

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Desempeño del hormigón presforzado fabricado con
hormigón preenfriado con hielo, y bajo temperaturas
climáticas elevadas**

AUTOR:

Sandoya Mendoza, Hernán Francisco

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Martínez Rehpani, Colón Gilberto

**Guayaquil, Ecuador
10 de marzo del 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por **Sandoya Mendoza Hernán Francisco**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, M. Sc.

Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Sandoya Mendoza Hernán Francisco**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Desempeño del hormigón presforzado fabricado con hormigón preenfriado con hielo, y bajo temperaturas climáticas elevadas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

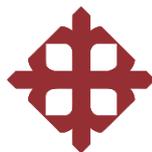
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR

f. _____

Sandoya Mendoza Hernán Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Sandoya Mendoza Hernán Francisco**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desempeño del hormigón presforzado fabricado con hormigón preenfriado con hielo, y bajo temperaturas climáticas elevadas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR:

f. _____
Sandoya Mendoza Hernán Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

REPORTE URKUND



Document Information

Analyzed document	SANDOYA_HERNÁN.docx (D128678018)
Submitted	2022-02-23T17:20:00.0000000
Submitted by	Clara Glas
Submitter email	claglas@hotmail.com
Similarity	8%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Garzón_Ariana_Final.docx Document Garzón_Ariana_Final.docx (D112904165) Submitted by: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com	 47
W	URL: https://webstore.ansi.org/Standards/ASTM/ASTMA352A352M931998 Fetched: 2022-02-23T17:21:48.4530000	 1
SA	collantes, vera, catuto quinde, catuto flores PAPER HORMIGONES MASIVOS 7MO COLLANTES PIGUAVE%2c VERA CAMBA%2c CATUTO QUINDE%2c CATUTO FLORES.docx Document collantes, vera, catuto quinde, catuto flores PAPER HORMIGONES MASIVOS 7MO COLLANTES PIGUAVE%2c VERA CAMBA%2c CATUTO QUINDE%2c CATUTO FLORES.docx (D26200486)	 1

AGRADECIMIENTO

Por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mis estudios hacen que hoy este muy agradecido de Dios, nuestro creador.

Al apoyo constante y la dedicación de mis padres son también causa de mi eterno agradecimiento.

A mi Papá por todo el apoyo en mi formación universitaria para que pueda seguir el rumbo en la búsqueda de lo esencial, culminar mi carrera.

A mi Mamá por entregarme esa calidez emocional en mi crecimiento espiritual que inyecto fuerzas a mi carácter en tiempos difíciles.

A mi tutor, Ingeniero Gilberto Martínez por su excelente guía en todos los temas desarrollados en este proyecto.

A DIGECONSA empresa constructora, y sus profesionales del laboratorio que colaboraron en el desarrollo práctico de mi tema.

A mis amigos, compañeros de trabajo, en los años de mi carrera universitaria, por esa dinámica incondicional en las tareas grupales, donde el apoyo mutuo dio como resultado cumplir nuestra meta.

Gracias a mi mascota puchi † Q.E.P.D que fielmente estuvo a mi lado acompañándome en mis largas noches de estudio cuando realizaba mis tareas.

DEDICATORIA

Al Arq. Walter Sandoya, mi padre y a su querida esposa Fátima Mendoza mi madre.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, M. Sc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Barros Cabezas José Andrés, M. Sc.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

Ing. Daniel De la Pared Condo, M. Sc.
OPONENTE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
1 CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO INVESTIGATIVO	4
1.1 Antecedentes	4
1.1.1 Criterios de desempeño y durabilidad del hormigón.	4
1.1.2 Las elevadas temperaturas climáticas de Guayaquil y el desempeño de los hormigones presforzados.	5
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específico	6
1.3 Alcance	6
1.4 Metodología	7
2 CAPÍTULO II – MARCO TEORICO, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Singularidades de la zona de estudio.	8
2.1.1 Singularidades climáticas de la zona de estudio.	8
2.1.2 Singularidades ambientales de la zona de estudio.	10
2.1.3 Edificio MAGAP	11
2.1.4 Procesos constructivos de las estructuras prefabricadas.	12
2.2 Hormigón presforzado.....	14
2.2.1 Hormigón pretensado	15
2.2.2 Hormigón postensado.....	19
2.2.3 Hormigón de alta resistencia	20
2.3 Materiales del hormigón presforzado.....	21
2.3.1 Acero	21
2.3.2 Agua.	33
2.3.3 Cemento.	37

2.3.4	Agregados.	45
2.3.5	Reactividad álcali – agregado (RAA)	54
2.3.6	Aditivos.	58
2.4	Incidencia del clima tropical en las propiedades del hormigón.	62
2.4.1	Incidencia de la temperatura en el hormigón en estado fresco.	62
2.4.2	Incidencia de la temperatura en el hormigón en estado endurecido.	65
2.5	Desempeño del hormigón pre enfriado con hielo.....	65
2.5.1	Aplicación del hielo en el hormigón presforzado.....	65
2.6	Cono de Abrams	66
2.7	Calor de Hidratación	69
3	CAPÍTULO III – DESARROLLO PRÁCTICO DE LA METODOLOGÍA	72
3.1	Generalidades.....	72
3.2	Materiales	72
3.2.1	Cemento	72
3.2.2	Agregado fino	72
3.2.3	Agregado grueso	73
3.2.4	Aditivo	73
3.2.5	Hielo.....	74
3.3	Ensayos	75
3.3.1	Antecedentes.....	75
3.3.2	Agregado Fino	75
3.3.3	Agregado Grueso.....	80
3.4	Diseño y elaboración de mezclas	85
3.5	Proceso de toma de probetas	94

3.5.1 Ensayos al hormigón en estado fresco temperatura y revenimiento del hormigón.....	96
3.6 Curado	97
3.7 Prueba a la compresión simple.....	98
4 CAPÍTULO IV – RESULTADOS	100
4.1 Hormigón en estado fresco – Ensayos/resultados.....	100
4.1.1 Temperatura y Revenimiento.....	100
4.1.2 Resistencia a la compresión simple.....	100
5 CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN..	113
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudio del hormigón preenfriado con hielo en sus tres fases.	4
Tabla 2. Registro de temperaturas más altas del año 2019 en Guayaquil.....	9
Tabla 3. Registro de temperaturas más altas en la ciudad de Guayaquil durante el periodo 2020 - 2021	9
Tabla 4. Propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento según (ASTM A416).....	22
Tabla 5. Propiedades de alambres sin revestimiento relevados de esfuerzos (ASTM A421)	23
Tabla 6. Propiedades de las varillas de acero de aleación (ASTM A722) ...	24
Tabla 7. Temperaturas mínimas de ensayo en °F [°C]	25
Tabla 8. Mínima temperatura de precalentamiento.....	26
Tabla 9. Químico, Tensión, e Impacto requerido.	28
Tabla 10. Requerimientos Químicos.....	30
Tabla 11. Propiedades de tensión para cámara de temperatura	31
Tabla 12. Temperatura de ensayo de impacto estándar para probetas de tamaño estándar [10 por 10 mm] Muestras.	32
Tabla 13. Energía absorbida mínima equivalente en pies-libra (J) para varios tamaños de muestras.	32
Tabla 14. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas.	34
Tabla 15. Sustancias Orgánicas.	34
Tabla 16. Requisitos Microbiológicos.....	35
Tabla 17. Criterio de aceptación de aguas dudosas.	36
Tabla 18. Límites químicos opcionales para agua de lavado.	37
Tabla 19. Lista de normas referentes a emplear conforme el tipo de cemento.	38
Tabla 20. Requisitos químicos del cemento hidráulico compuesto.....	41
Tabla 21. Requisitos físicos del cemento hidráulico compuesto.	42
Tabla 22. Requisitos para puzolana para uso en cementos compuestos y para escoria para uso en cementos portland con escoria de altos hornos Tipo IS(<25) y cementos compuestos ternarios Tipo IT (<25).	43
Tabla 23. Requisitos físicos normalizados del cemento hidráulico por desempeño.	44

Tabla 24. Requisitos físicos opcionales del cemento hidráulico por desempeño.....	45
Tabla 25. Rocas y Constituyentes Minerales en los Agregados.....	46
Tabla 26. Límite granulométrico para agregado fino.....	47
Tabla 27. Requisitos de gradación para áridos gruesos.....	49
Tabla 28. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.....	51
Tabla 29. Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el agregado grueso del hormigón.....	53
Tabla 30. Ensayos elaborados al agregado fino.....	75
Tabla 31. Serie de tamices utilizados para el ensayo.....	76
Tabla 32. Ensayo de clasificación de agregado fino para hormigón.....	77
Tabla 33. Ensayos realizados al agregado grueso.....	80
Tabla 34. Ensayo de clasificación del agregado grueso para hormigón.....	81
Tabla 35. Resultados de los ensayos realizados a los agregados.....	85
Tabla 36. Resistencia a la compresión promedio sin desviación estándar..	85
Tabla 37. Estimación de agua para la mezcla de acuerdo a distintos parámetros.....	86
Tabla 38. Cantidad de aire atrapado de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	87
Tabla 39. Relación entre factor agua/cemento y la resistencia a la compresión promedio.....	87
Tabla 40. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón.....	88
Tabla 41. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 210 kg/cm ²	100
Tabla 42. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 280 kg/cm ²	100
Tabla 43. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 420 kg/cm ²	100
Tabla 44. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210$ kg/cm ² (Patrón sin hielo).....	101
Tabla 45. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210$ kg/cm ² (Con 80% hielo de reemplazo).	103

