al cemento, agregado fino y agregado grueso	29
Tabla3. 11 Parámetros asumidos para la dosificación de cilindros de hormigón.....	29
Tabla3. 12 Dosificación para cilindros de hormigón con cemento de TIPO I.....	30
Tabla3. 13 Resistencia a la compresión de cubos de mortero a los 7,28 y 56 días.....	30
Tabla3. 14 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 7,28 y 56 días....	32
Tabla3. 15 Tracción indirecta de cilindros de hormigón a los 7,28 y 56 días.....	33
Tabla3. 16 Profundidad de penetración del agua a los 7,28 y 56días	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Tobermorita en los primeros días.....	7
Figura 1. 2 Formación de tobermorita gel	7
Figura 1. 3 Fisuras de hidratación.....	8
Figura 1. 4 Belitas a los siete días de hidratación	8
Figura 1. 5 Alita y belita en proceso de hidratación	9
Figura 1. 6 Formación de portlanditas a los siete días de hidratación	9
Figura 1. 7 Etringitas formadas a los siete días de hidratación	10
Figura 1. 8 Tobermorita gel a los veintiocho días de hidratación.....	10
Figura 1. 9 Belitas a los veintiocho días de hidratación.....	11
Figura 1. 10 Portlanditas a los veintiocho días de hidratación.....	11
Figura 2 1 Orden de apisonamiento.....	13
Figura 2 2 Esquemas de los modelos típicos de fractura	15
Figura 3. 1 Curva granulométrica del agregado fino	25
Figura 3. 2 Ensayo de colorimetría aplicado al agregado fino	26
Figura 3. 3 Curva granulométrica del agregado grueso	27
Figura 3. 4 Dosificación para cilindros de hormigón.....	30
Figura 3. 5 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a compresión de cubos de mortero	31
Figura 3. 6 Cilindros de hormigón ensayados a compresión	32
Figura 3. 7 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a compresión de cilindros de hormigón.....	33
Figura 3. 8 Cilindro ensayado a tracción indirecta.....	34
Figura 3. 9 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a tracción indirecta de cilindros de hormigón.....	34
Figura 3. 10 Penetración de agua en la probeta de hormigón.....	35
Figura 3. 11 Curva de permeabilidad del hormigón.....	36
Figura 3. 12 Mineralogía presente a los 7 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)	36
Figura 3. 13 Mineralogía presente a los 28 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)	37
Figura 3. 14 Mineralogía presente a los 56 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)	37

Figura 3. 15 Mineralogía presente a los 7,28 y 56 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)38

Figura 3. 16 Picos importantes durante la hidratación del cemento que relaciona el intervalo 2θ con la intensidad respecto a las edades de análisis (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)38

RESUMEN

La investigación consiste en el análisis del cemento TIPO GU o TIPO I durante la hidratación del mismo en muestras de mortero completándolo dicho estudio con ensayos físicos en muestras de hormigón.

Primero se realizó ensayos de caracterización de áridos y del cemento con el fin de obtener una dosificación para cilindros de hormigón, cuya resistencia teórica planteada sea de 210 kg/cm². A dichas probetas se realizaron ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta y permeabilidad a edades de 7,14 y 56 días.

Mientras que los cubos elaborados con mortero tienen una dosificación normada ya que se utiliza arena 20-30 o arena de sílice; a dichos cubos se realiza el ensayo a compresión cuya finalidad es obtener su resistencia, se procede a detener la hidratación de dichas muestras para al momento que cumpla las edades de 7,14 y 56 días se pueda realizar el ensayo de difracción de Rx que permite el estudio en sí, de la hidratación del cemento, ya que con las gráficas obtenidas del ensayo (difractogramas) se puede concluir en qué momento de la hidratación se produce más cantidad de compuestos hidratados característicos en una muestra de mortero y el porqué de su resistencia a sus diferentes edades.

PALABRAS CLAVE: cemento TIPO GU, hidratación del cemento, resistencia a compresión, difracción de Rx, difractogramas

ABSTRACT

The research consists of the analysis of the cement TYPE GU or TYPE I during the hydration of the same in mortar samples completing this study with physical tests on concrete samples.

First, aggregate and cement characterization tests were carried out in order to obtain a dosage for concrete cylinders, whose theoretical resistance was proposed to be 210 kg/cm². Compressive strength, indirect traction and permeability tests were performed on these specimens at ages of 7, 14 and 56 days.

While the cubes made with mortar have a standardized dosage since 20-30 sand or silica sand is used; The compression test is carried out on these cubes whose purpose is to obtain their resistance, the hydration of said samples is stopped so that when they reach the ages of 7, 14 and 56 days, the Rx diffraction test can be carried out, which allows the study itself, of the cement hydration, since with the graphs obtained from the test (diffractograms) it can be concluded in which moment of hydration more quantity of characteristic hydrated compounds is produced in a sample of mortar and the reason for its resistance to its different ages.

KEYWORDS: cement TYPE GU, cement hydration, compressive strength, Rx diffraction, diffractograms

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito constructivo, el hormigón toma un rol muy importante ya que de la calidad de este depende que la estructura funcione correctamente. El hormigón es una mezcla de cemento portland, agregados, aditivos y agua; y su desempeño está sujeto a la condición de sus componentes, específicamente de la naturaleza del cemento.

En el presente trabajo se realizará el estudio del proceso de hidratación del cemento de uso común denominado TIPO I de una marca ecuatoriana. Dicho cemento está compuesto por Clinker de cemento portland, sulfato de calcio (yeso) y puzolanas naturales; por lo que se lo puede denominar como cemento puzolánico, que se caracteriza por tener una buena resistencia a los agentes químicos, menor dilatación y es más útil emplearlo donde se necesita alta durabilidad y baja permeabilidad.

Para el análisis y estudio de dicho cemento es importante conocer las propiedades físicas, químicas y los componentes que se generan durante la hidratación del mismo; mediante los ensayos de difracción de Rx. La hidratación del cemento se genera cuando los minerales del cemento (Alita, Belita, Celita y Ferrita) reaccionan con agua, dichos componentes son parte fundamental en la generación de resistencia del cemento.

1.1 Objetivo general

Analizar el proceso de hidratación del cemento denominado Tipo I o de uso común de una marca de cemento ecuatoriano, analizando las diferentes etapas durante este proceso por medio de ensayos de difracción de Rx en una muestra de mortero.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar y comprobar los porcentajes de los componentes del cemento para compararlos con el estado del arte y el cemento Tipo I.
- Muestrear el cemento denominado Tipo I y caracterizar sus propiedades físicas.
- Analizar los diferentes compuestos presentes durante el proceso de hidratación del cemento por medio del uso de morteros y pastas de cemento de uso común a edades de 7, 28 y 56 días en el ensayo de difracción de Rx.
- Determinar la resistencia a compresión de una muestra de mortero con cemento de uso común a edades de 7, 28 y 56 días.

1.3 Alcance

Se desea realizar una investigación del estado del arte del proceso de hidratación del cemento y compararlo en un cemento ecuatoriano de uso común, considerando que el cemento analizado será un cemento puzolánico, y como esta propiedad influye en su comportamiento. Al analizar el proceso de hidratación del cemento se pretende entender el uso correcto que se le va a dar al cemento, etapas de hidratación del cemento y las características que adquiere a medida que tiene más edad.

Con las muestras de mortero y pastas elaborados con el cemento de uso común, se requiere realizar ensayos de: Difracción de Rx, composición química, termogravimetría y compresión simple a edades de 7, 28 y 56 días.

También se realizará cilindros de hormigón con dicho cemento, para aplicar los siguientes ensayos: resistencia a compresión, tracción indirecta, permeabilidad y los respectivos ensayos de los componentes del hormigón (agregado fino, agregado grueso y cemento) dichos ensayos tienen como finalidad el análisis de los resultados y la interpretación de los mismos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Cemento de uso común o TIPO I (Holcim GU)

El cemento portland Tipo GU o Tipo I es utilizado en varios tipos de construcciones en el ámbito de ingeniería civil, se caracteriza por su resistencia, durabilidad y destacado desempeño, es usado en la fabricación de pastas, mortero y concreto. Los cementos Portland se los define como un cemento hidráulico producido por pulverización del Clinker, que se forman por silicatos cálcicos hidratados y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso (NTE INEN 151, 2010). Las características y requisitos que deben cumplir los cementos portland se establecen en la norma (NTE INEN 152, 2012).

1.4.1.1 Composición individual del cemento

Tabla 1. 1 Componentes del cemento (formula y abreviatura)

Nombre	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente (Chipatecua, 2020)

1.4.1.1.1 Silicato tricálcico

Conocido también como alita (C_3S), es el silicato cálcico más inestable presente en el cemento. Es el responsable del tiempo de fraguado inicial y de la ganancia de resistencias tempranas ya que, a los 30 días, dicho componente gana casi toda su resistencia. Al ser hidratado este, se convierte en tobermorita y en hidróxido de calcio. (Rios, 2020)



1.4.1.1.2 Silicato dicálcico

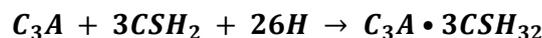
Conocido también como belita (C_2S) se hidrata lentamente, y es el responsable de resistencias tardías, es decir gana resistencia después de una semana y obtiene casi toda su resistencia en más de 60 días. Al hidratarse también se convierte en tobermorita, sin embargo, produce menos hidróxido de calcio que en el caso del silicato tricálcico. (Rios, 2020)



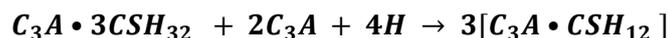
El silicato tricálcico y el silicato dicálcico juntos forman 75–80% de cemento portland.

1.4.1.1.3 Aluminato tricálcico

Conocido también como celita, (C_3A) libera calor en las etapas iniciales de hidratación y contribuye poco a la ganancia de resistencia en los primeros días y después casi nada. Al hidratarse y combinarse con yeso se produce etringita. (Rios, 2020)



Después de que todo el yeso pase a ser etringita, el exceso de celita reacciona con la etringita para formar monosulfato.



1.4.1.1.4 Ferroaluminato tetracalcico

Conocido también como ferrita (C_4AF) es la fase líquida que rodea a los minerales y constituye alrededor del 8 al 13% de un cemento portland promedio. A esta fase no se le presta mucha atención ya que se comporta de manera similar que la celita, sin embargo, las reacciones de esta son mucho más lentas. (V.S. Ramachandran, 2002)

Tabla1. 2 Composición de los compuestos, finura y características de resistencia a la compresión de ciertos tipos de cementos normados en EE. UU.

ASTM Type	ASTM Designation	Composition				Fineness cm ² /g	Compressive Strength % of Type I Cement		
		C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF		1 day	2 days	28 days
I	General purpose	50	24	11	8	1800	100	100	100
II	Moderate sulfate resistant-moderate heat of hydration	42	33	5	13	1800	75	85	90
III	High early strength	60	13	9	8	2600	190	120	110
IV	Low heat	26	50	5	12	1900	55	55	75
V	Sulfate resisting	40	40	4	9	1900	65	75	85

Fuente (V.S. Ramachandran, 2002)

Tabla1. 3 Requisitos de composición de cementos normados por la NTE INEN.

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

^A Ver nota 2.
^B No se aplica cuando se especifica el límite de resistencia a sulfatos de la tabla 4.
^C No se aplica cuando se especifica el límite de calor de hidratación de la tabla 4.
^D Se permite exceder los valores del contenido de SO₃ de la tabla, con la condición de que se demuestre, mediante el método de ensayo de la NTE INEN 2529, que el cemento con el contenido de SO₃ incrementado no desarrollará una expansión superior al 0,020% a los 14 días. Cuando el fabricante provea cemento bajo esta condición, se debe proporcionar datos de respaldo al comprador (ver nota 6).
^E Ver el Anexo A para el cálculo.
^F No es aplicable.
^G Ver nota 5.
^H Además, se debe realizar 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.

Fuente (NTE INEN 152, 2012)

1.4.1.2 Hidratación del cemento

La velocidad de hidratación de los compuestos depende del cristal: tamaño, imperfecciones, tamaño de partícula, distribución del tamaño de partícula, la tasa de refrigeración, superficie, presencia de aditivos, temperatura, etc. (V.S. Ramachandran, 2002)

1.4.1.2.1 Tobermorita (CSH)

La tobermorita o silicatos de calcio hidratados (CSH), es el responsable de la armazón interna de la pasta de cemento, de la adherencia de ésta con los áridos en los morteros y hormigones. Este gel tiene atracción electrostática, forman partículas fibrosas las mismas que se van uniendo y eso le da la resistencia temprana al cemento. (Rios, 2020)

1.4.1.2.2 Portlandita (Hidróxido de calcio)

Esta actúa como reserva alcalina ya que ayuda a mantener el pH de la pasta de cemento e incluso protege al hormigón armado de la corrosión. Existen aspectos negativos tales como solubilidad en agua, fácilmente lixiviable por disolución y es el primer material en descomponerse a altas temperaturas. (Calleja, 2001)

Al ser este un cemento puzolánico ayudará a corregir dichos aspectos negativos.

1.4.1.2.3 Etringita (trisulfoaluminato de calcio)

Los cristales de etringita son de forma alargadas, lo que le da al cemento mayor cohesión. "...la etringita se encuentra generalmente en las fisuras del concreto dañado, alrededor de las partículas de agregado o en microfisuras de la pasta del cemento". (Abo-el-Enein, Salah A.; Salem, Th. M.; Hekal, Eisa E., 1988)

1.4.2 Arena de sílice

La Arena de Sílice principalmente está compuesta por cristal de cuarzo, el cual se puede localizar en gran cantidad en la corteza terrestre. Es un mineral refractario cuya fórmula química SiO_2 (dióxido de silicio) se obtiene en el proceso de lavado y clasificación del mineral caolinífero previamente obtenido en minas a cielo abierto. La arena de sílice tiene la siguiente granulometría.

Tabla1. 4 Granulometría de la arena 20-30.

Tamiz	% Pasa
No. 16 (1.18mm)	100
No. 20 (0.85mm)	85-100
No. 30 (0.06mm)	0-5

Fuente (ASTM C778-02)

1.4.3 Concreto

El concreto es la mezcla de cualquier cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (ACI-318-19, 2019)

Dependiendo de su dosificación, gana ciertas propiedades tales como resistencia e impermeabilidad.