Tabla 46. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	105
Tabla 47. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).....	107
Tabla 48. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo).....	109
Tabla 49. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).....	111
Tabla 50. Resumen de los resultados de los diseños de 210, 280, 420 kg/cm^2	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Puente de la Unidad Nacional	12
Ilustración 2. Dovelas presforzadas del Puente de la Unidad Nacional	13
Ilustración 3. Edificio de Posgrado de la UCSG	13
Ilustración 4. Patio de prefabricados.....	14
Ilustración 5. Método de pretensado	16
Ilustración 6. Pilotes.....	17
Ilustración 7. Bulb T	18
Ilustración 8. Ductos	18
Ilustración 9. Método de postensado.	19
Ilustración 10. Reacción álcali - sílice del hormigón.....	55
Ilustración 11. Esquema de velocidad de crecimiento del gel.....	56
Ilustración 12. Instrumentación para ensayo del Cono de Abrams. Fuente: Elaboración Propia	67
Ilustración 13. Metodología para determinar la consistencia del hormigón. Fuente: (Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química, 2014)	68
Ilustración 14. Trabajabilidad del hormigón según su asentamiento. Fuente (Neville, 2011, pág. 697).....	69
Ilustración 15. Tolerancias en el asentamiento nominal de la mezcla. Fuente: (NTE INEN 1855-2, 2015, pág. 6).....	69
Ilustración 16. Calor de hidratación desarrollado tras 72 horas a diferentes temperaturas. Fuente: (Neville, 2011, pág. 170).....	70
Ilustración 17. Los Compuestos Principales del Cemento en el Calor de Hidratación. Fuente: (Atom, 2010).....	71
Ilustración 18. Muestreo del agregado fino	72
Ilustración 19. Obtención del agregado grueso	73
Ilustración 20 Aditivo empleado (Aditec SF-106)	74
Ilustración 21. Hielo empleado para la elaboración de la mezcla.	74
Ilustración 22. Proceso de secado natural del agregado fino	75
Ilustración 23. Curva granulométrica del agregado fino	77
Ilustración 24. Curva granulométrica obtenida para el agregado grueso	82
Ilustración 25. Concretera empleada en la elaboración de la mezcla	95

Ilustración 26. Materiales colocados en la mezcladora	95
Ilustración 27. Toma de temperatura de la mezcla de hormigón	96
Ilustración 28. Prueba de revenimiento con el Cono de Abrams	96
Ilustración 29. Muestras de cilindro tomadas durante el proceso	97
Ilustración 30. Colocación de datos en los especímenes	97
Ilustración 31. Especímenes del diseño de 210, 280 y 420 kg/cm ² desencofrados	98
Ilustración 32. Especímenes de los distintos diseños colocados en la piscina de curado	98
Ilustración 33. Medición de las probetas	99
Ilustración 34 Máquina empleada para realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de hormigón	99
Ilustración 35. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 210$ kg/cm ²	102
Ilustración 36. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 210$ kg/cm ² (Con hielo de reemplazo)	104
Ilustración 37. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 280$ kg/cm ²	106
Ilustración 38. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 280$ kg/cm ² (Con hielo de reemplazo)	108
Ilustración 39. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 420$ kg/cm ²	110
Ilustración 40. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 420$ kg/cm ²	112
Ilustración 41. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 200$ kg/cm ² (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	115
Ilustración 42. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 210$ kg/cm ² (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	116
Ilustración 43. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 280$ kg/cm ² (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	117

Ilustración 44. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	118
Ilustración 45. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	119
Ilustración 46. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	120
Ilustración 47. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).	121

RESUMEN

Guayaquil una de las ciudades donde constantemente se presenta condiciones ambientales que afectan el proceso de elaboración, desempeño y calidad de los elementos de hormigón simple, hormigón armado y hormigón presforzado. Por lo tanto, el presente proyecto de investigación plantea una contribución donde, en la elaboración de la mezcla del hormigón, el hielo sustituye parcialmente el agua de amasado. Esta técnica permitirá reducir el impacto de los efectos climáticos de la ciudad y aumentará la calidad de las estructuras de hormigón. Si se aumenta la calidad en el desempeño del elemento de hormigón, a largo plazo se podría reducir el costo de mantenimiento. Al ser Guayaquil una ciudad portuaria y ser Ecuador uno de los grandes exportadores de camarón, la obtención de hielo en sus diferentes formas como bloque, escamas, placas y rollitos, es sencillo y económico. Con un suministro accesible y permanente, que beneficia la implementación de esta metodología en obras de esta ciudad.

Palabras Claves:

Desempeño, presforzado, hielo, revenimiento, temperaturas elevadas, fisuras, hormigón.

ABSTRACT

Guayaquil is one of the cities where environmental conditions that affect the production process, performance and quality of simple concrete, reinforced concrete and prestressed concrete elements are constantly present. Therefore, this research project proposes a contribution where, in the preparation of the concrete mix, ice partially replaces the mixing water. This technique will reduce the impact of climatic effects in the city and increase the quality of concrete structures. If the quality in the performance of the concrete element is increased, in the long term the maintenance cost could be reduced. Being Guayaquil a port city and Ecuador being one of the great shrimp exporters, obtaining ice in its different forms such as blocks, flakes, plates and rolls, is simple and economical. With an accessible and permanent supply, which benefits the implementation of this methodology in works in this city.

Palabras Claves:

Performance, prestressed, ice, slump, elevated temperature, cracks, concrete.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha traído problemas significantes alrededor del mundo y problemas social, económico y político. Las razones del cambio climático, viene derivado de la actividad humana, procesos bióticos, variaciones de la radiación solar que recibe la Tierra.

En los últimos años, el cambio climático ha incrementado la frecuencia de los fenómenos extremos. Consecuentemente, las características de las infraestructuras que están expuestas a las condiciones extremas del medio ambiente pueden ser influenciadas directamente por el cambio climático. (Li & Kaewunruen, 2019)

Dentro de la infraestructura a estudio que se considera en el proyecto es el hormigón, un material cuya composición heterogénea consiste en agua, cemento y agregados como principales componentes, de tal manera, convirtiéndolo en uno de los elementos más utilizados en la construcción y de mayor demanda en la actualidad.

Guayaquil, al pertenecer a la zona costera, presenta un clima con temperaturas elevadas. Acorde a Weather Spark (2021) durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 31 °C rara vez sube a más de 34 °C". No obstante, las altas temperaturas ambientales durante el vaciado también generan mayor rapidez en los tiempos de fraguado, lo que implica una mayor dificultad en el manejo, compactación y en el acabado, donde se genera una mayor tendencia al agrietamiento o micro fisuración, y una mayor dificultad para controlar el contenido de aire incluido.

Por tal motivo, durante la realización de este proyecto se tiene como finalidad analizar la influencia del hielo molido en reemplazo del agua de amasado, en el desempeño y durabilidad del hormigón presforzado con alta resistencia inicial, elaborado en áreas urbanas y en condiciones de temperaturas climáticas elevadas.

Así mismo, para el desarrollo del proyecto se basa en los criterios y recomendaciones de la norma ACI 305R-10 "Guide to Hot Weather Concreting". Esta guía ofrece medidas que pueden ser tomadas para minimizar los efectos indeseables de los factores ambientales y reducir el

potencial de problemas graves. Adicional, de efectuar la respectiva indagación bibliográfica y los ensayos correspondientes del hormigón expuesto a los efectos climáticos de la zona.

1 CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO INVESTIGATIVO

1.1 Antecedentes

El presente trabajo corresponde a una tercera fase de estudios previos, donde se analizan los beneficios de remplazar el agua de amasado con hielo, con la particularidad de enfocarlo en el concreto postensado, presforzado y prefabricado.

Tabla 1. Estudio del hormigón preenfriado con hielo en sus tres fases.

PRIMERA FASE	SEGUNDA FASE	TERCERA FASE
TEMA: “CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN PREENFRIADO CON HIELO TRITURADO Y VACIADO EN CONDICIONES DE CALOR SEVERO”	TEMA: “CONCRETO ESTRUCTURAL PREENFRIADO CON HIELO MOLIDO FUNDIDO EN ÁREAS URBANAS PARA AMBIENTES DE CALOR EXTREMO”	TEMA: “DESEMPEÑO DEL CONCRETO PRESFORZADO FABRICADO CON HORMIGÓN PREENFRIADO CON HIELO, Y BAJO TEMPERATURAS CLIMÁTICAS ELEVADAS”
Autor: Ing. Jamil Córdova	Autora: Ing. Ariana Garzón	Autor: Hernán Sandoya

Fuente: (Elaboración propia)

1.1.1 Criterios de desempeño y durabilidad del hormigón.

En Ecuador, la evaluación del desempeño por durabilidad de los hormigones se realiza a partir de la determinación de su resistencia a la compresión simple. En algunas ocasiones también, a través de la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico en probetas o en estructuras ya construidas.

Sin embargo, localmente estas pruebas no consideran los resultados del ensayo de porosidad efectiva, que define directamente un criterio por durabilidad, y que es utilizado en otros países. Este ensayo consiste en la medición del porcentaje de porosidad capilar, a través del cual puedan penetrar agentes agresivos al acero de refuerzo o al propio hormigón.

Es frecuente observar el deterioro por corrosión en los aceros de refuerzo de obras ubicadas en zonas con influencia de mareas y/o salpicaduras, tanto en Guayaquil como en otras ciudades costeras. Así como también, se puede apreciar corrosión en algunas estructuras, por la deposición anual de compuestos de azufre de la atmósfera, sea por la presencia de industrias o por el tráfico intenso de autos, en el entorno donde se encuentran o se pretenda emplazar las estructuras.

1.1.2 Las elevadas temperaturas climáticas de Guayaquil y el desempeño de los hormigones presforzados.

Las altas temperaturas climáticas durante el vaciado del hormigón generan una mayor avidez de agua. Existe una mayor rapidez en la pérdida de revenimiento y la tendencia correspondiente a agregar agua al hormigón en el sitio de la obra, principalmente cuando la planta de hormigón premezclado se ubica distante.

Las altas temperaturas ambientales durante el vaciado también generan mayor rapidez en los tiempos de fraguado, lo que implica una mayor dificultad en el manejo, compactación y en el acabado. Todo esto genera una mayor tendencia al agrietamiento o micro fisuración, y una mayor dificultad para controlar el contenido de aire incluido.

Para hormigones con los agregados comunes de Guayaquil, con densidades convencionales, cuando la relación agua/cemento es alta y el grado de hidratación es bajo, la pasta de cemento tendrá una alta porosidad capilar. Esta va a contener un número relativamente grande de poros amplios y bien conectados, y, por lo tanto, su coeficiente de permeabilidad será alto.

Mientras avanza la hidratación, la mayoría de los poros son reducidos a un tamaño pequeño y también pierden sus interconexiones, de manera que la permeabilidad se abatiría. La porosidad no solo influye en la absorción del hormigón sino también en su resistencia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la influencia del hielo molido en reemplazo del agua de amasado, en el desempeño y durabilidad del hormigón presforzado con alta resistencia inicial, elaborado en áreas urbanas y en condiciones de temperaturas climáticas elevadas.

1.2.2 Objetivos Específico

1. Preparación de mezclas de hormigón para diseños de hormigón presforzado con alta resistencia inicial, con $f_{ck}=210, 280$ y 420 Kg/cm^2 , preparadas a) con hielo triturado en sustitución del agua de amasado y b) sin hielo. Todos los diseños deben tener el mismo revenimiento.
2. Evaluar de manera comparativa a través del ensayo del Cono de Abrams, la consistencia del hormigón fresco preparado: a) con hielo triturado en sustitución del agua de amasado y b) sin hielo, así como también la reducción de temperatura.
3. Analizar de manera comparativa, los resultados de la resistencia a la Compresión Simple obtenidos a 7, 14 y 28 días, en las muestras de hormigones con diseños para hormigón presforzado, de $f_{ck}=210, 280$ y 420 kg/cm^2 , preparados a) con hielo triturado en sustitución del agua de amasado y b) sin hielo, para el mismo revenimiento.

1.3 Alcance

Se procura comprobar los efectos que genera la implementación de hielo molido en diseños de hormigón presforzado con alta resistencia inicial, para incrementar los criterios de durabilidad de las piezas presforzadas, fundidas en condiciones de calor natural severo en la ciudad de Guayaquil.

Además, se considerará que el hielo molido aplicado en las dosificaciones de hormigón reduce las condiciones de fricción entre las partículas durante el proceso de mezclado. Este fenómeno físico natural podría ser aprovechado para lograr mayor durabilidad en las estructuras.

1.4 Metodología

Para la ejecución de los análisis comparativos, se realizó un levantamiento bibliográfico global de la información pertinente sobre hormigón presforzado. De la misma manera se realizó las diferentes pruebas de acuerdo con las normas vigentes para la realización de los ensayos y lo que indica el código para la ejecución de Hormigón en Clima Caluroso (American Concrete Institute - ACI 305R (2010). Guide to Hot Weather Concreting), con énfasis en hormigón presforzado.

Para atender las medidas mínimas de bioseguridad, se utilizó las instalaciones de DIGECONSA, Laboratorio calificado de la ciudad, con un área exclusiva para la presente investigación y su desarrollo tecnológico. En este local techado, sin la influencia del viento y además con los equipos necesarios, se realizaron las mezclas de acuerdo con los Objetivos Específicos, y la toma de muestras y curado de las mismas. Las roturas de las probetas también se realizaron en el Laboratorio DIGECONSA.

Para las mezclas, se utilizaron dosificaciones de hormigón para diseños de hormigón presforzado con alta resistencia inicial, con $f_{ck}=210$, 280 y 420 Kg/cm². Las que se evaluaron por separado para analizar la influencia del hielo molido en estas dosificaciones. Los diseños para hormigón presforzado se prepararon con y sin sustitución del agua de amasado por hielo. Se tomo lecturas de la temperatura durante la preparación del hormigón. El tipo de cemento que se utiliza es el cemento hidráulico compuesto corriente GU y de uso comercial en la ciudad.

2 CAPÍTULO II – MARCO TEORICO, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Singularidades de la zona de estudio.

2.1.1 Singularidades climáticas de la zona de estudio.

Un parámetro meteorológico que hace referencia a la singularidad climática es la temperatura, que según la RAE (2021) lo define como, “Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el Kelvin (K)”.

La zona de estudio se encuentra en Ecuador, la región Costa o Litoral, provincia del Guayas, ciudad de Guayaquil. Por ende, la entidad encargada de brindar el servicio meteorológico e hidrológico en esta ubicación es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Institución creada por Ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales. (INAMHI, 2021)

Acorde a Varela & Ron (2021), “el clima del Ecuador se ve influenciado por su topografía. Su rango altitudinal (de 0 a 6300 m) genera un amplio gradiente de temperaturas ya que existe una relación muy estrecha entre la elevación y la temperatura. Además, las corrientes marinas también influyen en el clima, como la corriente fría de Humboldt, debido a, la baja evaporación del agua fría genera aridez en la región Costa, mientras la corriente cálida de El Niño genera la estación cálida y húmeda en la región”.

En términos generales, la región Costa está dividido por diversos tipos de clima en diferentes zonas de la región, como el tropical árido en la zona suroeste, el seco a húmedo en la zona centro-sur y muy húmedo en la zona norte, adicional en la región Costa su estación húmeda (altas temperaturas y lluvia abundante) se registra entre el mes de diciembre y abril-mayo, entretanto la estación seca (bajas temperaturas y lluvia escasa) se registra entre el mes de junio a diciembre.

Por ende, Guayaquil al encontrarse en la región Costa, se ve la necesidad de analizar los efectos producto de la temperatura, puesto que la ciudad se ha visto afectada por variaciones de esta durante los últimos años. De acuerdo a Weather Spark (2021), “en Guayaquil, la temporada de lluvia es muy caliente, opresiva y nublada y la temporada seca es caliente, bochornosa y parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 31 °C rara vez sube a más de 34 °C”.

A continuación, en la Tabla 2, se muestra el registro de temperatura más altas del año 2019 en Guayaquil.

Tabla 2. Registro de temperaturas más altas del año 2019 en Guayaquil.

Registro de temperaturas más altas del año 2019 en Guayaquil	
Guayaquil Aeropuerto	Temperatura Máxima (°C)
28 de diciembre	34,8
15 de diciembre	34,2
1 de noviembre	34,2
14 de abril	34,2
2 de marzo	34,2
4 de mayo	33,7
4 de enero	33,6

Nota: Se puede observar una elevada temperatura para la ciudad de Guayaquil durante el año 2019. Fuente: (El Comercio, 2019) , por (INAMHI, 2019).

A su vez, por medio de un estudio realizado por (Garzón, 2021) se realiza un extracto de las temperaturas registradas durante el año 2020 y 2021, de una tabla cuyo epígrafe es “Registro de temperaturas más altas en la ciudad de Guayaquil durante el periodo 2013 – 2021”. A continuación, se observa la Tabla 3.

Tabla 3. Registro de temperaturas más altas en la ciudad de Guayaquil durante el periodo 2020 - 2021

Año	Fecha	Temperatura Máx. (°C)
2021	23 de marzo	32,3
	22 de octubre	34,0
2020	9 de mayo	34,6
	9 de enero	35,4

Nota: Se observa el incremento de temperaturas en la ciudad de Guayaquil durante los 2 últimos periodos. Fuente: (Garzón, 2021)

Ante estos resultados se puede aclarar que a medida que transcurre los años, la ciudad de Guayaquil no se encuentra exenta de seguir incrementando su temperatura.