1.4.4 Agregados

El agregado es el material granular, tal como-la arena, grava, la piedra triturada o la escoria de acero de alto horno.

El agregado grueso, consiste en sí, en partículas de agregado mayores de 4.75 mm (Malla No.4), mientras que el agregado fino, se refiere a las partículas de agregado menores de 4.75mm, pero mayores de 75 μ m (Malla No. 200).

La grava es el agregado grueso que resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesamiento de conglomerado de adherencia débil. (ACI-318-19, 2019)

1.4.5 Proceso de hidratación del cemento

En el proceso de hidratación del cemento aparecen tres compuestos principales que se forman: tobermorita gel, portlandita y etringita.

La tobermorita gel es la fase más abundante en los primeros días, ya que los cristales de alita cuando reaccionan pierden su forma y se convierten en tobermorita de poca cristalinidad y amorfa en su apariencia. (Giraldo & Tubon, 2006)

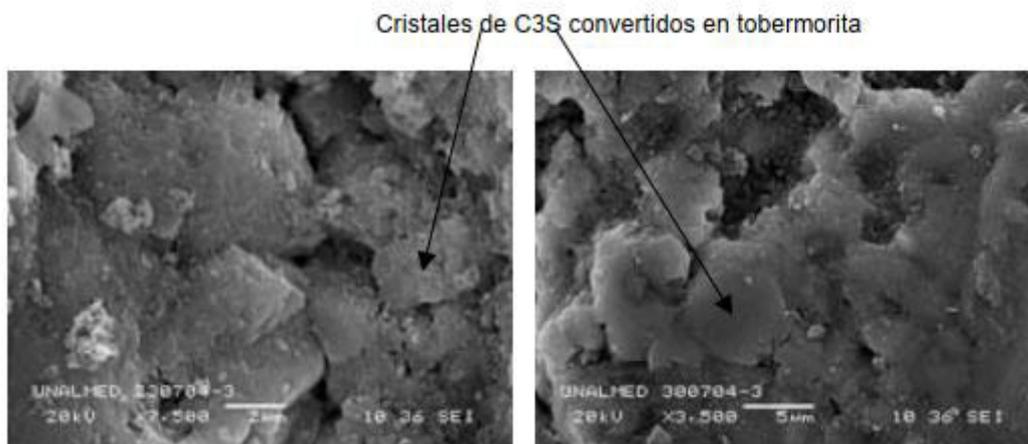


Figura 1. 1 Tobermorita en los primeros días

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

A medida que se hidratan los cristales de alita, se unen los unos a los otros formando una matriz continua y en forma de capas, algunos no se los puede diferenciar debido a que están unidos y son mucho más visibles en los cristales aislados. (Giraldo & Tubon, 2006)

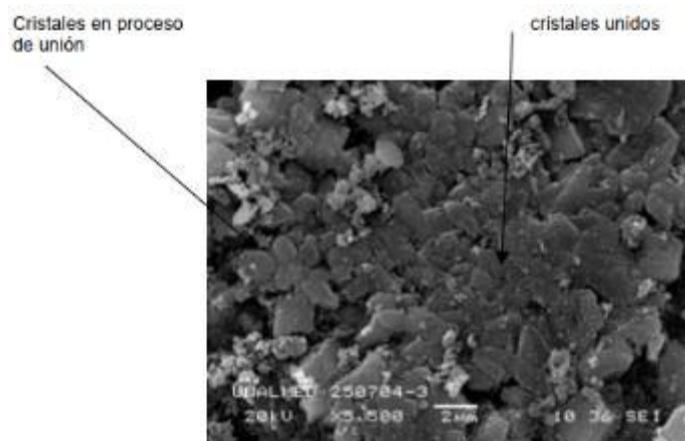


Figura 1. 2 Formación de tobermorita gel

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

La belita es un cristal que reacciona lentamente durante del proceso de hidratación en comparación con la alita. Existe muy poca cantidad de etringita comparado con las demás fases, se lo puede ver de manera puntual y en pequeñas cantidades. (Giraldo & Tubon, 2006)

Debido al calor de hidratación que produce las reacciones exotérmicas se forman las fisuras, las mismas que se las reconoce por rodear los cristales.

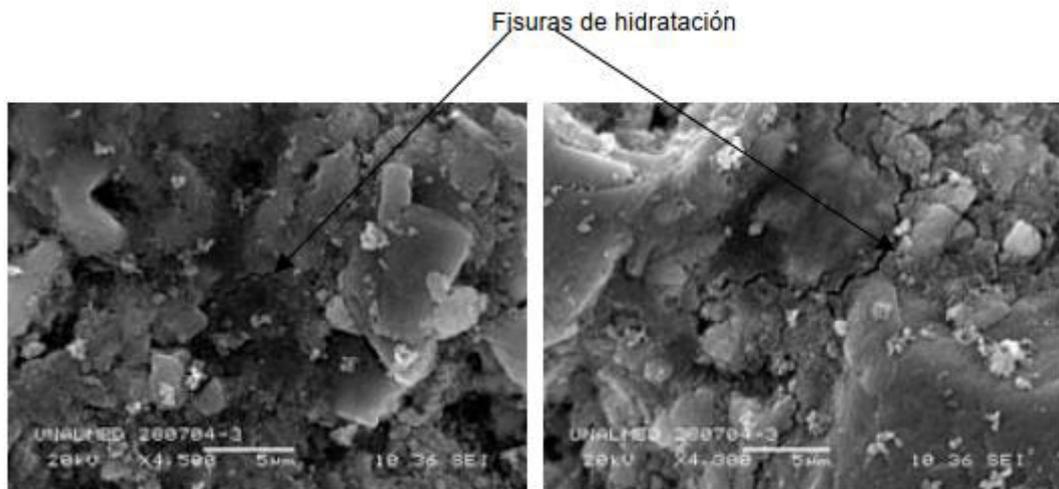


Figura 1. 3 Fisuras de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

A los siete días del proceso de hidratación se distingue fácilmente el mineral belita, el mismo que se observa con una aureola de reacción característico como se puede ver en la figura. A esta edad la aureola de reacción que envuelve a las belitas son más notorios ya que presenta una mayor área de cubierta que los primeros días indicando así el progreso de la hidratación. (Giraldo & Tubon, 2006)

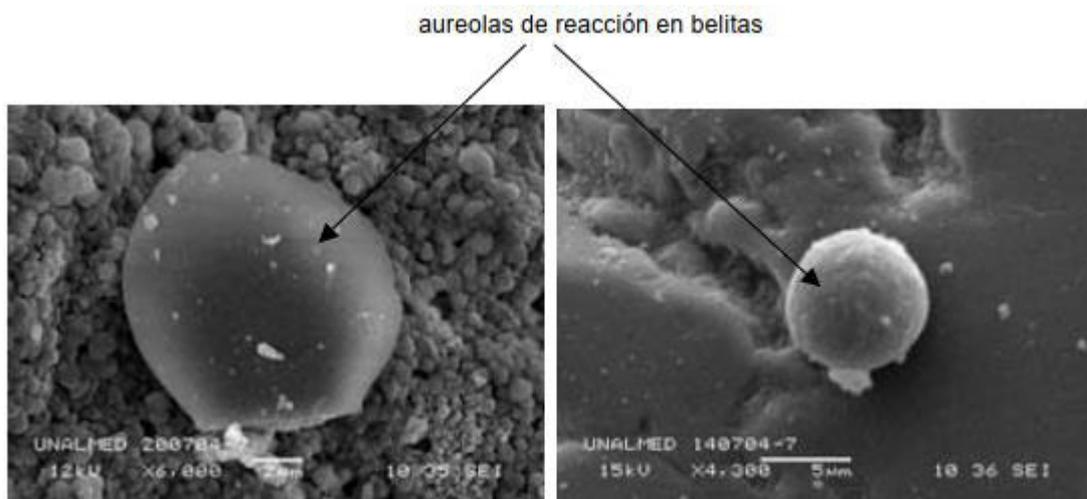


Figura 1. 4 Belitas a los siete días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

La diferencia es muy evidente ya que la velocidad de hidratación de la alita es mucho mayor que la de la belita, mientras la alita pierde su forma que la caracteriza, la belita no presenta ningún cambio en la forma del mineral.

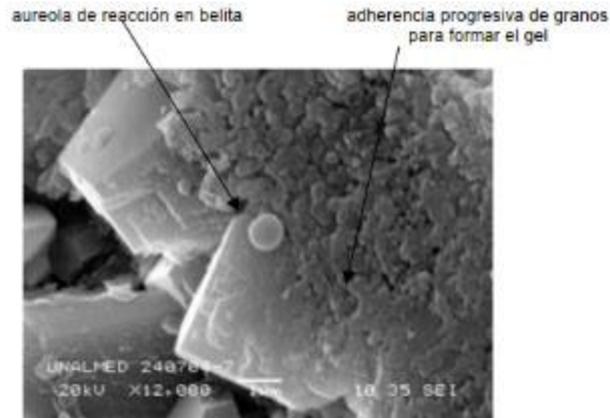


Figura 1. 5 Alita y belita en proceso de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

En dicha edad presenta mayor formación de tobermorita ya que se lo observa de una forma más continua, es fácil distinguir a los minerales que se convirtieron en gel puesto a que se logra ver los bordes del mineral anhidro. Las partículas se adhieren unas con otras debido a las fuerzas de Van Der Waals formando así la ligazón característica del cemento. Se desconoce a exactitud a partir de cual silicato cálcico se desarrolla la tobermorita gel. (Giraldo & Tubon, 2006)

Por otro lado, la cristalinidad de las portlanditas aumenta ya que se puede evidenciar sus bordes bien definidos y la forma hexagonal característica, dichos cristales se localizan menos dispersos. A partir de la alita se forman las portlanditas bien cristalizadas.

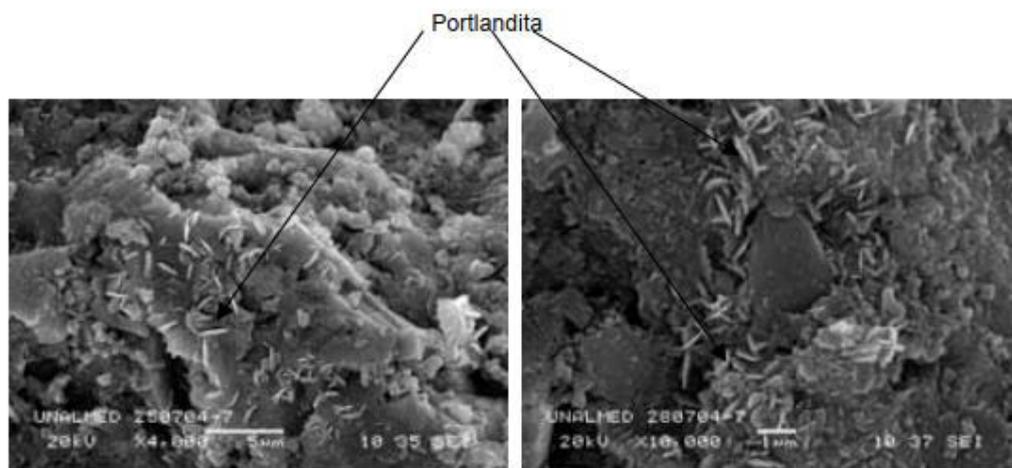


Figura 1. 6 Formación de portlanditas a los siete días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

A los siete días, la etringita se presenta en forma de agujas, bien cristalizada y con un tamaño menor a 1 micra, no es una fase muy abundante por lo que su presencia es puntual y no se encuentra distribuida en toda la muestra. (Giraldo & Tubon, 2006)

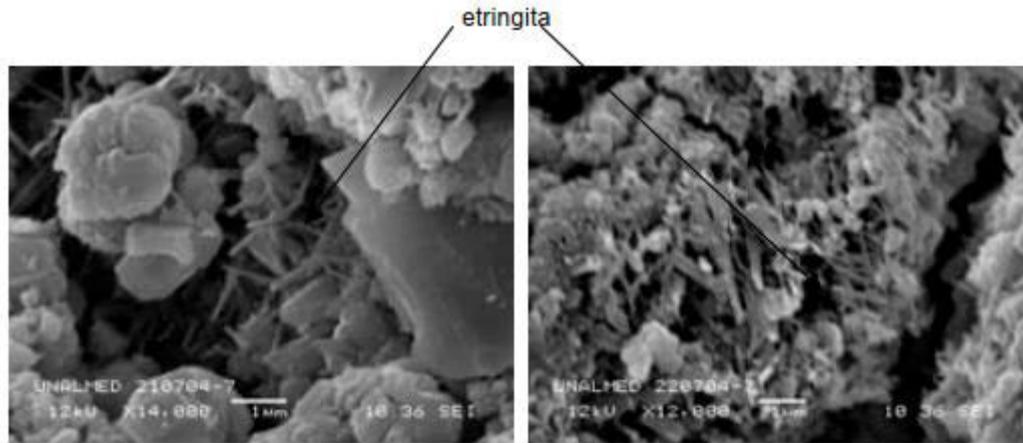


Figura 1. 7 Etringitas formadas a los siete días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

A los veintiocho días de hidratación, la tobermorita tiene una matriz más densa, compacta y continúa comparando con edades anteriores, mientras que la tasa de reacción de la belita es mucho más lenta ya que conserva su forma redondeada y la aureola ya lo bordea casi en su totalidad. Por otra parte, Las portlanditas no tuvieron cambios muy notorios, sin embargo, tienen un buen desarrollo cristalino, sus lados bien definidos y con forma de plaquetas hexagonales.