2.1.2 Singularidades ambientales de la zona de estudio.

Guayaquil es la ciudad más poblada y el mayor centro urbano del Ecuador, uno de las más importantes de la costa del Océano Pacífico. Caracterizada como uno de los principales puertos del país. Se sitúa sobre las orillas del río Guayas, sobre planicies, llanuras aluviales, áreas de mangla y estero salado.

Las llanuras aluviales están conformadas por las cuencas hidrográficas de los ríos Daule y Babahoyo, o los mismos que convergen en la Puntilla cerca del puente de la Unidad Nacional, que tiene como origen al río Guayas.

El río Guayas corre en dirección meridional en medio de cerros Las Cabras de Durán y Santana Ana – El Carmen. A la altura de estos cerros el río Guayas ya presenta características nítidamente estuarinas, por cuya razón se la denomina estuario o Ría Guayas (Villacis & Calle, 2000)

La peculiaridad de un estuario es la mezcla de agua dulce (mar) con agua salobre. Y acorde a la RAE, (2021a), el agua salobre es aquel que contiene sal, o que sabe o huele a sal. Además, con lo que respecta a un estuario presentará zonas o puntos donde su nivel de salinidad puede ser igual a la del mar, otras donde se obtiene una salinidad intermedia.

Así mismo, Guayaquil se encuentra a orillas del estero salado, aquel que presenta niveles variantes de salinidad que dependerá del ciclo del flujo y reflujos de la marea y agua dulce ocasionado por escorrentías durante las épocas de lluvia.

Es decir, que la zona de Guayaquil se encuentra en un ambiente con concentraciones altas de salobridad o salinidad, en la que puede influenciar el sistema constructivo como elementos de acero donde se produce la reacción química denominada corrosión.

2.1.3 Edificio MAGAP

La producción de hormigón premezclado en climas cálidos presenta gran variedad de problemas que surgen de la alta temperatura del propio hormigón y el incremento en la tasa de evaporación del agua de mezclado. Además, la temperatura ambiente hace que aumente la temperatura del hormigón fresco debido al incremento de temperatura de sus propios componentes, por lo tanto, el hormigón tendrá una mayor demanda de agua lo que ocasiona mayor velocidad de pérdida en el revenimiento y una aceleración en el proceso de hidratación, da como resultado la reducción del tiempo de fraguado y, desde el punto de vista mecánico, una menor resistencia.

Un claro ejemplo del daño causado por el ambiente y la temperatura es el edificio del MAGAP, también conocido como La Licuadora, estaba ubicado en el centro de Guayaquil.

En el edificio operaba el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, que fue desalojado en 2010, luego de un estudio estructural y análisis de terreno, menciona que en los informes finales arrojaron resultados que alertaban graves problemas estructurales de la edificación; tenía corrosión y fisuras en el hormigón de las columnas, por lo tanto, ésta no era apta para su uso y se toma la decisión de demolerla.

En la actualidad es un parque. El alto deterioro que presentaba el edificio gran parte se debió a la gran cantidad de fisuras en el hormigón; Guayaquil presenta alta salinidad en el aire como se menciona en la sección **2.1.2**; esta viaja con el viento hacia los edificios y entran en las fisuras, que da como resultado en la corrosión del acero de la estructura, además la lluvia, temperatura y más agentes externos nocivos para el acero penetraron entre las fisuras hasta llegar al punto de tener que demoler el edificio completo. El edificio hubiese tenido mayor vida útil si el hormigón con el que se construyó haya sido de mejor calidad y desempeño.

2.1.4 Procesos constructivos de las estructuras prefabricadas.

El sector de la construcción está en continua evolución, especialmente con la utilización de nuevos materiales y sistemas constructivos.

Según (Viera, 2020) los sistemas constructivos con elementos prefabricados han ido evolucionando y tomando fuerza en nuestro país. Sin embargo, debido a, la gran inversión que representa el tener maquinaria especializada, así como el personal para elaborar estos elementos prefabricados, es un sistema constructivo que no tiene demasiada incidencia, puesto que, son pocas las empresas que se dedican a la fabricación y utilización de este sistema para la elaboración de obras civiles.

Uno de los procesos constructivos más destacados dentro de la zona de estudio es el complejo de Puentes de la Unidad Nacional que lo conforma 4 viaducto construidos en distintos tiempos, pero todos con elementos prefabricados y preforzadas.

Ilustración 1. Puente de la Unidad Nacional



Nota: Puente que une los cantones Guayaquil, Samborondón y Durán a través de la Puntilla. Fuente: Cortesía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Ilustración 2. Dovelas presforzadas del Puente de la Unidad Nacional



Nota: Proceso de acoplamiento de las Dovelas presforzadas en la construcción del cuarto puente de la Unidad Nacional Fuente: (Fractales, 2020)

Dentro de los procesos constructivos se tiene la implementación de columnas prefabricadas de hormigón presforzado, dentro de su uso están cubrir grandes alturas y cubrir esfuerzos extraordinarios. Además, de acuerdo con su función y geometría se verá modificado cada cierta distancia para incluir las denominadas ménsulas, ya que estas reciben la carga de corte producto de las vigas.

También se implementa en gran medida las losas de hormigón prefabricadas que son de gran longitud. Según Camargo, (2017) existen 2 tipos de losas prefabricadas de hormigón presforzado: losas aligeradas y losas macizas.

Ilustración 3. Edificio de Posgrado de la UCSG



Nota: Para la edificación implementaron losas prefabricadas. Fuente: (Avanza Obra En Universidad Católica | Comunidad | Guayaquil | El Universo, 2018)

Estos elementos se construyen y se almacenan en grandes patios y galpones, organizados de tal manera que se pueda optimizar su espacio, con un proceso de armado postensado y desencofrado en un tiempo determinado. Con la práctica de esta investigación se puede acortar los tiempos para el desencofrado, con beneficio económico por el aumento de la producción.

Ilustración 4. Patio de prefabricados.



Nota: Producción en patios de estructuras prefabricadas. Fuente: (Prefabricados de Concreto: Guía de Usos y Ventajas I PSI Concreto, 2020)

2.2 Hormigón presforzado.

“El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjuntos de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia.” Meza, (2017)

Por tanto, el presforzado del hormigón implica naturalmente la aplicación de una carga compresiva, previa a la aplicación de las cargas anticipadas de diseño, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirán. (Nilson, 1990, pág. 17)

En términos generales el presforzado es el precargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas.

Mientras que los miembros del hormigón presforzado pueden considerarse entre 2 categorías: el pretensado o postensado.

Adicional, el hormigón empleado en miembros presforzados su resistencia es normalmente más alta que el de las estructuras no presforzadas, es decir, un hormigón de alta resistencia.

“El hormigón de alta resistencia es aquel que cumple con la combinación de desempeño especial y requisitos de uniformidad, combinación que no puede ser rutinariamente conseguida usando solamente los componentes tradicionales y las prácticas normales de mezcla, colocación y curado.” (Chiluisa, 2014, p. 5)

El uso de hormigón de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros a un mínimo. Se logran ahorros significativos en carga muerta, y grandes claros resultan técnica y económicamente posibles.

En términos generales, el hormigón es una mezcla de materiales como cemento, agregados gruesos o piedra, agregado fino o arena, agua y acero. En la que, en conjunto al cemento, el agua y la arena componen el mortero que como función principal está unir las diversas partículas del agregado para llenar los vacíos.

No obstante, para obtener un hormigón de buen rendimiento no intervienen solo los materiales de buena calidad, también el mezclado, transporte, colocación y curado.

2.2.1 Hormigón pretensado

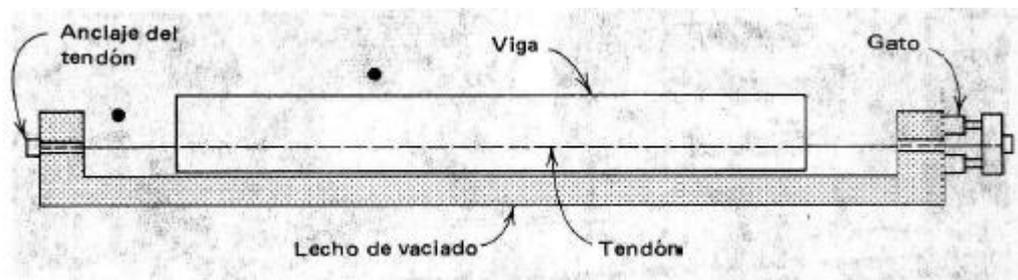
Estos miembros se producen al estirar o tensar los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el hormigón. Al endurecerse el hormigón fresco, se adhiere al acero. Cuando el hormigón alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza se transmite por adherencia, del acero al hormigón. (Nilson, 1990, pág. 30)

Los tendones, generalmente son cables torcidos con varios torones de varios alambres cada uno, el cual, se restiran o tensan entre apoyos.

Donde se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos.

Su procedimiento consiste en vaciar el hormigón en torno al tendón esforzado, donde se utiliza a menudo hormigón de alta resistencia a corto tiempo, a su vez estar curado con vapor de agua para acelerar el endurecimiento del hormigón. Posterior, al haber obtenido la resistencia necesaria, se alivia la presión en los gatos. Los torones tienden a acortarse, pero producto de la adherencia al hormigón no se efectúa. Puesto que, como la fuerza del presfuerzo es transferida al hormigón por adherencia, con mayor concentración en los extremos de la viga, sin necesidad de un anclaje especial.

Ilustración 5. Método de pretensado



Nota: Se observa el anclaje del tendón, Gato y lecho de vaciado. Fuente: (Nilson, 1990, pág. 31)

2.2.1.1 Ventajas y Desventajas del hormigón pretensado.

a. Ventajas

- Mejor comportamiento bajo la carga de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión.
- Permite la utilización de materiales de alta resistencia.
- Elementos más eficientes y esbeltos, menos material.
- Mayor control de calidad en elementos pretensados.
- Mayor rapidez en producción.

b. Desventajas

- Se requiere transporte y montaje para elementos pretensados.
- Mayor inversión inicial.
- Diseño complejo y especializado.

- Planeación cuidadosa, especialmente en las etapas de montaje.

2.2.1.2 Tipos de hormigón pretensado en Ecuador

A la fecha, las empresas más reconocidas en el medio dedicadas a la fabricación de este tipo de elementos ofrecen los siguientes productos:

a. Para edificios y muelles

- Pilotes
- Vigas
- Viguetas
- Columnas
- Vigas Cargadoras
- Vigas de amarre
- Vigas doble T
- Muros y Tablestacas.

Ilustración 6. Pilotes



Nota: Pilotes prefabricados de hormigón pretensado. Fuente: (Yepes Piqueras, 2020)

b. Para Puentes

- Estribos y vigas prefabricadas Doble T
- California,
- Bulb T (L= 16 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 m.)

Ilustración 7. Bulb T



Nota: Bulb T prefabricados de hormigón pretensado. Fuente: (Pacadar, 2018)

Para sistema de agua.

- Ductos
- Cajón
- Cámaras
- Cisternas y tanques
- Cámaras de registro
- Cajas prefabricadas para sistema de aguas residuales
- Estaciones de bombeo.

Ilustración 8. Ductos



Nota: Ductos prefabricados de hormigón pretensado. Fuente: (Fabrica de Tubos de Hormigón En Guayaquil, 2019)

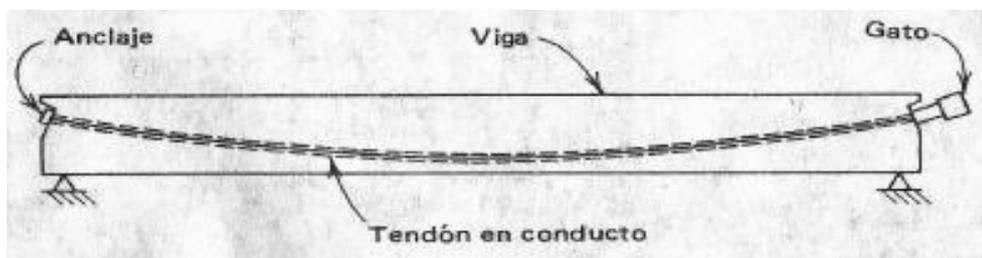
2.2.2 Hormigón postensado

Generalmente se colocan en los moldes o formas de la viga conductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el hormigón. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces cables torcidos en torones, o varillas de acero. (Nilson, 1990, pág. 34)

Su procedimiento consiste en amarrar el conducto con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin esforzar) con la finalidad de evitar accidentalmente un desplazamiento, y luego vaciar el hormigón. Una vez adquirido la resistencia necesaria, se usa la viga de hormigón para proporcionar la reacción para el gato de esforzado, en el extremo alejado del miembro, se restira, luego se ancla en el extremo de aplicación del gato por medio de accesorios similares y se quita el gato. Los tendones se tensan normalmente uno a la vez, aunque cada tendón puede contar de varios torones o alambres.

Los conductos de los tendones normalmente se rellenan de mortero, una vez que han sido esforzados. Se bombea el mortero al interior del conducto en uno de los extremos a alta presión, y se continúa el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del conducto. La aplicación del mortero mejora el comportamiento del miembro por si éste fuera sobrecargado, y aumenta su resistencia máxima a la flexión. (Nilson, 1990, págs. 34-36)

Ilustración 9. Método de postensado.



Nota: Se observa el anclaje del tendón, Gato y tendón en conducto. Fuente: (Nilson, 1990, pág. 31)

2.2.3 Hormigón de alta resistencia

El hormigón de alta resistencia es un tipo de hormigón de alto desempeño, que tiene resistencias a la compresión especificada de 40 MPa (6000 psi) o más. La producción de este tipo de hormigón requiere de un mayor estudio, así como de un control de calidad exigente en comparación con el hormigón convencional.

Acorde a Saucier, (1981) entre las utilidades que se le puede brindar al hormigón de alta resistencia tenemos:

- Colocar el hormigón en servicio a una edad mucho menor, por ejemplo, dar tráfico a pavimentos a 3 días de su colocación.
- En la construcción de edificios altos se puede reducir la sección de las columnas incrementado el espacio disponible.
- Para construir superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos.
- Para satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales como por ejemplo durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión. Entre algunas aplicaciones como presas, cubiertas de graderías, entre otras. (Cabe señalar que el hormigón de alta resistencia no es garantía por sí mismo de durabilidad).

2.2.3.1 Consideraciones del hormigón de alta resistencia

- a. Los agregados deben ser resistentes y durables. Sin embargo, no es necesario que sean duros o de alta resistencia, pero debe existir compatibilidad en términos de rigidez y resistencia con la pasta de cemento. Generalmente, se suele usar áridos gruesos del menor tamaño máximo para lograr obtener este tipo de hormigón. Para esto debe seguir la norma ASTM C33 o la Norma Ecuatoriana NTE-INEN-872.
- b. Las mezclas de hormigón de alta resistencia tienen un mayor contenido de materiales cementantes que incrementan el calor de hidratación y una mayor contracción por secado, donde se crea un mayor potencial de agrietamiento. En su mayoría de mezclas contienen una o más adicciones como cenizas volantes, cenizas de

alto horno molidas, microsilíce, metacodín o materiales puzolánicos de origen natural.

- c. El hormigón de alta resistencia necesita tener una baja relación agua/cemento (A/C), entre un rango de 0.23 a 0.35. Para obtener relaciones bajas solo se pueden obtener con muy altas dosificaciones de aditivos reductores de agua de alto rango. Adicional, el uso de aire incorporado ocasionará una gran reducción en la resistencia.

2.3 Materiales del hormigón presforzado.

2.3.1 Acero

2.3.1.1 Tipos de Acero

El acero utilizado para el hormigón presforzado se puede dividir en 3 clases: torones (Cable trenzado), hilos (Alambres redondos) y barras de alta resistencia (varillas de acero de aleación).

a. Cable trenzado o Torones para presforzado.

Se fabrican conforme establece la especificación técnica ASTM A-416, "Cable trenzado sin revestimiento, de siete alambres, relevado de esfuerzos, para hormigón presforzado". Esta norma específica sobre 2 tipos y 2 grados de torones de acero de siete alambres sin recubrimiento, para utilizar en la construcción de hormigón presforzado pretensado y postensado.

Los dos tipos de torones son de baja relajación y aliviado de esfuerzos (relajación normal). El torón de baja relajación deber ser considerado como el tipo estándar. El torón aliviado de esfuerzos (relajación normal) no será suministrado a menos que sea específicamente ordenado, o por acuerdo entre el comprador y el proveedor. El grado 1725 (250) y el grado 1860 (270) tienen resistencias últimas mínimas de 1725 MPa (250 Ksi) y 1860 MPa (20 Ksi), respectivamente basadas en el área nominal del torón. (ASTM, 2006, P. 1)

Según (Nilson, 1990) afirma que:

Los torones son fabricados con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Para los cables trenzados se usa el mismo tipo de alambres relevados de esfuerzo y estirados en frío que los que se usan para los alambres individuales de presfuerzo. (p. 54)

Tabla 4. Propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento según (ASTM A416).

Diámetro Nominal	Resistencia a la ruptura	Área Nominal del cable	Carga mínima para una enlogación de 1%
pulg. (mm)	Lb (kN)	pulg2 (mm2)	Lb (kN)
<i>Grado 250</i>			
0.250 (6.35)	9000 (40.0)	0.036 (23.22)	7650 (34.0)
0.313 (7.94)	14.500 (64.3)	0.058 (37.42)	12.300 (54.7)
0.375 (9.53)	20.000 (89.0)	0.080 (51.61)	17.000 (75.6)
0.438 (11.11)	27.000 (120.1)	0.108 (69.68)	23.000 (102.3)
0.500 (12.70)	36.000 (160.1)	0.144 (92.90)	30.600 (136.2)
0.600 (15.24)	54.000 (240.2)	0.216 (139.35)	45.900 (204.2)
<i>Grado 270</i>			
0.375 (9.53)	23.000 (102.3)	0.085 (54.84)	19.550 (87.0)
0.438 (11.11)	31.000 (137.9)	0.115 (74.19)	26.350 (117.2)
0.500 (12.70)	41.300 (183.7)	0.153 (98.71)	35.100 (156.1)
0.600 (15.24)	58.600 (260.7)	0.217 (140.00)	49.800 (221.5)

Nota: Se observa la resistencia a la ruptura y la carga mínima para una elongación de 1%. Fuente (Nilson, 1990, pág. 54)

b. Alambres redondos o Hilos para presforzado.