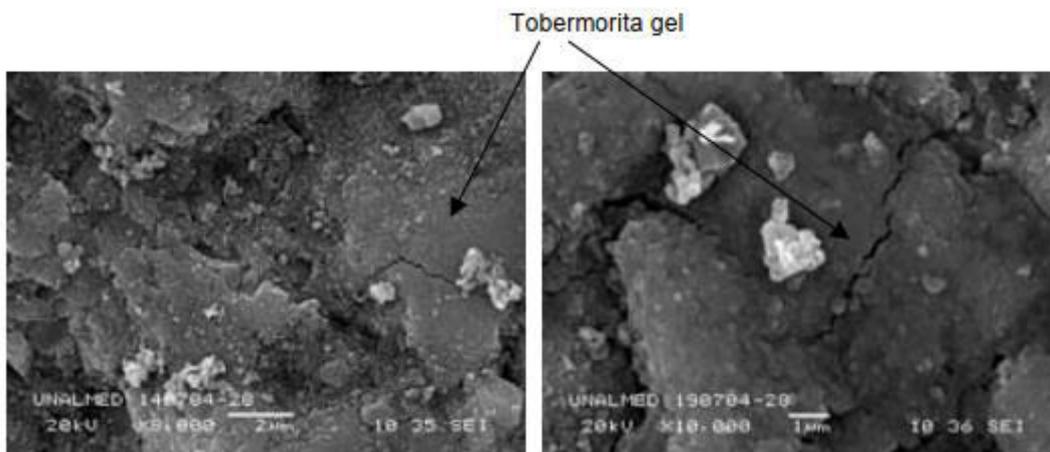


Figura 1. 8 Tobermorita gel a los veintiocho días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)



Figura 1. 9 Belitas a los veintiocho días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

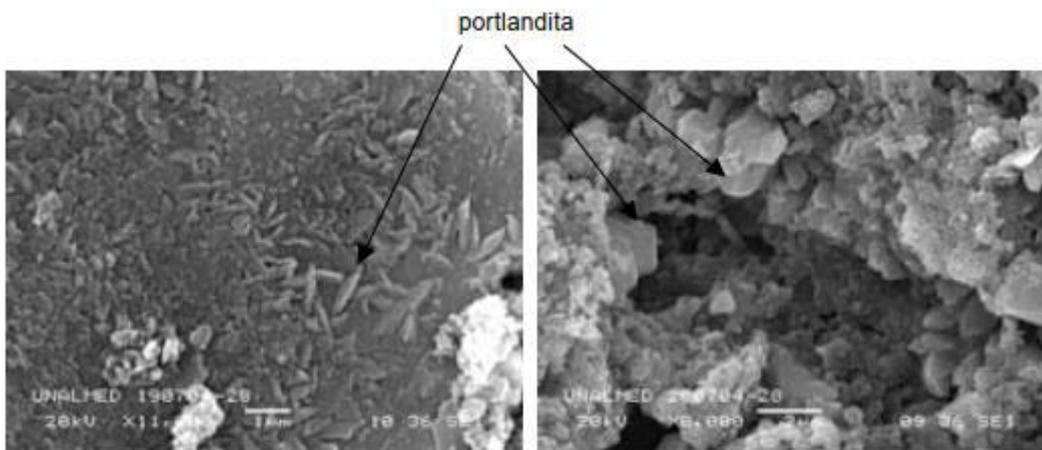


Figura 1. 10 Portlanditas a los veintiocho días de hidratación

Fuente (Giraldo & Tubon, 2006)

2 METODOLOGÍA

Se realizará cubos de mortero elaborados con cemento Tipo I, arena de sílice y agua, con dichos cubos se procederá a realizar los siguientes ensayos: Difracción Rx y compresión simple.

También se fabricará cilindros de concreto, mezclando cemento Tipo I, agregado fino (arena), agregado grueso (ripio) y agua para someterlos a los siguientes ensayos: Compresión simple, tracción indirecta y permeabilidad. Previamente se procederá a ensayar los compuestos de dicho concreto, para esto se tiene ensayos como: densidad real, densidades aparentes, granulometría, abrasión, absorción y colorimetría.

2.1 Elaboración de especímenes

2.1.1 Cubos de mortero

2.1.1.1 Dosificación

Para la preparación de los cubos hay que tener su dosificación, la cual se la plantea continuación:

Tabla2. 1 Dosificación de cubos de mortero

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1 375	2 035
Agua, cm ³		
- Portland (a/c = 0,485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c = 0,460)	230	340
- Otros (para un flujo de 110 ± 5)	-----	-----

Fuente (NTE INEN 488, 2009)

2.1.1.2 Proceso de mezclado

Primero se coloca la paleta y el tazón secos en la mezcladora, en posición de mezclado. Posteriormente, se coloca toda el agua de mezclado en el tazón. Luego se añade el cemento, se comienza a mezclar a una velocidad baja (140rpm ±5rpm) por 30 segundos.; añadir la cantidad total de arena lentamente durante 30 segundos, con la misma velocidad. Detener la mezcladora para cambiar a una velocidad media (285rpm ±10rpm) y mezclarla por 30 segundos. Se detiene nuevamente la mezcladora y dejar que el mortero este en reposo por 90 segundos. En los primeros 15 segundos, empujar la mezcla adherida en las

paredes hacia abajo del tazón; por el resto del intervalo cubrir el tazón con la tapa. Por último, mezclar por 60 segundos a velocidad media. (NTE INEN 155, 2009)

Antes de preparar la muestra se debe cumplir con el ensayo de flujo para morteros, dicho ensayo esta descrito en la (NTE INEN 2502, 2009)

2.1.1.3 Preparación de la muestra

Previamente aceitados los moldes, se divide el molde en 2 capas o compartimentos aproximadamente iguales, para la primera capa se coloca 25 mm de altura de la muestra y se compacta con el apisonador, cada capa un total de 32 veces en 10 segundos, como se muestra en la **Figura 2 1**. Este proceso se debe repetir para cada compartimento, al final enrazar los moldes y retirar el exceso de mortero.

Después de 18 horas o más, pero antes de 48 horas, se procede a secar los cubos para colocarlos en un tanque de agua que tenga una temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, dicho curado se registrará por la (NTE INEN 1576, 2011). Se procederá a sacarlos a los 7, 28 y 56 días para ensayarlos. Se ensayará 6 cubos para cada edad.

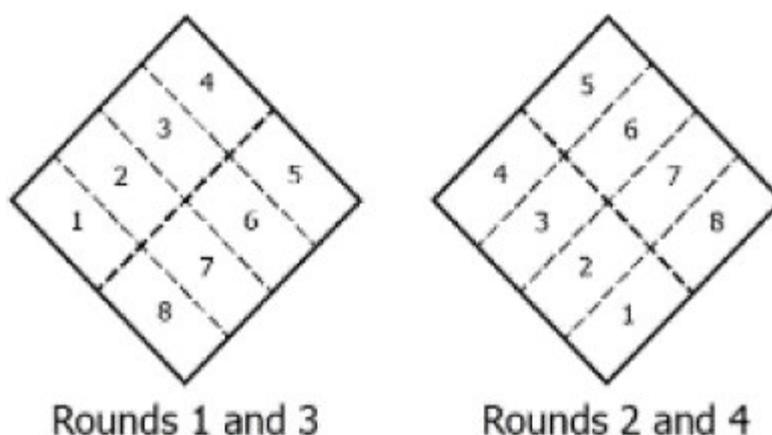


Figura 2 1 Orden de apisonamiento

Fuente (ASTM C119)

2.2.1 Cilindros de hormigón

2.2.1.1 Dosificación

La dosificación para cilindros de hormigón depende la caracterización de los agregados y la utilidad que se la va a dar.

2.2.1.2 Proceso de mezclado

El mezclado o fundición del hormigón se lo realiza sobre un recipiente metálico, limpio y sin fugas. Con una espátula se procede a mezclar primero el cemento y el agregado fino, después que esté completamente mezclado, se coloca el agregado grueso para tener una mezcla uniforme. Finalmente se coloca el agua y se lo mezcla hasta que tenga una apariencia homogénea y la consistencia deseada. (NTE INEN 3124, 2017)

Antes de preparar la muestra se debe cumplir con el asentamiento requerido, para esto se realiza el ensayo con el cono truncado, dicho ensayo esta descrito en la (NTE INEN 1578, 2010)

2.2.1.3 Preparación de la muestra

Se limpia y se aceita el molde cilíndrico de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. Se debe llenar el molde con el concreto en dos capas aproximadamente iguales y compactar cada capa con 25 golpes de la varilla compactadora, uniformemente distribuidos sobre la superficie. El curado se lo hace según la norma (NTE INEN 1576, 2011). (Luna Hermosa, 2014)

2.2 Ensayos

2.3.1 Difracción Rx

Las muestras para dicho ensayo son obtenidas a partir del ensayo de compresión de los cubos de mortero elaborados con cemento TIPO I y arena estándar, siendo posteriormente triturados ya que debe pasar el tamiz N200 y así aplicar el ensayo de retención de la hidratación del cemento con ayuda del éter. Se le hará un análisis mineralógico a los 7, 28 y 56 días de fraguado mediante la difracción Rx.

El Análisis Rietveld de patrones de difracción de rayos x de polvos usa un modelo que incluye la estructura cristalina de cada fase, una contribución para a los antecedentes, parámetros que definen la forma y ancho de las líneas de difracción y un factor de escala para cada fase para ajustar las intensidades relativas de la contribución que realiza cada una de ellas al patrón de difracción. Es justamente a partir de estos factores de escala que se puede cuantificar la composición de la muestra. (Elisa V. Pannunzio-Miner, 2003)

2.3.3 Compresión simple.

La resistencia a la compresión simple es la principal característica mecánica del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm².

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada, cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ($f'c$) para una estructura determinada. (CEMEX, 2019)

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad, se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma (NTE INEN 1 573, 2010).

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

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

Los esquemas de los modelos típicos de fractura al realizar este ensayo son:

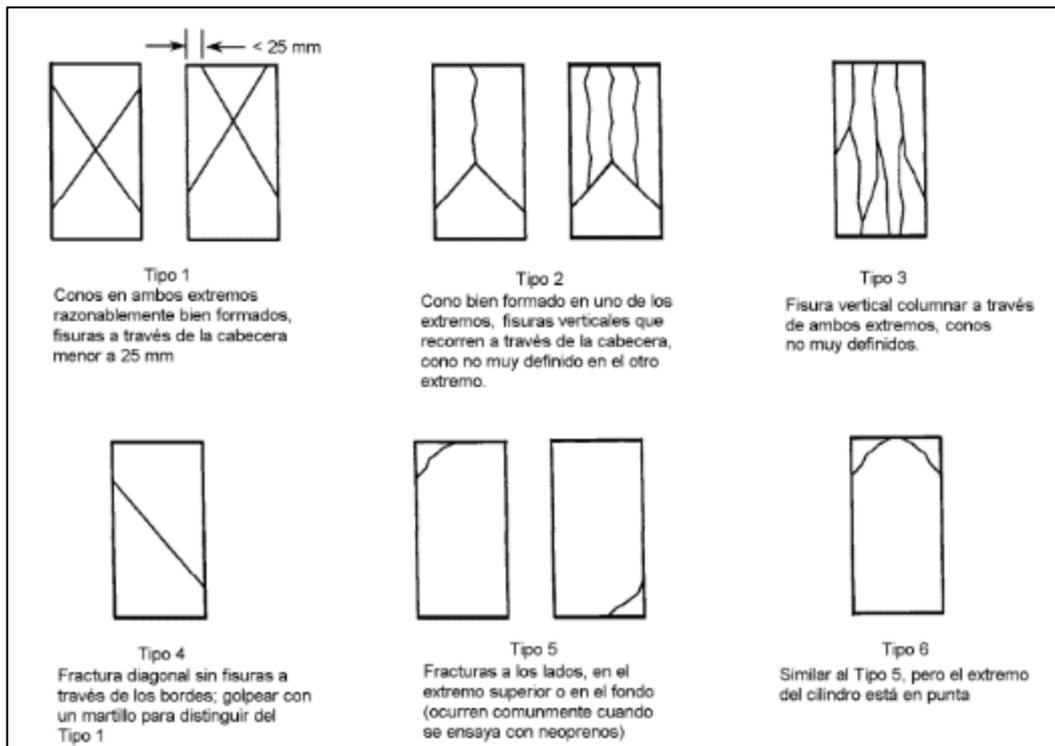


Figura 2 2 Esquemas de los modelos típicos de fractura

Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

2.3.4. Tracción indirecta

Este ensayo permite determinar el valor de f_t (tracción indirecta) pudiendo correlacionarse, en laboratorio, con el módulo de rotura por flexo tracción (M_r), consiste en la aplicación diametral de carga sobre una probeta cilíndrica. (Luna Hermosa, 2014)

Las probetas deben cargarse mediante bandas de madera contrachapada, cartón o materiales similares.

La resistencia a tracción indirecta debe calcularse mediante la expresión:

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

Donde:

f_t = esfuerzo de tracción, en MPa.

P = carga aplicada, en N.

L = longitud del cilindro, en mm.

d = diámetro del cilindro en mm.

Este ensayo está descrito por la norma (ASTM C 496 – 96). La resistencia a tracción pura del hormigón se puede determinar mediante la siguiente expresión:

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

2.3.5. Permeabilidad

El método a utilizar sirve para determinar la profundidad de penetración de agua en un cilindro de hormigón. Para dicho ensayo, los cilindros deben tener una edad mínima de 28 días, se aplica un flujo de agua en el cilindro a una presión constante de 500 ± 50 kPa durante 72 ± 2 horas, el sistema no debe tener fugas, caso contrario se deberá repetir el ensayo. Para ver la penetración del agua en la probeta se la divide en dos mitades y se la mide. (UNE-EN 12390-8, 2004)

2.3.4. Detención de la hidratación del cemento

Este proceso se lo realiza para detener la hidratación del cemento, en este caso para hacer ensayos de termogravimetría y difracción Rx a distintas edades.

Se debe tener mucha precaución al realizar este método, ya que se utiliza un químico llamado el éter dietílico que es extremadamente inflamable y no debe ser inhalado.

El proceso consiste en triturar la muestra hasta que pase el tamiz N 200, al tener aproximadamente 10 g de muestra, se agrega 100ml de alcohol isopropílico para revolverlo durante 15min, se fija papel filtro en un embudo con un poco de alcohol isopropílico, pasado dicho tiempo se vierte la mezcla en el filtro, el residuo se enjuaga con 20ml de alcohol isopropílico, y el residuo de este con 20ml de éter dietílico. Después de haber filtrado toda la muestra se coloca el papel filtro sobre un vidrio de reloj y se lo seca durante 8min ± 30s en un horno ventilado a 40 ±5 C. (RILEM TC-238 SCM, 2018)

2.3 Caracterización de los materiales para la dosificación de cilindros de hormigón

2.4.1 Cemento

2.4.1.1 Densidad real

El cemento es uno de los elementos más pesados que existe, puesto que su densidad real esta alrededor de 3.10 g/cm³; 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)

Este ensayo esta descrito por la norma (NTE INEN 156, 2009). La densidad real se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

Dreal: Densidad real (gr/cm³)

L1: Lectura del volumen inicial (cm³)

P1: Peso del frasco con reactivo (gr)

L2: Lectura del volumen final (cm³)

P2: Peso del frasco con reactivo y cemento (gr)

2.4.1.2 Densidades aparentes

El peso de un volumen de cemento varia de acuerdo al grado de compactación que presente, por dicha razón se la denomina densidad aparente. (Luna Hermosa, 2014)

Se puede determinar del cemento, la densidad suelta y la densidad compactada.

2.4.1.2.1 Densidad suelta

$$\gamma_s = \frac{4(P2 - P1)}{\pi * \phi^2 * h}$$

Donde:

γ_s : Densidad suelta (gr/cm³)

P1: Peso del molde (gr)

P2: Peso del molde con el cemento en estado suelto (gr)

ϕ : Diametro del molde (cm)

h: Altura del molde (cm)

2.4.1.2.2 Densidad compactada

$$\gamma_s = \frac{4(P2 - P1)}{\pi * \phi^2 * h}$$

Donde:

γ_s : Densidad suelta (gr/cm³)

P1: Peso del molde (gr)

P2: Peso del molde con el cemento en estado compactada (gr)

ϕ : Diametro del molde (cm)

h: Altura del molde (cm)

2.4.2 Agregados

En la fabricación de hormigones se emplea agregado fino(arena) y agregado grueso(ripio), los mismos que provienen de la trituración de rocas y son seleccionadas dependiendo la finura de la misma.

Los agregados consisten en partículas con gran resistencia mecánica, incluso debe poseer una resistencia a condiciones de exposición severa y a la intemperie, y en lo posible no tener materiales que afecten o deterioren el producto final. (Luna Hermosa, 2014)

2.4.2.1 Granulometría

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Este ensayo esta descrito por la norma (NTE INEN 696, 2011)

Tabla2. 2 Análisis granulométrico para árido fino

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

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

Tabla2. 3 Análisis granulométrico para árido grueso

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

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 5 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

Curva granulométrica

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es el mismo.

A partir de dicha curva se obtiene tamaños característicos como son el D10, D30, D60.

Coeficiente de uniformidad

Se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un material. Se expresa como la relación entre D60 y D10.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

D60: el diámetro por el cual pasa el 60% del suelo, en peso

D30: el diámetro por el cual pasa el 10% del suelo, en peso

El coeficiente de curvatura refleja la heterogeneidad de tamaños en la curva granulométrica y se define con la siguiente formula:

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

Al ser un material graduado se tendrá valores entre 1 y 3.

El módulo de finura del material está definido como:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados de los tamices serie Tayler}}{100}$$

2.4.2.2 Densidades aparentes

El peso de un volumen de cemento varía de acuerdo al grado de compacidad que presente, por dicha razón se debe conocer los valores de densidad suelta y compactada, los mismos que son importantes para la dosificación volumétrica de hormigones. (Luna Hermosa, 2014)

2.4.2.2.1 Densidad suelta

$$\gamma_s = \frac{P2 - P1}{V}$$

Donde:

γ_s : Densidad suelta (gr/cm³)

P_1 : Peso del recipiente vacío (gr)

P_2 : Peso del recipiente más el material suelto (gr)

V : Volumen del recipiente (cm³)

2.4.2.2 Densidad compactada

$$\gamma_c = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Donde:

γ_c : Densidad compactada (gr/cm³)

P_1 : Peso del recipiente vacío (gr)

P_2 : Peso del recipiente más el material compactado (gr)

V : Volumen del recipiente (cm³)

Es recomendado realizar dos veces por lo menos la determinación para sacar un promedio entre ellas.

2.4.2.3 Peso específico y absorción

El peso específico o densidad del agregado es el peso de las partículas sólidas sobre el volumen de las mismas.

La absorción es la capacidad que tiene un árido para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura. (Luna Hermosa, 2014)

Este ensayo esta descrito por la norma (NTE INEN 856, 2010).

$$\text{Peso del material seco} = P_5 = P_4 - P_3$$

$$\text{Peso específico} = \frac{P_5}{P_2 + P_{SSS} - P_1}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{P_5}{P_2 + P_5 - P_1}$$

$$\text{Densidad S.S.S.} = \frac{P_{SSS}}{P_2 + P_{SSS} - P_1}$$

Donde:

PSSS: Peso del material en estado S. S. S. (gr)

P1: Peso del picnómetro más agua y más el material S. S. S. (gr)

P2: Peso del picnómetro más agua (gr)

P3: Peso del recipiente vacío (gr)

P4: Peso del recipiente más el material seco (gr)

La absorción está definida por:

$$\text{Absorción del agua} = \frac{500 - P5}{P5} * 100$$

2.4.2.3 Abrasión

El ensayo se lo realiza a los agregados gruesos mediante la trituración mecánica de las rocas con el uso de una carga abrasiva compuesta por esferas de acero, con el fin de determinar el valor de abrasión o desgaste de los mismos con el uso de la Máquina de los Ángeles. Este ensayo está descrito en la (ASTM C131)

Consiste en pesar una muestra de árido grueso y este material ingresarlo a la máquina de los Ángeles junto con la carga abrasiva que son esferas de acero, primero se da un número de revoluciones y se toma el peso retenido en el Tamiz #12 y posteriormente se lo realiza para otro número de revoluciones.

- *El desgaste a la abrasión:*

$$V = \frac{A - B}{A} * 100$$

- *Coefficiente de uniformidad:*

$$U = \frac{A - B_{100 \text{ rev}}}{A - B_{500 \text{ rev}}}$$

Donde:

V: Valor de abrasión, en porcentaje.

A: Peso original de la muestra antes del ensayo

B: Peso de la muestra luego del tamizado, retenido sobre el No. 12

2.4.2.4 Colorimetría

El ensayo consiste en colocar una muestra de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio, agitarla y después de 24 horas comparar el color del líquido con el comparador de colores para determinar el nivel de impurezas contiene el agregado. El ensayo esta descrito en la (NTE INEN 855, 2010)

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Caracterización de los materiales

3.1.1.1 Cemento

3.1.1.2 Densidad real y aparente

Tabla3. 1 Densidad aparente del cemento

Densidad Aparente del cemento	Muestra	1	
	Molde N	5	
	Peso de molde	g	157,7
	Diámetro del molde	mm	54,79
	Altura del molde	cm	14,56
	Peso del molde + muestra suelta	g	503,5
			507,1
	Densidad Suelta	g/cm ³	1,01
			1,02
	Peso del molde + muestra compactada	g	602,5
593,3			
Densidad Compactada	g/cm ³	1,30	
		1,27	

Fuente: Germán Galarza

Tabla3. 2 Densidad real del cemento

Densidad Real del Cemento	Muestra		1	2
	Volumen Inicial	cm ³	0,8	0,8
	Peso Inicial	g	320	319,8
	Temperatura Inicial	C	23,5	22
	Volumen Final	cm ³	18	18,8
	Peso Final	g	370,3	374,4
	Temperatura Final	C	24	24
	Densidad Real	g/cm ³	2,92	3,03
	Promedio		2,98	

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.2 Agregado fino

3.1.1.2.1 Densidad aparente

Tabla3. 3 Densidad aparente del agregado fino

Densidad Aparente del agregado fino	Muestra	1	
	Molde N	1	
	Peso de molde	g	1897,8
	Diámetro del molde	cm	15,2
	Altura del molde	cm	15,4
	Peso del molde + muestra suelta	g	6356,6
			6380,5
	Densidad Suelta	g/cm3	1,60
			1,60
	Peso del molde + muestra compactada	g	6918,7
			6949,5
Densidad Compactada	g/cm3	1,80	
		1,81	

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.2.2 Granulometría

Tabla3. 4 Granulometría de agregado fino

Peso Inicial	1000	gr			
Tamiz N	Abertura	Peso Retenido	Peso retenido acumulado	% Peso retenido acumulado	%Pasa
	mm	gr	gr		
3/8"	9,525	0	0	0	100,00
4	4,75	1,2	1,2	0,12	99,88
8	2,36	251,3	252,5	25,29	74,71
16	1,18	257,2	509,7	51,05	48,95
30	0,6	166	675,7	67,68	32,32
50	0,355	111	786,7	78,80	21,20
100	0,15	77,4	864,1	86,55	13,45
200	0,075	48,4	912,5	91,40	8,60
Bandeja		85,9	998,4	100,00	0
	Total	998,4			

Módulo de Finura	3,09
D60	1,70
D30	0,50
D10	0,08
Coefficiente de uniformidad	3.40
Coefficiente de curvatura	1,96

Fuente: Germán Galarza

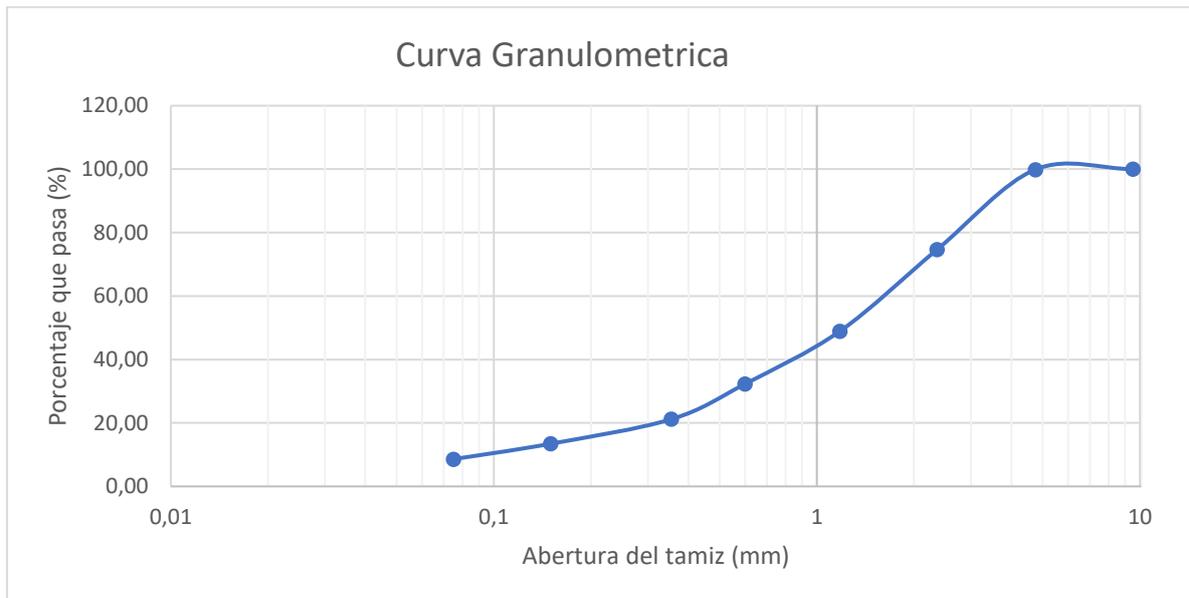


Figura 3. 1 Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.2.3 Peso específico y absorción

Tabla3. 5 Peso específico y absorción del agregado fino

Peso específico y absorción	
Peso del material SSS	210
Peso del picnómetro + agua (P2)	658,394
Peso picnómetro + agua + material sss (P1)	788,304
Peso del material seco + recipiente (P4)	394,4
Peso del Recipiente (P3)	189,915
Peso de material seco (P5)	204,485
Peso específico	2,55
Densidad S.S.S.	2,62
Absorción de agua	2,70
Peso específico aparente	2,74

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.2.3 Colorimetría



Figura 3. 2 Ensayo de colorimetría aplicado al agregado fino

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.3 Agregado grueso

3.1.1.3.1 Densidad aparente

Tabla3. 6 Densidad aparente del agregado grueso

Densidad Aparente del agregado grueso	Muestra	1	
	Molde N	1	
	Peso de molde	g	5021,1
	Diámetro del molde	cm	20,24
	Altura del molde	cm	29,2
	Peso del molde + muestra suelta	g	16444,2
			16493,9
	Densidad Suelta	g/cm3	1,22
			1,22
	Peso del molde + muestra compactada	g	17537,7
	17560		
Densidad Compactada	g/cm3	1,33	
		1,33	

Fuente: Germán Galarza

3.1.1.3.2 Granulometría

Tabla 3. 7 Granulometría del agregado grueso

Peso Inicial	10000,5	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	1322,3	1322,3	13,28	86,72
3/8"	9,5	6438,5	7760,8	77,97	22,03
4	4,75	1763,8	9524,6	95,69	4,31
8	2,36	114,4	9639	96,83	3,17
Bandeja		315,1	9954,1	100,00	0
	Total	9954,1			

Módulo de Finura	6.8
D60	10,60
D30	10,20
D10	6,50
Coefficiente de uniformidad	1,63
Coefficiente de curvatura	1,51