Se fabrican conforme establece la especificación técnica ASTM A-421, "Alambres sin revestimiento, relevados de Esfuerzo, para hormigón presforzado". Esta norma específica sobre 2 tipos de alambre de acero redondo de alto carbono liberado de tensiones que se utilizan en la construcción de hormigón pretensado.

El alambre tipo BA se utiliza para aplicaciones en las que la deformación de los extremos en frío se utiliza con fines de anclaje (anclaje de botón).

El alambre tipo WA se utiliza para aplicaciones en las que los extremos se anclan mediante cuñas y no se produce ninguna deformación en frío del alambre (anclaje en cuña). ASTM, (2021)

Según (Nilson, 1990) afirma que:

Los tendones están compuestos normalmente por grupos de alambres, con un número de alambres de cada grupo del sistema particular usado y de la magnitud de la fuerza pretensora requerida. Los tendones para prefabricados postensados típicos pueden consistir en 8 a 52 alambres individuales. Se pueden emplear tendones múltiples, cada uno de ellos compuestos de grupos de alambres para cumplir con los requisitos. (p. 53-54)

Tabla 5. Propiedades de alambres sin revestimiento relevados de esfuerzos (ASTM A421)

Diámetro nominal pulg. (mm)	Mínima resistencia de Tensión lb/pulg 2 (N/mm²)		Mínimo esfuerzo para una elongación de 1% lb/pulg2 (N/mm²)	
	Tipo BA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA
0.192 (4.88)		250.000 (1725)		200.000 (1380)
0.196 (4.98)	240.000 (1655)	250.000 (1725)	192.00 (1325)	200.000 (1380)
0.250 (6.35)	240.000 (1655)	240.000 (1655)	192.00 (1325)	192.000 (1325)
0.276 (7.01)		235.000 (1622)		188.000 (1295)

Nota: Estos tamaños no se suministran comúnmente para el alambre Tipo BA. Se observa la resistencia de tensión y el esfuerzo mínimo para una elongación de 1%. Fuente: (Nilson, 1990, pág. 54)

c. Varillas de acero de aleación o barras de alta resistencia.

Se fabrican conforme establece la especificación técnica ASTM A-722, “Varillas de acero de alta resistencia, sin revestimientos, para hormigón presforzado”. Esta especificación enfatiza a las barras de acero de alta resistencia del tipo I y del tipo II destinadas a la construcción de hormigón pretensado o a los anclajes pretensados al suelo.

“Las barras de tipo I tienen una superficie lisa. Las barras del tipo II tienen deformaciones superficiales. Las barras tienen un nivel de resistencia a la tracción mínimo de 1035 MPa (150 000 psi)”. (ASTM, 2021a)

Según (Nilson, 1990) afirma que:

La alta resistencia que se necesita se obtiene mediante la introducción de ciertos elementos de ligazón, principalmente manganeso, silicón y cromo durante la fabricación de acero. Adicionalmente, se efectúa trabajo en frío en las varillas al fabricar estas para incrementar aún más su resistencia. Después de estirarlas

en frío, a las varillas se les releva de esfuerzos para obtener las propiedades requeridas. (p. 55)

Tabla 6. Propiedades de las varillas de acero de aleación (ASTM A722)

Diámetro nominal pulg. (mm)	Área Nominal de la varilla pulg² (mm²)	Resistencia a la ruptura Lb (kN)	Mínima carga para una elongación de 0.7 % Lb (kN)
<i>Grado 145</i>			
1/2 (12.70)	0.196 (127)	28.000 (125)	25.000 (111)
5/8 (15.88)	0.307 (198)	45.000 (200)	40.000 (178)
3/4 (19.05)	0.442 (285)	64.000 (285)	58.000 (258)
7/8 (22.23)	0.601 (388)	87.000 (387)	78.000 (347)
1 (25.40)	0.785 (507)	114.000 (507)	102.000 (454)
1 1/8 (28.58)	0.994 (642)	144.000 (641)	129.000 (574)
1 1/4 (31.75)	1.227 (792)	178.000 (792)	160.000 (712)
1 3/8 (34.93)	1.485 (958)	215.000 (957)	193.000 (859)
<i>Grado 160</i>			
1/2 (12.70)	0.196 (127)	31.000 (138)	27.000 (120)
5/8 (15.88)	0.307 (198)	49.000 (218)	43.000 (191)
3/4 (19.05)	0.442 (285)	71.000 (316)	62.000 (276)
7/8 (22.23)	0.601 (388)	96.000 (427)	84.000 (374)
1 (25.40)	0.785 (507)	126.000 (561)	110.000 (490)
1 1/8 (28.58)	0.994 (642)	159.000 (708)	139.000 (619)
1 1/4 (31.75)	1.227 (792)	196.000 (872)	172.000 (765)
1 3/8 (34.93)	1.485 (958)	238.000 (1059)	208.000 (926)

Nota: Se observa la resistencia a la ruptura y la mínima carga para una elongación de 0.7%. Tomado de (Nilson, 1990, pág. 55)

2.3.1.2 Composición del acero ante temperaturas bajas.

Al trabajar con hielo triturada en el hormigón, dicha temperatura del hielo puede influenciar al comportamiento del acero. Por ende, es necesario conocer las características necesarias que debe tener el acero ante temperaturas bajas.

Por consiguiente, dentro de las normas a seguir son la ASTM A352 y la ASTM A350.

a. Norma ASTM A352/A352 M

La siguiente especificación se refiere a las piezas fundidas de acero para válvulas, bridas, accesorios y otras piezas a presión destinadas principalmente a un servicio a baja temperatura.

Tabla 7. Temperaturas mínimas de ensayo en °F [°C]

Grado	Temperaturas mínimas de ensayo °F [°C]
LCA	-25[-32]
LCB	-50[-46]
LCC	-50[-46]
LC1	-75[-59]
LC2	-100[-73]
LC2-1	-100[-73]
LC3	-150[-101]
LC4	-175[-115]
LC9	-320[-196]
CA6NM	-100[-73]

Nota: Se observa el límite mínimo de temperatura de precalentamiento. Fuente: (ASTM A352, 2004, p.3)

Acorde a ASTM A352, (2004), se debe considerar lo siguiente para el tratamiento térmico:

- Todas las piezas fundidas deberán recibir un tratamiento térmico adecuado a su diseño y composición química. Debe reconocerse que el enfriamiento líquido de los grados ferríticos es normalmente necesario para cumplir con las propiedades mecánicas de las secciones más pesadas y mejorará en gran medida las propiedades a baja temperatura de las secciones más delgadas.
- Las fundiciones ferríticas se suministrarán en estado normalizado y templado o templado en líquido y revenido, excepto el Grado LC9, que será templado en líquido y revenido. Las piezas fundidas deberán ser templadas a un mínimo de 590°C [1100°F], excepto el Grado LC4, que deberá ser de 565°C [1050°F], y el Grado LC9, que deberá ser templado en el rango de 565 a 635°C [1050 a 1175°F]. [565 a 635°C], seguido de un enfriamiento en aire o líquido.
- Las piezas fundidas CA6NM se tratarán térmicamente calentándolas a 1010°C [1850°F] como mínimo y enfriándolas con aire a 95°C [200°F] como máximo antes de cualquier revenido intermedio opcional, pero se enfriarán a 40°C [100°F]

como máximo antes del revenido final, que estará entre 565 y 620°C [1050 y 1150°F].

- Las piezas fundidas se dejarán enfriar por debajo del rango de transformación directamente después del vertido y la solidificación antes de recalentarlas para su normalización o enfriamiento líquido.

De la misma manera, según la ASTM A352, (2004), se debe considerar lo siguiente para la calidad:

- La superficie de la pieza fundida se examinará visualmente y estará libre de arena adherida, cascarilla, grietas y desgarros en caliente. Otras discontinuidades de la superficie deberán cumplir las normas de aceptación visual especificadas en el pedido. Para definir las discontinuidades superficiales y el acabado aceptables se puede utilizar el método visual SP-55 u otros estándares visuales. Las discontinuidades superficiales visuales inaceptables se eliminarán y su eliminación se verificará mediante el examen visual de las cavidades resultantes. Cuando se utilicen métodos que impliquen altas temperaturas para la eliminación de discontinuidades, las piezas fundidas se precalentarán al menos a las temperaturas mostradas en la Tabla 8.

Tabla 8. Mínima temperatura de precalentamiento.

Grado	Mínima temperatura de precalentamiento		Espesor, in [mm]
	°F	[°C]	
LCA	50	[10]	Todos
LCB	50	[10]	Todos
LCC	50	[10]	Todos
LC1	250	[120]	Sobre 5/8 [15.9]
	50	[10]	5/8 y debajo
LC2	300	[150]	Todos
LC2 -1	300	[150]	Todos
LC3	300	[150]	Todos
LC4	300	[150]	Todos
CA6NM	50	[10]	Todos

Nota: Se observa el límite mínimo de temperatura de precalentamiento. Fuente: (ASTM A352, 2004,

p.3)

- Cuando se desee una inspección adicional, se pueden pedir los requisitos suplementarios S4, S5 y S10.
- Las piezas fundidas no deben ser graneadas, tapadas o impregnadas para detener las fugas.

También, ASTM A352, (2004), hace mención la composición química y los requerimientos mecánicos en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9. Químico, Tensión, e Impacto requerido.

Tipo	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono - manganeso	Acero al carbono - molibdeno	2 ^{1/2} % Acero al Níquel	Acero al níquel-cromo-molibdeno	3 ^{1/2} % Acero al Níquel	4 ^{1/2} % Acero al Níquel	9 % Acero al Níquel	12 ^{1/2} % Acero al níquel-cromo-molibdeno
Grado UNS Número	LCA J02504	LCB ^A J03003	LCC J02505	LC1 J12522	LC2 J22500	LC2-1 J42215	LC3 J31550	LC4 J41500	LC9 J31300	CA6NM J91540
Elemento % (máximo excepto donde los rangos son dados)										
Carbon	0,25 ^A	0.30	0,25 ^A	0.25	0.25	0.22	0.15	0.15	0.13	0.06
Silicio	0.60	0.60	0.6	0.60	0.60	0.50	0.60	0.60	0.45	1.00
Manganeso	0,70 ^A	1.00	1,20 ^A	0.50 - 0.80	0.50 - 0.80	0.55 - 0.75	0.50 - 0.80	0.50 - 0.80	0.90	1.00
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.03
Níquel	0,50 ^B	0,50 ^B	0,50 ^B	---	2.00 - 3.00	2.50 - 3.50	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00	8.50 - 10.0	3.5 - 4.5
Cromo	0,50 ^B	0,50 ^B	0,50 ^B	---	---	1.35 - 1.85	---	---	0.50	11.5 - 14.0
Molibdeno	0.20	0,20 ^B	0,20 ^B	0.45 - 0.65	---	0.30 - 0.60	---	---	0.20	0.4 - 1.0
Cobre	0.30	0,30 ^B	0,30 ^B	---	---	---	---	---	0.30	---
Vanadio	0,03 ^B	0,03 ^B	0,03 ^B	---	---	---	---	---	0.03	---
Requisitos de Tensión										
Resistencia a la Tensión, Ksi [Mpa]	60.0-85.0 [415-585]	65.0-90.0 [450-620]	70.0-95.0 [485-655]	65.0-90.0 [450-620]	70.0-95.0 [485-655]	105.0-130.0 [725-895]	70.0-95.0 [485-655]	70.0-95.0 [485-655]	85 [585]	110.0-135.0 [760-930]
Resistencia a la Fluencia, min., Ksi [Mpa]	30.0 [205]	35.0 [240]	40.0 [275]	35.0 [240]	40.0 [275]	80.0 [550]	40.0 [275]	40.0 [275]	75.0 [515]	80.0 [550]
Elongación en 2 in o 50 mm	24	24	22	24	24	18	24	24	20	15
Reducción de área, min, %	35	35	35	35	35	30	35	35	30	35
Requisitos de impacto Charpy V notch										
Valor energético, ft-lbf [J], valor mínimo para dos especímenes y la media mínima de tres muestras	13 [18]	13 [18]	15 [20]	13 [18]	15 [20]	30 [41]	15 [20]	15 [20]	20 [27]	20 [27]
Valor energético, ft-lbf [J], min para una sola espécimen	10 [14]	10 [14]	12 [16]	10 [14]	12 [16]	25 [34]	12 [16]	12 [16]	15 [20]	15 [20]
Testing temperature, °F [°C]	-25 [-32]	-50 [-46]	-50 [-46]	-75 [-59]	-100 [-73]	-100 [-73]	-150 [-101]	-175 [-115]	-320 [-196]	-100 [-73]

Nota:

A- Por cada reducción del 0,01 % por debajo del contenido máximo de carbono especificado, se permitirá un aumento del 0,04 % de manganeso por encima del máximo especificado hasta un máximo de 1,10 % para LCA, 1,28 % para LCB y 1,40 % para LCC.

B- Elementos residuales especificados-El contenido total de estos elementos es del 1,00 % como máximo. Fuente: (ASTM A352, 2004, p.3)

b. Norma ASTM A350/A350 M

La siguiente especificación estándar es para piezas forjadas de acero al carbono y de baja aleación que requieren pruebas de resistencia a la entalladura para componentes de tuberías.

Además, de elementos destinadas principalmente a servicios de baja temperatura.

De la consideraciones que menciona la norma ASTM A350, (2021) tenemos:

FABRICACIÓN

- El proceso de fusión del acero se producirá por los siguientes procesos primarios: fundición a cielo abierto, oxígeno básico, horno eléctrico o fundición por inducción al vacío (VIM).
- La fundición primaria puede incorporar la desgasificación o el refinado por separado, y puede ir seguida de una fundición secundaria donde utiliza la refundición por electro escoria (ESR), o la refundición por arco voltaico (VAR)
- El acero deberá estar totalmente templado y ser de grano fino.
- El acero fundido puede ser tratado al vacío antes o durante el vertido del lingote.

TRATAMIENTO TÉRMICO

- Después del trabajo en caliente y antes de recalentar para el tratamiento térmico, se dejará que la forja se enfríe sustancialmente por debajo del rango de transformación.
- Las piezas forjadas de otras calidades distintas a la LF787 se suministrarán en el estado normalizado, o en el estado normalizado y templado, o en el estado templado y revenido.
- Las piezas forjadas del grado LF787 se suministrarán con tratamiento térmico de normalización y precipitación, o con tratamiento térmico de enfriamiento y precipitación.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Se realizará un análisis térmico químico de acuerdo con la especificación A961 y se ajustará a los requisitos de composición química prescritos en la Tabla 10. No se admitirán los aceros con plomo
- Las adiciones intencionadas de cobre, níquel, cromo o molibdeno a los grados LF1, LF2 o LF6 sólo se permiten si se mantiene el equivalente máximo de carbono de la prescripción complementaria S6.
- No se permitirá la adición intencionada de cobre, cromo o molibdeno a los grados LF3 o LF5. No se permite la adición intencionada de cromo o molibdeno en el grado LF9.

Tabla 10. Requerimientos Químicos

Elemento	Composición, wt %						
	Grado LF1	Grado LF2	Grado LF3	Grado LF5	Grado LF6	Grado LF9	Grado LF787
Carbono, máx.	0.3	0.3	0.2	0.3	0.22	0.2	0.07
Manganeso	0.60–1.35	0.60–1.35	0.9 max	0.60–1.35	1.15–1.50	0.40–1.06	0.40–0.70
Fósforo, máx.	0.035	0.035	0.035	0.035	0.025	0.035	0.025
Azufre, máx.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.025	0.04	0.025
Silicio	0.15–0.30	0.15–0.30	0.20–0.35	0.20–0.35	0.15–0.30	---	0.4 max
Níquel	0.4 maxB	0.4 maxB	3.3–3.7	1.0–2.0	0.4 maxB	1.60–2.24	0.70–1.00
Cromo	0.3 maxB,C	0.3 maxB,C	0.3 maxC	0.3 maxC	0.3 maxB,C	0.3 maxC	0.60–0.90
Molibdeno	0.12 maxB,C	0.12 maxB,C	0.12 maxC	0.12 maxC	0.12 maxB,C	0.12 maxC	0.15–0.25
Cobre	0.4 maxB	0.4 maxB	0.4 maxC	0.4 maxC	0.4 maxB	0.75–1.25	1.00–1.30
Columbio	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 min
Vanadio	0.08 max	0.08 max	0.03 max	0.03 max	0.04–0.11	0.03 max	0.03 max
Nitrógeno	---	---	---	---	0.01–0.030	---	---

Nota:

A- Cuando se requiera la desoxidación del carbono al vacío en virtud de la condición suplementaria S4, el contenido de silicio será del 0,12 % como máximo.

B- La suma de cobre, níquel, cromo, vanadio y molibdeno no deberá superar el 1,00 % en el análisis térmico.