Fuente: Germán Galarza

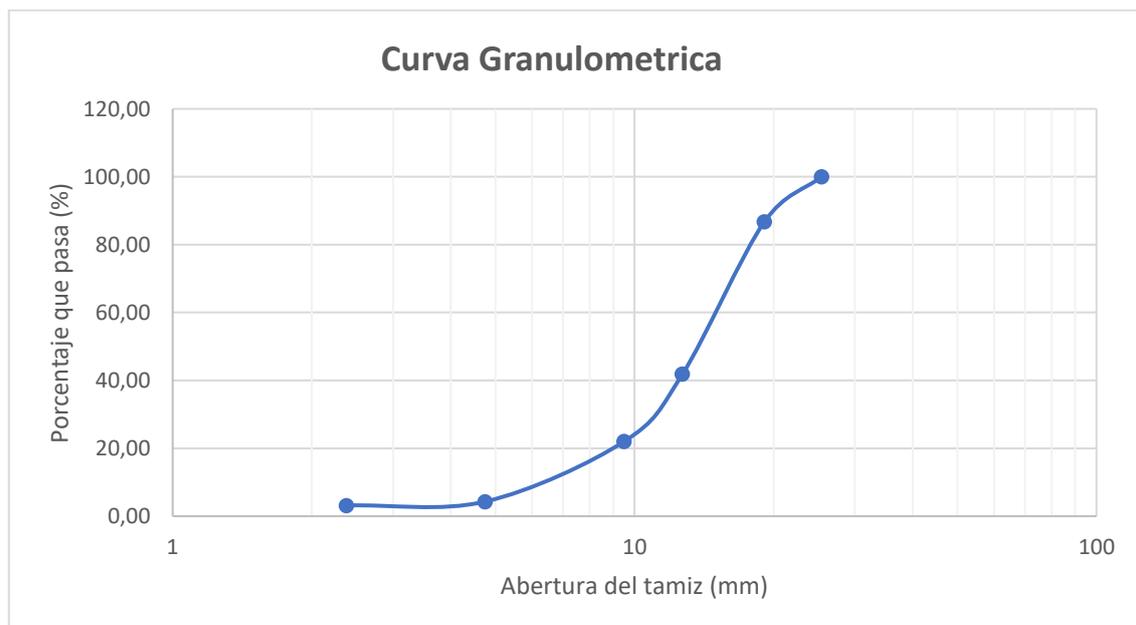


Figura 3. 3 Curva granulométrica del agregado grueso

3.1.1.3.3 Peso específico y absorción

Tabla3. 8 Peso específico y absorción del agregado fino

Peso específico y absorción	
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 + Recipiente (Pr+m)	6207,1
Peso del Recipiente (Pr)	1105,3
P3	5101,8
Peso específico	2,37
Densidad S.S.S.	2,45
Absorción de agua	3,19
Peso específico aparente	2,57

Fuente: Germán Galarza

Tabla3. 9 Abrasión agregado fino

Gradación		B	
Numero de revoluciones totales			500
Peso Inicial		gr	5001,3
Peso Retenido en el Tamiz # 12		gr	4747,6
100 revoluciones			
Peso Retenido en el Tamiz # 12		gr	3856,4
400 revoluciones			
Perdida 100 rev (%)	5,07		
Perdida 500 rev (%)	22,89		
Coficiente de uniformidad	0,22		

Fuente: Germán Galarza

3.1.2 Dosificación para cilindros de hormigón

Tabla3. 10 Resumen de ensayos realizados al cemento, agregado fino y agregado grueso

Ensayo	CEMENTO GU	
DENSIDAD REAL	Densidad real (gr/cm ³)	2,98
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)	1,02
	Densidad compactada (gr/cm ³)	1,30
AGREGADO FINO (ARENA)		
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)	1,60
	Densidad compactada (gr/cm ³)	1,81
GRANULOMETRÍA	Módulo de Finura	3,09
	Coficiente de uniformidad	3,40
	Coficiente de curvatura	1,96
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	Peso específico (gr/cm ³)	2,55
	Densidad S.S.S. (gr/cm ³)	2,62
	Absorción de agua	2,70
	Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,74
AGREGADO GRUESO (RIPIO)		
DENSIDAD APARENTE	Densidad suelta (gr/cm ³)	1,22
	Densidad compactada (gr/cm ³)	1,33
GRANULOMETRÍA	Módulo de Finura	6.8
	Coficiente de uniformidad	1,63
	Coficiente de curvatura	1,51
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	Peso específico (gr/cm ³)	2,37
	Densidad S.S.S. (gr/cm ³)	2,45
	Absorción de agua	3,19
	Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,57
ABRASIÓN	Perdida 100 revoluciones (%)	5,07
	Perdida 500 revoluciones (%)	22,89
	Coficiente de uniformidad	0,22

Fuente: Germán Galarza

Tabla3. 11 Parámetros asumidos para la dosificación de cilindros de hormigón

	Parámetro	Observación	Valor	Unidad
1	Asentamiento	Construcción	07--10	cm
2	Tamaño máximo del agregado	3/4"	19,1	mm
3	Cantidad aproximada de agua	Sin inclusión de aire	203	litros/m ³ de hormigón
	Porcentaje a aire atrapado	Sin inclusión de aire	2	%
4	Relación agua - Cemento	Por resistencia a la compresión	0,623	para 1kg de cemento
5	Resistencia a la compresión	Sin inclusión de aire	210	kg/cm ²
6	Volumen aparente del agregado grueso	MF y T. máx. agregado	0,59	m ³
7	Factor de cemento	-	325,84	kg/m ³
8	Volumen real del cemento	-	109,34	dm ³ /m ³
9	Volumen real SSS agregado grueso	-	320,79	dm ³ /m ³

Tabla3. 12 Dosificación para cilindros de hormigón con cemento de TIPO I

Dosificación en peso			
Cemento	Agua	Arena	Ripio
1,53	1,00	3,36	3,11

Fuente: Germán Galarza



Figura 3. 4 Dosificación para cilindros de hormigón

3.1.2 Compresión cubica de morteros de cemento

Para la compresión de cubos se usó moldes de 5cm de arista, fueron ensayados a los 7, 28 y 56 días y se utilizó 6 probetas para cada edad.

Tabla3. 13 Resistencia a la compresión de cubos de mortero a los 7,28 y 56 días.

N	Descripción	A	B	C	Peso	Carga	Resistencia
		cm	cm	cm	g	KN	kg/cm2
1	HC-GU (7días)	5,01	4,99	5,01	271,60	51,38	210
2	HC-GU (7días)	5,01	4,95	5,01	270,10	51,32	211
3	HC-GU (7días)	5,01	4,99	5,00	270,80	42,10	172
4	HC-GU (7días)	5,01	4,97	5,00	271,20	52,76	216
5	HC-GU (7días)	5,01	4,98	5,01	271,60	55,98	229
6	HC-GU (7días)	4,99	4,97	5,02	270,50	56,25	231

N	Descripción	A	B	C	Peso	Carga	Resistencia
		cm	cm	cm	g	KN	kg/cm ²
1	HC-GU (28días)	5,02	5,04	5,00	272,00	63,25	255
2	HC-GU (28días)	5,01	4,98	5,01	273,20	72,51	296
3	HC-GU (28días)	5,06	5,01	5,02	272,50	57,89	233
4	HC-GU (28días)	5,02	5,09	5,06	272,60	58,96	235
5	HC-GU (28días)	5,01	4,99	5,01	272,60	62,50	255
6	HC-GU (28días)	5,03	5,00	5,02	269,50	58,80	238

N	Descripción	A	B	C	Peso	Carga	Resistencia
		cm	cm	cm	g	KN	kg/cm ²
1	HC-GU (56días)	5,02	4,93	5,02	273,30	68,50	282
2	HC-GU (56días)	5,01	4,93	5,00	274,20	75,37	311
3	HC-GU (56días)	5,20	4,97	5,00	271,80	66,24	261
4	HC-GU (56días)	5,02	4,99	4,95	270,90	72,74	296
5	HC-GU (56días)	4,99	5,01	4,98	272,60	67,16	274
6	HC-GU (56días)	5,02	5,00	4,95	272,90	78,50	319

Fuente: Germán Galarza

Los cubos a los 7 días tuvieron una resistencia a la compresión de alrededor de 211kg/cm², a los 28 días de 252 kg/cm² y los de 56 días de 291 kg/cm²; con lo cual se realizó la curva de endurecimiento:

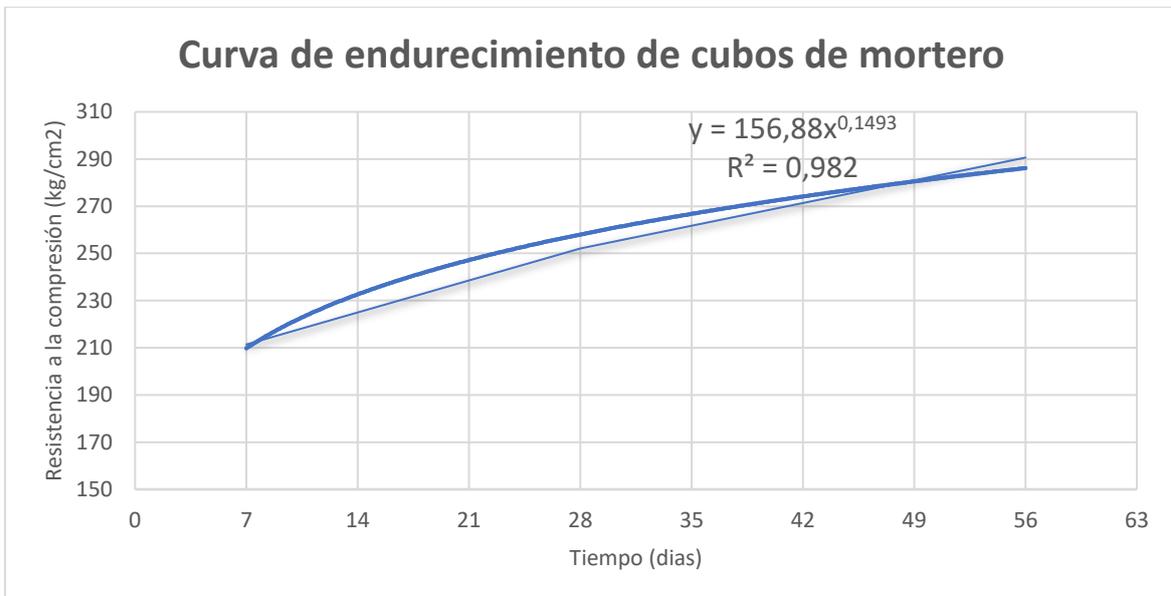


Figura 3. 5 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a compresión de cubos de mortero

Fuente: Germán Galarza

3.1.3 Compresión de cilindros de hormigón

Se ensayo 3 probetas cilíndricas de 100mm de diámetro y 200mm de altura para cada edad.

Tabla3. 14 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 7,28 y 56 días.

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Tipo
		mm	mm	g	KN	kg/cm2	Falla
1	HC-GU (7días)	101,30	200,44	3613,1	141,9	176,1	5
2	HC-GU (7días)	101,27	201,48	3632,3	143,7	181,9	5
3	HC-GU (7días)	100,97	200,85	3641,8	140,5	178,9	5

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Tipo
		mm	mm	g	KN	kg/cm2	Falla
1	HC-GU (28días)	101,19	201,62	3656,8	201,7	255,7	5
2	HC-GU (28días)	102,49	200,93	3695,2	208,6	257,9	5
3	HC-GU (28días)	102,09	202,30	3780,2	208,3	259,5	5

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Tipo
		mm	mm	g	KN	kg/cm2	Falla
1	HC-GU (56días)	101,54	201,37	3673,6	236,1	297,3	5
2	HC-GU (56días)	102,08	200,56	3696,1	228	284,1	5
3	HC-GU (56días)	102,00	198,66	3678,6	230,7	287,9	5

Fuente: Germán Galarza

Tuvieron una falla tipo 5 en todas las probetas, es decir fracturas en los lados en los extremos superiores e inferiores.



Figura 3. 6 Cilindros de hormigón ensayados a compresión

Fuente: Germán Galarza

La resistencia de los 7 días fue de 180kg/cm², la de los 28días de 257kg/cm² y a la de los 56días de 288kg/cm²; con lo cual se realizó la curva de endurecimiento:

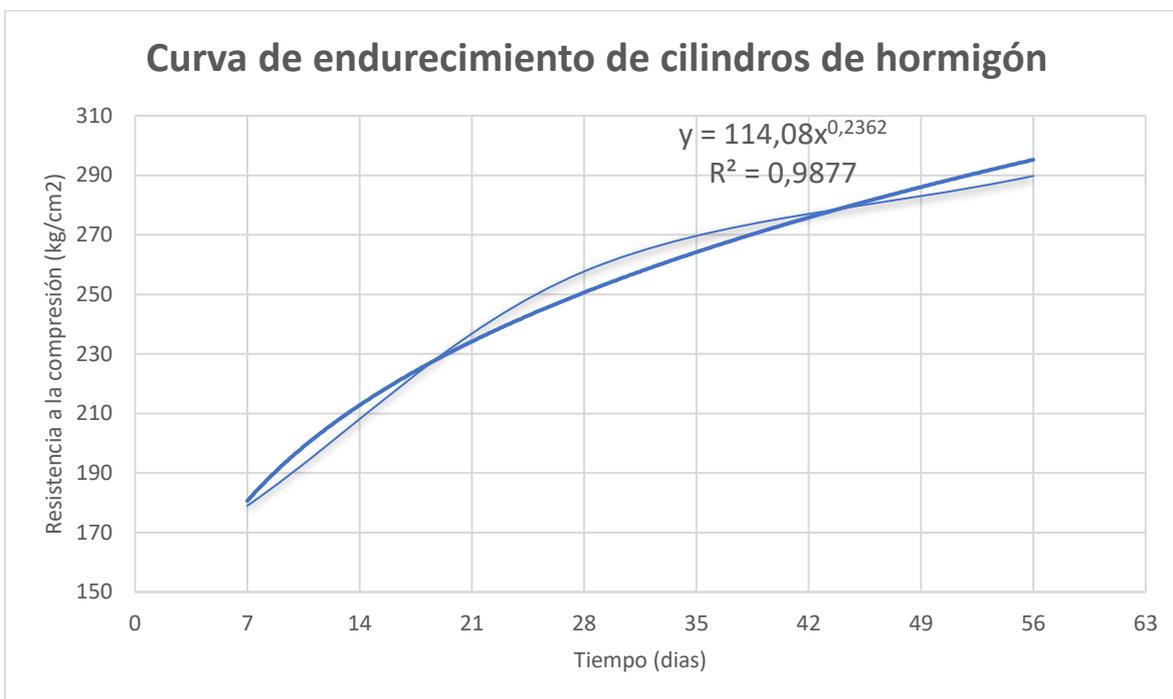


Figura 3. 7 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a compresión de cilindros de hormigón

Fuente: Germán Galarza

3.1.4 Tracción indirecta de cilindros de hormigón

Para tracción indirecta se ensayó 2 probetas cilíndricas para cada edad de análisis.

Tabla3. 15 Tracción indirecta de cilindros de hormigón a los 7,28 y 56 días.

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Resistencia
		mm	mm	g	KN	Mpa	kg/cm2
1	HC-GU (7días)	102,08	200,72	3697,4	71,4	2,22	22,62
2	HC-GU (7días)	101,80	200,16	3649,5	60,4	1,89	19,24

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Resistencia
		mm	mm	g	KN	Mpa	kg/cm2
1	HC-GU (28días)	101,26	200,00	3646,2	81,4	2,56	26,09
2	HC-GU (28días)	101,36	200,70	3712	78,5	2,46	25,05

N	Descripción	Diámetro	Altura	Peso	Carga	Resistencia	Resistencia
		mm	mm	g	KN	Mpa	kg/cm2
1	HC-GU (56días)	102,21	201,41	3697,4	92,9	2,87	29,30
2	HC-GU (56días)	101,89	203,53	3737,12	101	3,10	31,62

Fuente: Germán Galarza



Figura 3. 8 Cilindro ensayado a tracción indirecta

Fuente: Germán Galarza

La tracción de los cilindros de los 7 días fue de 21kg/cm², la de los 28días de 26kg/cm² y a la de los 56días de 30kg/cm²; con lo cual se realizó la curva de endurecimiento:

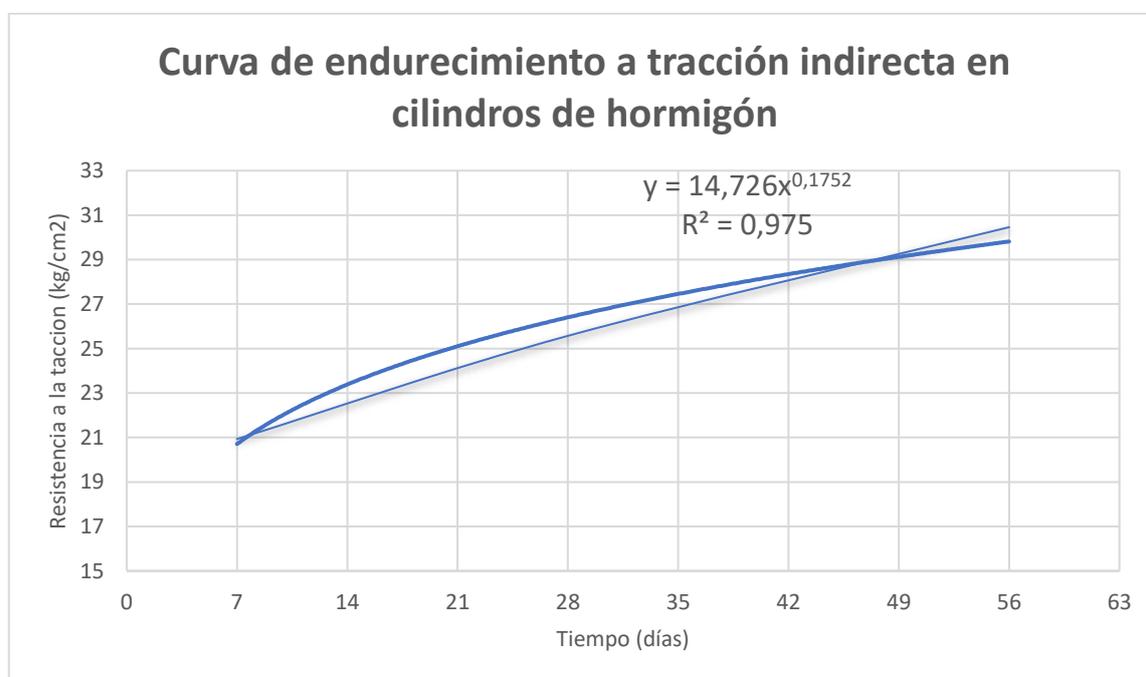


Figura 3. 9 Curva de endurecimiento en base a la resistencia a tracción indirecta de cilindros de hormigón

Fuente: Germán Galarza

3.1.5 Permeabilidad en probetas cilíndricas de hormigón

Para este ensayo se utilizó una probeta para cada edad de análisis, mediante un sistema de tuberías a presión y con un manómetro se controló la presión que llegaba al cilindro, después de 72 horas sin que exista fugas se parte al cilindro en la mitad y se toma la longitud de penetración del agua.

Tabla3. 16 Profundidad de penetración del agua a los 7,28 y 56días

N	Descripción	Penetración
		mm
1	HC-GU (7días)	75,00
2	HC-GU (28días)	50,00
3	HC-GU (56días)	41,00

Fuente: Germán Galarza



Figura 3. 10 Penetración de agua en la probeta de hormigón

Fuente: Germán Galarza

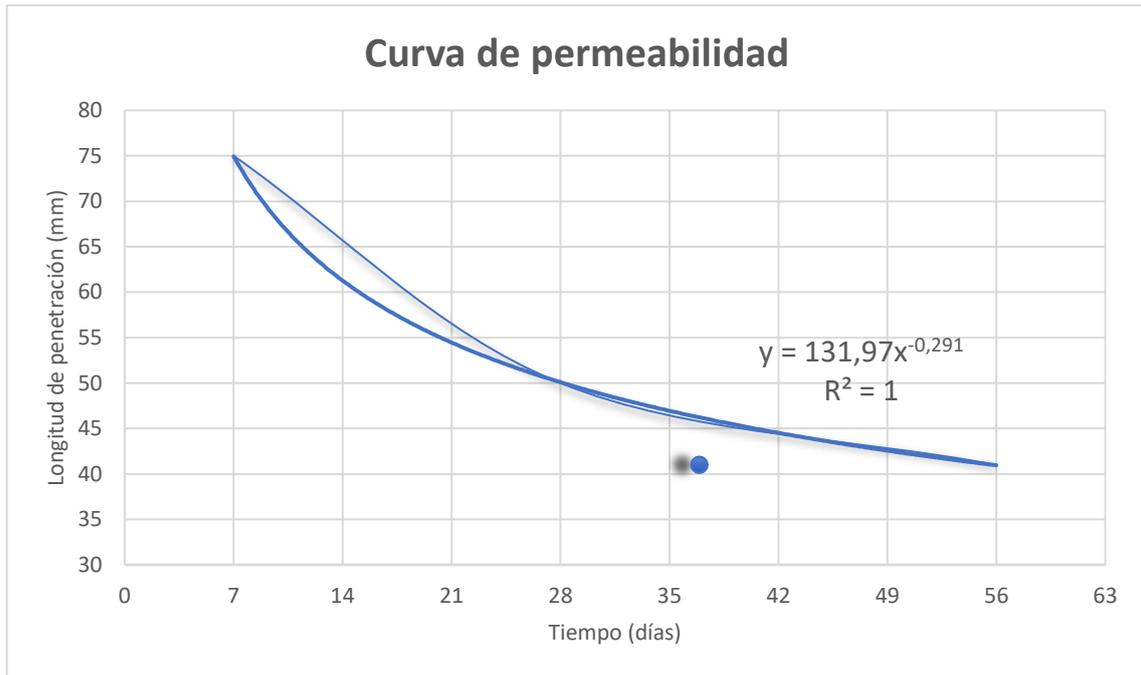


Figura 3. 11 Curva de permeabilidad del hormigón

Fuente: Germán Galarza

3.1.5 Difracción Rx

Para realizar este ensayo se debía parar la hidratación del cemento con el fin de tener muestras totalmente secas y trituradas a las distintas edades de análisis.

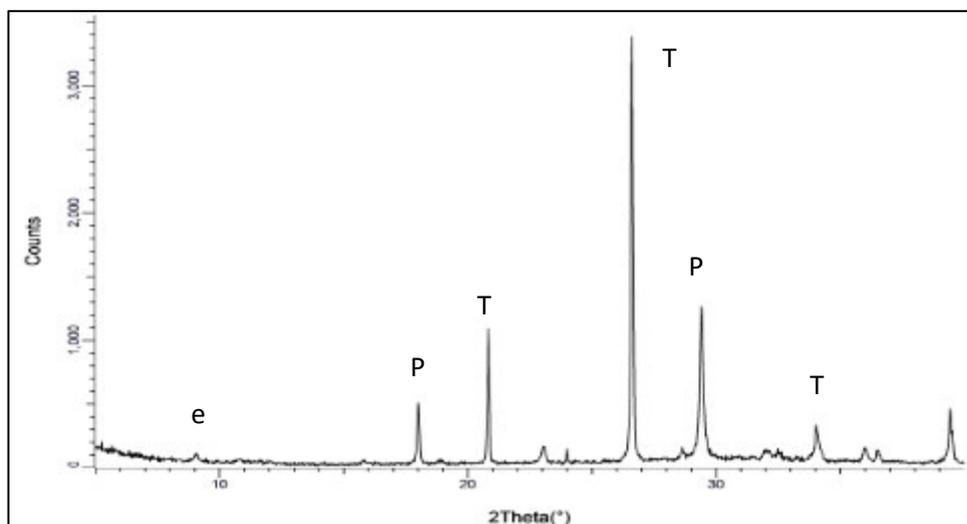


Figura 3. 12 Mineralogía presente a los 7 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)

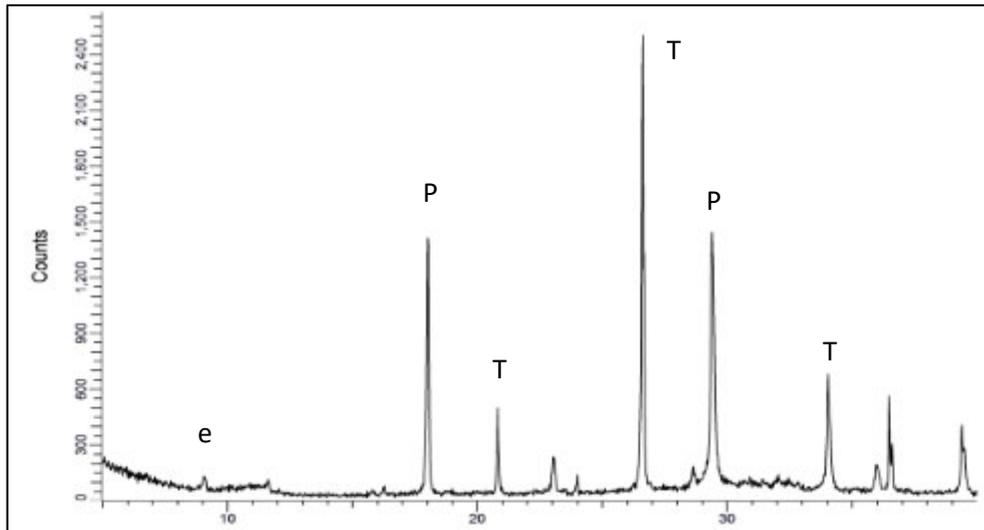


Figura 3. 13 Mineralogía presente a los 28 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)

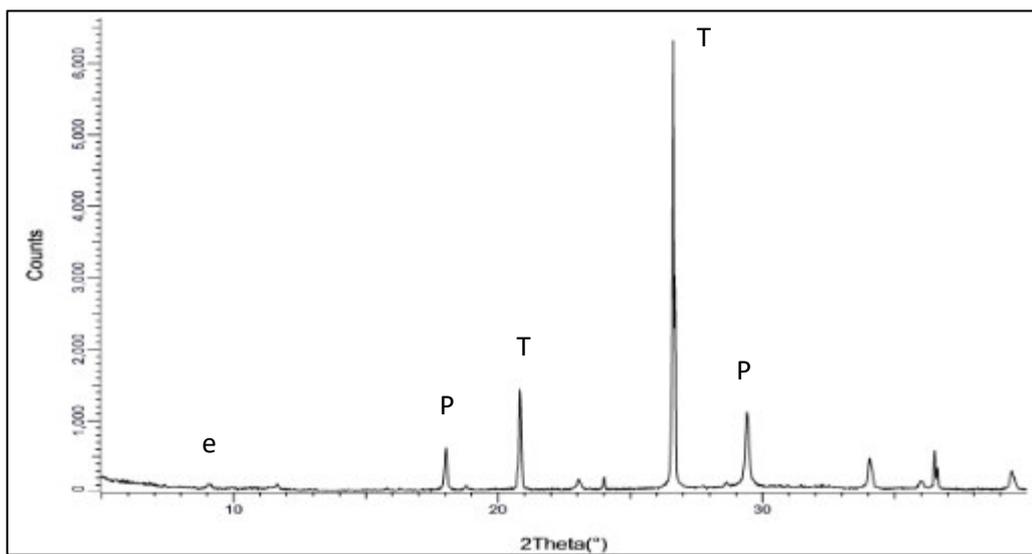


Figura 3. 14 Mineralogía presente a los 56 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)

Mineralogía presente a los 7,28 y 56 días de hidratación

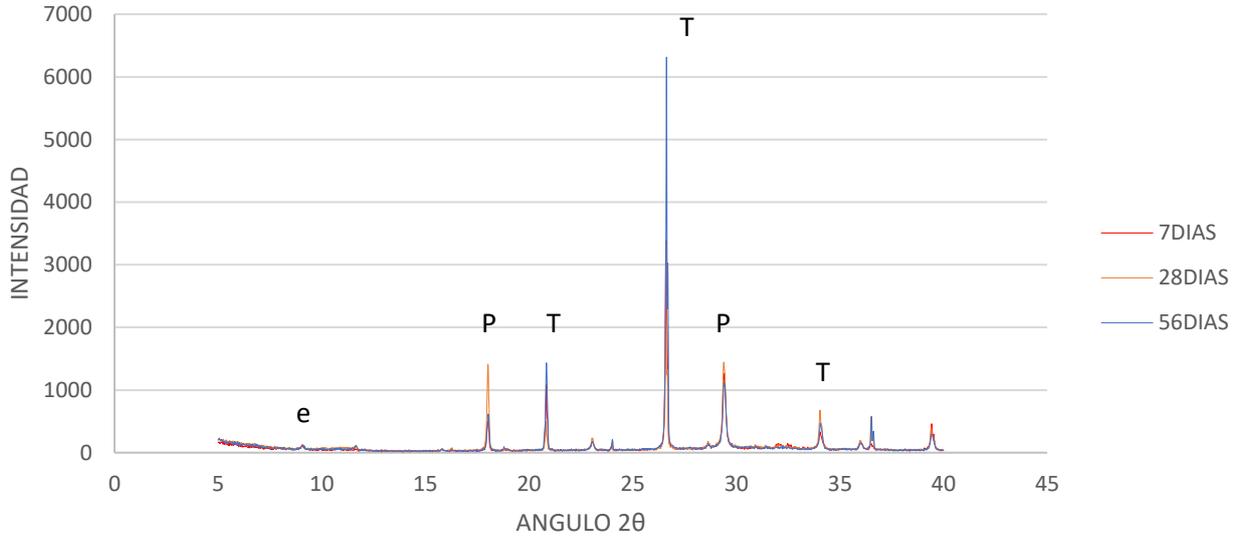


Figura 3. 15 Mineralogía presente a los 7,28 y 56 días de hidratación (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)

Fuente: Germán Galarza

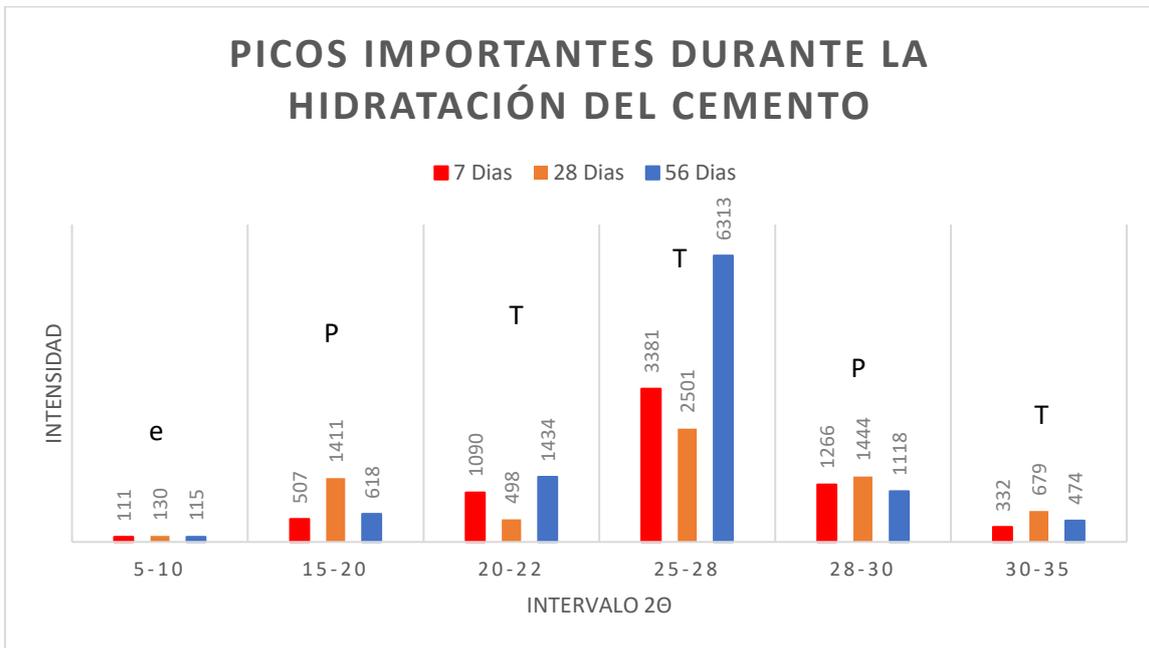


Figura 3. 16 Picos importantes durante la hidratación del cemento que relaciona el intervalo 2theta con la intensidad respecto a las edades de análisis (e: etringita, p: portlandita y T: tobermorita)

Fuente: Germán Galarza

3.2 Conclusiones

- ❖ La dosificación planteada para los cilindros de hormigón en la tabla 3.12 tenía como fin el obtener una resistencia de 210 kg/cm², sin embargo, la resistencia que se obtuvo en los ensayos es de 291 kg/cm² por lo que se obtuvo un incremento del 38%.
- ❖ Los cilindros de hormigón se realizaron para un valor teórico a tracción indirecta de 21 kg/cm², pero al realizar el ensayo se obtuvo un valor máximo de 29 kg/cm² por lo cual aumentó en un 38% del valor inicial.
- ❖ Luego de haber realizado los ensayos a compresión de los cubos de mortero y cilindros de hormigón a los 7,28 y 56 días, se puede observar en la figura 3.5 y 3.6 la curva de endurecimiento, la misma que es polinómica y va aumentando progresivamente respecto al tiempo de curado, es decir cumple normalmente con la resistencia a compresión, con un valor máximo de 291 kg/cm² para cilindros y de 288 kg/cm² para cubos a los 56 días.
- ❖ La permeabilidad del hormigón disminuye de acuerdo al tiempo; ya que al realizar el ensayo de penetración del agua en la probeta cilíndrica mientras más edad tiene el hormigón, el agua que ingresa es menor debido a que se van sellando los poros y esto no permite el paso del agua con normalidad.
- ❖ En los primeros días de hidratación existen compuestos sin reaccionar hasta que a los siete días se puede ver claramente como los minerales anhidros empiezan a adherirse formando principalmente tobermorita gel, la cual se encarga del correcto desarrollo de las resistencias.
- ❖ En la figura 3.15 se puede observar comparativamente el comportamiento de las pastas de cemento a las edades de 7, 28 y 56 días de hidratación, a medida de que pasa el tiempo de hidratación aumenta los picos principales de la difracción por RX, en especial el más grande que es la tobermorita, si bien es cierto que en la muestra de 28 días la tobermorita es menor que a los 7 días pero de los 7 a 56 días existe una tendencia más clara de la diferencia de este pico que refleja el correcto comportamiento de la hidratación por la presencia de mayor cantidad de tobermorita que es el encargado de la adherencia de la mezcla y por ende de la resistencia del hormigón.

- ❖ El primer pico que aparece alrededor del intervalo de $2\theta = 5$ a 10 es la etringita, el mismo que es relativamente constante y no hay un aumento considerable, lo que es correcto debido a que no existe aumento del agrietamiento de las muestras.
- ❖ En la Figura 3.16 se observa en el rango $2\theta = 15$ a 20 la presencia de portlandita y de 25 a 28 tobermorita, que se forman por la hidratación de la alita, en el pico de 15 a 20 se ve que la hidratación de la alita es más rápida y que en el pico de 25 a 28 tenemos la tobermorita por la hidratación de la belita que se da de forma más lenta.

3.3 Recomendaciones

- ❖ Al momento de detener de la hidratación del cemento, se debe utilizar los mismos químicos para todas las edades de análisis, ya que puede ser que unos funcionen mejor que otros y así puede afectar los resultados.
- ❖ Los instrumentos de medición o máquinas de ensayos deben estar correctamente calibrados y en caso de que no sea así, se deberá tomar en cuenta las curvas de calibración.
- ❖ El ensayo de SEM sería una gran alternativa que ayudarían complementar este estudio ya que este ensayo, se logra visualizar microscópicamente los componentes del cemento durante la hidratación.
- ❖ Se recomienda tener la misma mezcla para todas las probetas de análisis de las distintas edades ya que así se partirá de condiciones iniciales iguales.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI-318-19. (2019). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*.
- ASTM C 496 – 96. (s.f.). *Método de ensayo normalizado para determinar la tracción por hendimiento de las probetas cilíndricas de concreto*.
- ASTM C119. (s.f.). *Terminología estándar relativa a la dimensión de la piedra*.
- ASTM C131. (s.f.). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles*.

- ASTM C778-02. (s.f.). *Especificación para arena estandar.*
- Calleja, J. (2001). *La Portlandita -hidróxido de calcio- y la Tobermorita -silicatos de calcio hidratados- de la pasta de cemento.*
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- CEMEX. (2019). Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple,caracter%C3%ADstica%20mec%C3%A1nica%20principal%20del%20concreto.&text=Un%20resultado%20de%20prueb>
- Chipatecua, L. (2020). *360 En Concreto.* Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191cu193l-es-la-composici211n-qu205mica-del-cemento-y-c211mo-afecta-sus-propiedades>
- Elisa V. Pannunzio-Miner, M. d. (2003). *Análisis Cuantitativo de las Fases Presentes en Cemento Portland y Clinker por Medio de Análisis Rietveld de Patrones de Difracción de Rayos X de Polvos.*
- Luna Hermosa, G. V. (2014). *Estudio del Hormigon.* Quito: Edicumbre.
- NTE INEN 1 573. (2010). *Hormigon de cemento hidraulico. Determinacion de la resistencia a a la compresion de especimenes cilindricos de hormigon de cemento hidraulico.*
- NTE INEN 151. (2010). *Cemento hidraulico,Definiciones de terminos.*
- NTE INEN 152. (2012). *Cemento Portland, requisitos.*
- NTE INEN 155. (2009). *Cemento hidraulico, mezclado de pastas y morteros de consistencia plastica.*
- NTE INEN 156. (2009). *Cemento Hidraulico. Determinacion de la densidad.*
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigon de cemento hidraulico. Determinacion de la resistencia a la compresion de especimenes cilindricos de hormigon de cemento hidraulico.*

- NTE INEN 1576. (2011). *Hormigon de cemento hidraulico: elaboracion y curado en obra de especimenes para ensayos.*
- NTE INEN 1578. (2010). *Hormigon de cemento hidraulico. Determinacion del asentamiento.*
- NTE INEN 2502. (2009). *Cemento Hidraulico. Determinacion del flujo en moerteros.*
- NTE INEN 3124. (2017). *Hormigon. Elaboracion y curado de especimenes de ensayo en el laboratorio.*
- NTE INEN 488. (2009). *Cemento hidraulico. Determinacion de la resistencia a la compresion de morteros en cubos de 50mm de arista.*
- NTE INEN 696. (2011). *Aridos. Analisis granulometrico en los aridos finos y gruesos.*
- NTE INEN 855. (2010). *Aridos. Determiacion de las impurezas organicas en el arido fino para hormigon.*
- NTE INEN 856. (2010). *Aridos. Determinacion de la densidad, densidad relativa y absorcion del arido fino.*
- RILEM TC-238 SCM. (2018). *Recommendation on hydration stoppage by solvent exchange for the study of hydrate assemblages.*
- Rios, F. D. (06 de 11 de 2020). *La reacción de hidratación del cemento [webinar].* Panama.
- UNE-EN 12390-8. (2004). *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.*
- V.S. Ramachandran, R. M. (2002). *HANDBOOK OF THERMAL ANALYSIS OF CONSTRUCTION MATERIALES.* Norwich, New York, U.S.A.

5 ANEXOS

5.1 Ensayos de Áridos



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0277-1
Hoja 01 de 01

Guaya, 3 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE
Razón Social: GERMAN EDUARDO GALARZA CASTRO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0996950007

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ---
Contratista: ---
Facilitador: ---
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.6	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
015-I-01	arena	2.65	2.62	2.74	2.70
015-I-02	ripio	2.36	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 items 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

656-33-016-1

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



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0373-I
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998850007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA

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 ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
015-I-001	ÁRIDO FINO	1600	37	1802	29
015-I-002	ÁRIDO GRUESO	1219	48	1333	44

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

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-364-1
Hoja 01 de 01

Quito, 12 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998650007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO
PROCEDECENCIA: 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 items 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



ABR22-005-I

Tel.: 2976300
Ext.: 1609



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-367-I
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 099950007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA

Contratante:

Contratista:

Fiscalizador:

MUESTRA: ARIDO GRUESO

PROCEDENCIA: HCLCM

FECHA DE ENSAYO: 2022-04-19

NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		10000.50	Número de Tamaño		67
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	QUE PASA (%)
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	1322.3	13.3	13.3	86.7
3/8"	9.50	6438.5	64.7	78.0	22.0
No. 4	4.75	1763.8	17.7	95.7	4.3
No. 5	2.36	114.4	1.1	96.8	3.2
Bandaja	-	315.1	3.2	100.0	0.0
	TOTAL	9954.1	M. FINURA	6.8	

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 items 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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0370-1
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0969950007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: ÁRDO 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	1.2	0.1	0.1	99.9
No. 8	2.350	251.3	25.2	25.3	74.7
No. 16	1.180	257.2	25.8	51.1	48.9
No. 30	0.600	186.0	18.6	67.7	32.3
No. 50	0.300	111.0	11.1	78.8	21.2
No. 100	0.150	77.4	7.8	86.5	13.5
No. 200	0.075	48.4	4.8	91.4	8.6
BADEJA	-	60.9	6.0	100.0	0.0
TOTAL		998.4			

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 items 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

QR-F-02-0201



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0419-I
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998650207

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ---
Contratista: ---
Fiscalizador: ---
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO FINO
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-20
NORMA: ASTM C40



OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items 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.

M^{te}. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

5.2 Ensayos del Cemento



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



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0376 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 19 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: GALARZA CASTRO GERMÁN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998850007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLDIM
TIPO DE CEMENTO: GU
FECHA DE ENSAYO: 2022-04-21
NORMA: ***

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm ³	DENSIDAD COMPACTADA g/cm ³
21-015-I-1	1	1,013	1,282

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



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0376-1
Hoja 01 de 01

Quito, 19 de mayo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998690007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

FECHA DE ENSAYO: 2022-04-21

NORMA: ASTM C188

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

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volumen Inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volumen Final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
1	0,3	320	16,0	379,3	0,5	2,92
2	0,3	319,9	16,8	374,4	2	3,03
PROMEDIO						2,98

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

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel: 2976300
Ext: 1609

5.3 Ensayos de cubos mortero



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



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0408 - 1
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998850007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA: ASTM C109

Nº	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm ²)	ESFUERZO (MPa)
1	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	271,8	5,24	51,38	210	20,0
2	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	276,1	5,23	51,32	211	20,7
3	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	278,9	4,29	42,10	172	16,8
4	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	271,2	5,38	52,76	216	21,2
5	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	271,6	5,71	56,96	229	22,4
6	2022-07-04	HC-GU (7días)	2022-07-11	7	275,5	5,74	56,25	233	22,9
7	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	272	6,45	63,25	255	25,0
8	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	273,2	7,38	72,51	296	29,1
9	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	272,5	5,90	57,83	233	22,8
10	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	272,6	6,00	58,86	235	23,0
11	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	272,6	6,37	62,60	255	25,0
12	2022-05-23	HC-GU (28días)	2022-06-20	28	269,5	6,00	58,80	235	23,4
13	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	273,3	6,90	68,50	282	27,7
14	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	274,2	7,69	75,37	311	30,5
15	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	271,6	6,75	66,24	271	26,5
16	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	270,9	7,42	72,74	290	28,9
17	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	272,6	6,85	67,16	274	26,8
18	2022-05-19	HC-GU (56días)	2022-07-14	56	272,9	8,00	78,90	319	31,3

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

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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

5.4 Ensayos de cilindros de hormigón



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



COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

RF: No. 22-04114
Hoja 01 de 01

Quito, 18 de agosto de 2022

DATOS DEL CUENTE

Razón social: GALAXIA CASTRO BIRMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 098830007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA

Contratante: ---

Contratista: ---

Facilitador: ---

ELEMENTO: ---

NORMA: ASTM C 490 90N 2004

Identificación	Descripción	Fecha de fábrica	Fecha de rotura	Edad (días)	Dímetro (mm)	Longitud (mm)	Peso específico (kg/m ³)	Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Defectos
HC-GU (4)	Cilindro 1	2022-07-20	2022-07-28	8	100	200	2262	71370	2.25	A
HC-GU (2)	Cilindro 2	2022-07-20	2022-07-28	8	102	200	2244	60410	1.50	A
HC-GU (6)	Cilindro 3	2022-06-15	2022-07-13	28	101	200	2264	81370	2.59	A
HC-GU (7)	Cilindro 4	2022-06-15	2022-07-13	28	101	200	2308	76470	2.48	A
HC-GU (8)	Cilindro 5	2022-06-15	2022-08-10	86	100	202	2229	90880	2.89	A
HC-GU (9)	Cilindro 6	2022-06-15	2022-08-10	86	100	204	2242	100960	3.12	A

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

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, descripción) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se realizaron. La descripción de defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C490. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

RP: No. 22 - 04101
Vers. 01 de 01

Guía, 19 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998530027

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE LEO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA.
Contratante: ---
Contratista: ---
Finalidad: ---
ELEMENTO: ---
NORMA: ASTM C39

Nº	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO + ESPECÍMENO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TPC DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											MPa	f (MPa)
1	HC-GU (18mm)	2022-07-20	2022-07-20	0	101.25	8082	5380	140.0	TPC-3	A	17.6	6.11
2	HC-GU (18mm)	2022-07-20	2022-07-20	0	101.25	8082	2380	142.0	TPC-3	A	17.7	6.11
3	HC-GU (18mm)	2022-07-20	2022-07-20	0	101.25	8082	2300	136.1	TPC-3	A	17.4	6.11
4	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-07-15	28	101.25	8082	2280	200.0	TPC-5	A	24.3	6.11
5	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-07-15	28	102.39	8332	2230	206.9	TPC-5	A	20.1	6.11
6	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-07-15	28	102.39	8332	2260	206.9	TPC-5	A	20.2	6.11
7	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-08-15	00	101.50	8091	2250	224.4	TPC-5	A	20.3	6.11
8	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-08-15	00	102.39	8332	2250	228.3	TPC-5	A	22.7	6.11
9	HC-GU (20mm)	2022-08-15	2022-08-15	00	102.39	8332	2270	229.0	TPC-5	A	20.0	6.11



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = HUECO; B = BUCALIZADO; C = FURCADURA; D = FURCADURA PROYECTIVISTA; E = OTRA.

OBSERVACIONES: Todos los datos del tipo de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que LEMSUR no asume responsabilidad por los resultados reportados en el presente informe correspondiendo únicamente a los datos consignados en las condiciones en que se realizaron.

El presente informe es una copia de los resultados de los ensayos.

El tipo de falla y defectos corresponden a lo especificado en la norma ASTM C39.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni pasarse al total sin la autorización del LEMSUR.

ING. ANDRÉS VELASCO
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0417 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de agosto de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: GALARZA CASTRO GERMAN EDUARDO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0998850007

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO DE USO COMÚN DE UNA MARCA DE CEMENTO ECUATORIANA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA: UNE EN 12390-5

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN DE APLICACIÓN DE AGUA	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN MÁXIMA (mm)	FILTRACIONES DE AGUA
1	HC-GU (7 días)	2022-06-06	Prueba cilíndrica	Paralela	75,0	No
1	HC-GU (28 días)	2022-07-13	Prueba cilíndrica	Paralela	90,0	No
2	HC-GU (56 días)	2022-08-06	Prueba cilíndrica	Paralela	41,0	No

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
Los ensayos fueron ejecutados en probetas cilíndricas de dimensiones (10 x 20) cm.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

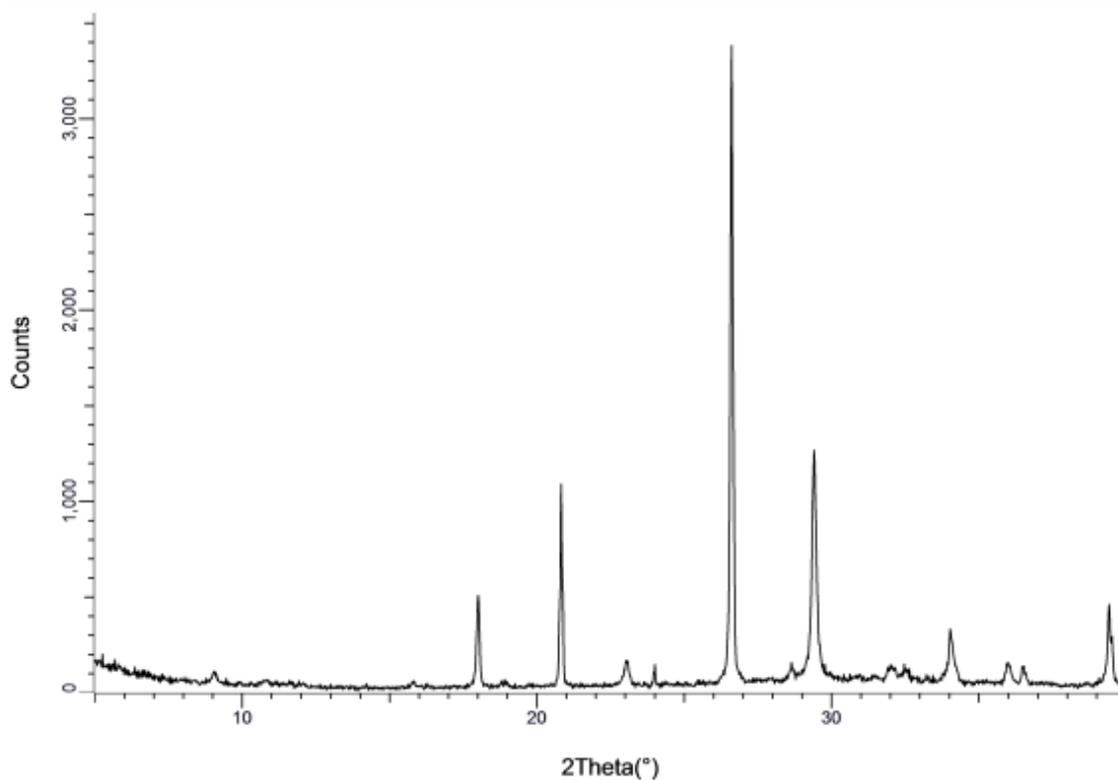

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

5.5 Ensayos de difracción de Rx a los 7 días

(783) Coupled TwoTheta/Theta 11:35:25 AMLYNXEYE_XE_T (ID mode): PSD counter

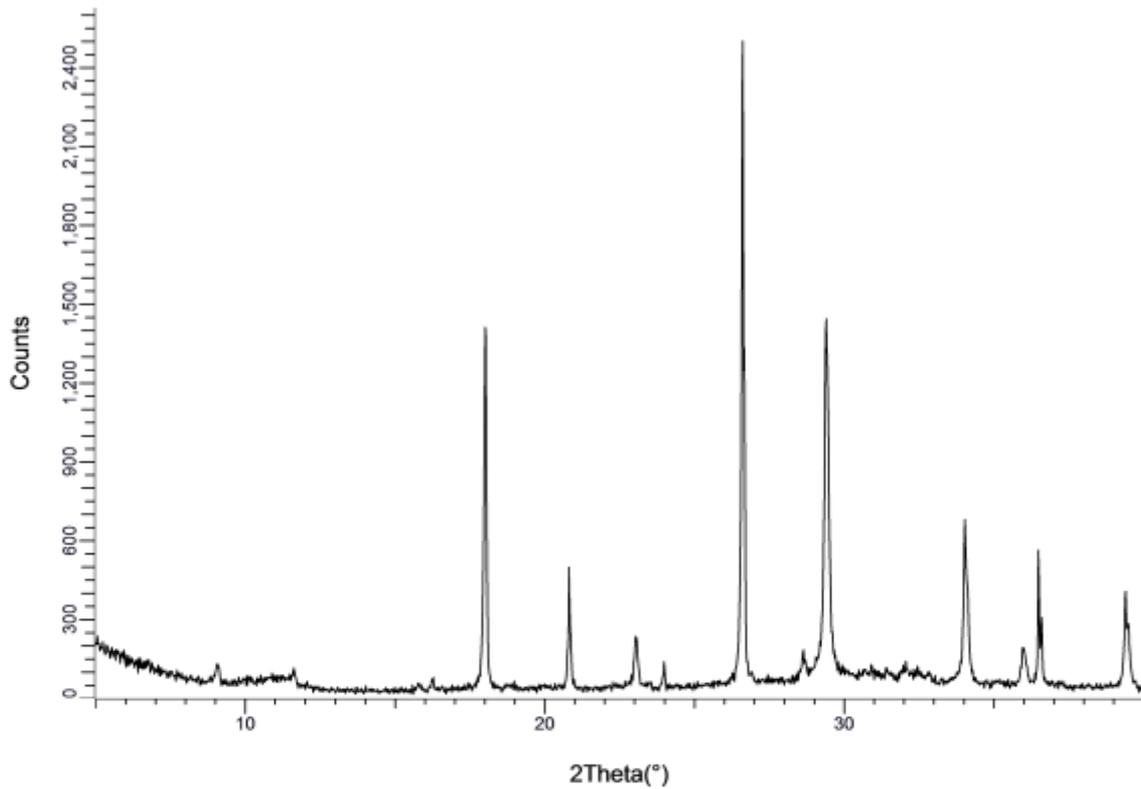


Experiment

User ID	Lab Manager(213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 11:45:35 AM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		

5.6 Ensayo de difracción de Rx a los 28 días

(786) Coupled TwoTheta/Theta 1:39:32 PM LYNXEYE_XE_T (1D mode): PSD counter

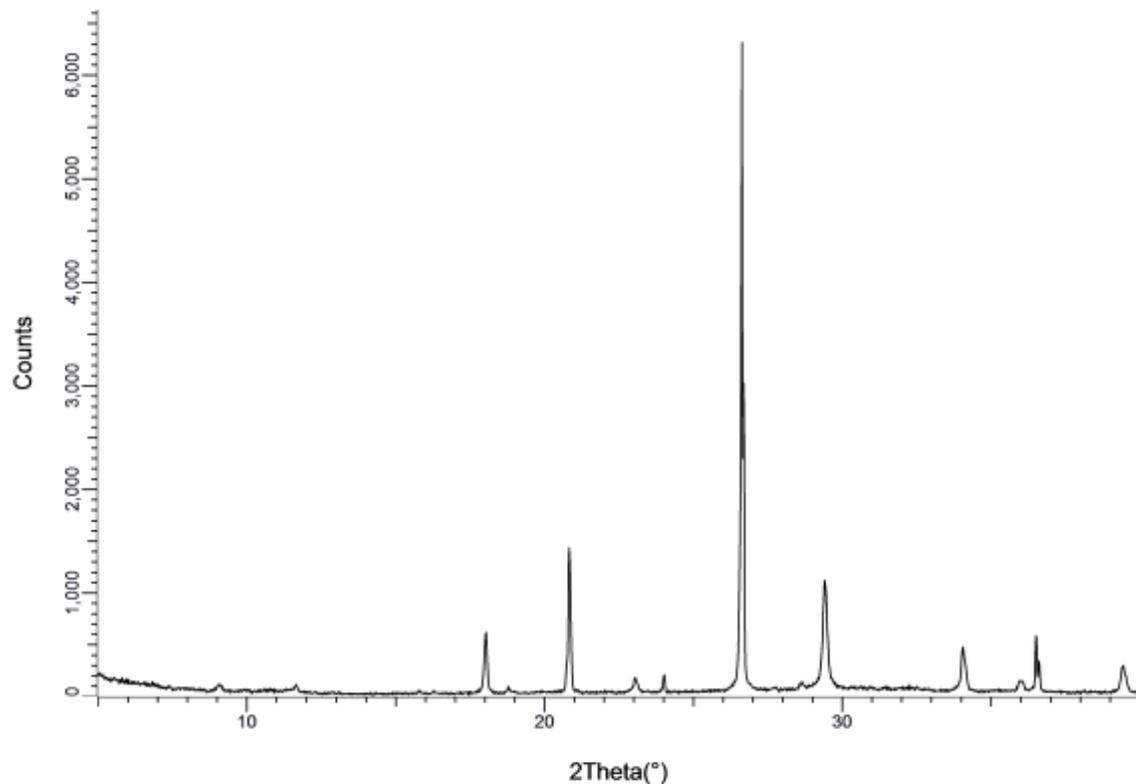


Experiment

User ID	Lab Manager(213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 1:48:05 PM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		

5.7 Ensayo de difracción de Rx a los 56 días

(789) Coupled TwoTheta/Theta 2:09:48 PM LYNXEYE_XE_T (1D mode): PSD counter



Experiment

User ID	Lab Manager (213)		
Instrument	D2-213158		
Time	9/5/2022 2:19:07 PM		
Sample ID	COMMANDER Sample ID		
Scan type	Coupled TwoTheta/Theta		
Scan mode	Continuous PSD fast		
2Theta	Start: 4.99759537	Increment: 0.02033431571	Stop: 39.99259537
Theta	Start: 2.498797685	Increment: 0.010167157855	Stop: 19.996297685
PSD opening	2.50112083274		