C- La suma de cromo y molibdeno no deberá superar el 0,32% en el análisis térmico. Fuente: (ASTM A350, 2021, p. 2)

PROPIEDADES MECÁNICAS

- Prueba a tensión, el material deberá ajustarse a los requisitos para las propiedades de tensión de la Tabla 11

Tabla 11. Propiedades de tensión para cámara de temperatura

	Grados							
	LF1 y LF5 Clase 1	LF2 Clases 1 y 2	LF3 Clases 1 y 2 LF5 Clase 2	LF6		LF9	LF787	
				Clase 1	Clase 2 y 3		Clase 2	Clase 3
Resistencia a la tracción, ksi [MPa]	60–85 [415–585]	70–95 [485–655]	70–95 [485–655]	66–91 [455–630]	75–100 [515–690]	63–88 [435–605]	65–85 [450–585]	75–95 [515–655]
Resistencia a la fluencia, min, ksi [MPa]B,C	30 [205]	36 [250]	37.5 [260]	52 [360]	60 [415]	46 [315]	55 [380]	65 [450]
Elongation:								
Muestra redonda estándar, o espécimen proporcional pequeño, min % en la longitud del calibre 4D	25	22	22	22	20	25	20	20
Espécimen de tira para el espesor de la pared 5/16 pulg. [7,94 mm] y más y para todos los tamaños pequeños ensayados en sección completa; min % en 2 in. [50 mm]	28	30	30	30	28	28	28	28
Ecuación para calcular el alargamiento mínimo alargamiento para las probetas de banda más delgadas que 5/16 pulg. [7,94 mm]; min % en 2 in. [50 mm]. t = espesor real en pulgadas	48t + 13	48t + 15	48t + 15	48t + 15	48t + 13	48t + 13	48t + 13	48t + 13
Reducción de área, min %	38	30	35	40	40	38	45	45

Nota:

B- La suma de cobre, níquel, cromo, vanadio y molibdeno no deberá superar el 1,00 % en el análisis térmico.

Fuente: (ASTM A350, 2021, p. 3)

- Prueba de impacto, El material deberá cumplir los requisitos de las propiedades de impacto de la tabla 9 cuando se ensaye a la temperatura estándar aplicable de la Tabla 12.

Tabla 12. Temperatura de ensayo de impacto estándar para probetas de tamaño estándar [10 por 10 mm] Muestras.

Grado	Prueba de temperatura, F° [°C]
LF1	-20 [-29]
LF2 Clase 1	-50 [-46]
LF2 Clase 2	-0 [-18]
LF3, Clases 1 y 2	-150 [-101]
LF5 Clases 1 y 2	-75 [-59]
LF6, Clases 1 y 2	-60 [-51]
LF6, Clase 3	0 [-18]
LF9	-100 [-73]
LF787, Clase 2	-75 [-59]
LF787, Clase 3	-100 [-73]

Nota: Se observa el tipo de grado y la temperatura para el ensayo de impacto. Fuente: (ASTM A350, 2021, p. 5)

- Cuando se utilicen probetas de tamaño inferior, los valores de energía de impacto obtenidos deberán ser conformes a la Tabla 13 con valores de energía proporcionales al tamaño estándar.

Tabla 13. Energía absorbida mínima equivalente en pies-libra (J) para varios tamaños de muestras.

Tamaño Estándar [10 por 10 mm]	Tamaño 3/4 [10 por 7.5 mm]	Tamaño 2/3 [10 por 6.6 mm]	Tamaño 1/2 [10 por 5 mm]	Tamaño 1/3 [10 por 3.3 mm]	Tamaño 1/4 [10 por 2.5 mm]
15 [20]	12 [16]	10 [14]	8 [11]	5 [7]	4 [6]
13 [18]	10 [14]	9 [12]	7 [10]	5 [7]	4 [6]
12 [16]	10 [14]	9 [12]	7 [10]	4 [6]	3 [5]
10 [14]	8 [11]	7 [10]	5 [7]	3 [5]	3 [5]

Nota: Se observa la energía absorbida mínima para los diferentes tipos de tamaño. Fuente: (ASTM A350, 2021, p. 5)

- Se admiten excepciones a este requisito cuando el comprador especifique el requisito suplementario S1.
- Los ensayos de impacto pueden realizarse a temperaturas diferentes de las indicadas en la tabla 12, siempre que la temperatura de ensayo sea al menos tan baja como la

temperatura de servicio prevista, y que el forjado esté convenientemente marcado para identificar la temperatura de ensayo indicada.

2.3.2 Agua.

Según Harmsen, (2002) afirma que:

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materiales orgánicos. En general, el agua potable es adecuada para el hormigón. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se la usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

No obstante, la Norma Ecuatoriana que rige sobre la potabilización del agua potable es la NTE INEN 1108, que establece los requisitos que debe cumplir para consumo humano.

A su vez, NTE-INEN-1108, (2014) define al agua potable como, el agua cuyas características físicas, químicas, microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

Estas características físicas, químicas y microbiológicas se ven reflejadas en las siguientes tablas:

Tabla 14. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas.

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04
¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰ Po, ²²⁴ Ra, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²³⁹ Pu ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ²¹⁰ Pb, ²²⁶ Ra		

Nota: Se observa el límite máximo permitido de cada parámetro. Fuente: (NTE-INEN-1108, 2014, p. 2)

Tabla 15. Sustancias Orgánicas.

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrotriacético	mg/l	0,2

Nota: Se observa el límite máximo permitido de cada parámetro. Fuente: (NTE-INEN-1108, 2014, p. 3)

Tabla 16. Requisitos Microbiológicos.

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1* < 1**
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo ** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

Nota: Se observa el límite máximo permitido de cada parámetro. Fuente: (NTE-INEN-1108, 2014, p. 5)

De la misma forma, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, (NEC-SE-HM, 2015), establece que:

El uso del agua de lavado que queda dentro de la mezcladora está permitido siempre que se pueda determinar con precisión su cantidad. Adicional, cuando se tenga dudas sobre la calidad del agua se deben aplicar los siguientes dos criterios para su aceptación:

- Que la resistencia a la compresión de cubos de mortero ensayados de acuerdo con la norma NTE INEN 488 ó ASTM C109 y fabricados con el “agua dudosa” sea por lo menos el 90% de la resistencia a la compresión de cubos de mortero fabricados con agua aceptable para hacer hormigón, comparados a la edad de 7 días.
- Que la desviación del testigo en el ensayo de tiempo de fraguado ejecutado en concordancia con la norma ASTM C191, se encuentre dentro del rango de 1 hora antes hasta 1 hora 30 minutos después.

Así mismo la Norma Técnica Ecuatoriana, (NTE-INEN-1855-1, 2015), que establece:

A falta de agua potable, esta deberá reunir las siguientes condiciones:

- El agua de la mezcla debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el hormigón o para el acero de refuerzo. Si contine sustancias en cantidades que la manchen o le produzcan olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, esta agua no debe usarse al

menos que existan registros de hormigones elaborados con ella, o información que indique que no perjudica la calidad del hormigón. El agua cuya calidad sea cuestionable debe sujetarse a los criterios de aceptación de la Tabla 17:

Tabla 17. Criterio de aceptación de aguas dudosas.

Ensayos	Límites	Método de E.
Resistencia a la compresión, % mínimo de control a 7 días	90	INEN 488*
Tiempo de fraguado, desviación del testigo h:min	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	INEN 158*
* La comparación se hace con dos mezclas elaboradas con proporciones fijas y con el mismo volumen de agua, una con el agua sometida a ensayo y la otra utilizando agua potable o agua destilada.		

Nota: La comparación se hace con dos mezclas elaboradas con proporciones fijas y con el mismo volumen de agua, una con el agua sometida a ensayo y la otra se emplea agua potable o agua destilada. Tomado de (NTE-INEN-1855-1, 2015, p. 7)

- El agua proveniente de las operaciones de lavado de las mezcladoras podrá ser utilizada para el mezclado del hormigón siempre que cumpla con los límites indicados en la Tabla 17. El agua de lavado será ensayada semanalmente durante aproximadamente 4 semanas y de allí en adelante, mensualmente, a condiciones de que ni un solo ensayo exceda los límites establecidos. Los límites químicos opcionales de la Tabla 18, pueden ser especificados por el usuario cuando sean apropiados para la construcción. La frecuencia de los ensayos para límites químicos será como se indica anteriormente o como esté especificado por el usuario.

Tabla 18. Límites químicos opcionales para agua de lavado.

	Límites	Método de ensayo ^a
Requisitos químicos, concentración máxima en el agua de mezclado, ppm ^b		
Cloruro como Cl, ppm.		ASTM D 512
- Hormigón pretensado o en losas de puentes	500 ^c	
- Otras hormigones armados en ambientes húmedos o conteniendo embebido aluminio u otros metales disímiles, o construidos con encofrados metálicos galvanizados perdidos.	1000 ^c	
Sulfato como SO ₄ , ppm.	3000	ASTM D 516
Álcalis como Na ₂ O + 0,658 K ₂ O, ppm.	600	AASHTO T26
Sólidos totales, ppm.	50 000	
^a Se pueden usar otros métodos de ensayo que hayan demostrado que los resultados obtenidos son comparables.		
^b El agua de lavado reutilizada como agua de mezcla, eventualmente, puede exceder las concentraciones fijadas de cloruro y		

Nota: Se pueden usar otros métodos de ensayo que hayan demostrado que los resultados obtenidos son comparables. El agua de lavado reutilizada como agua de mezcla, eventualmente, puede exceder las concentraciones fijadas de cloruro. Tomado de (NTE-INEN-1855-1, 2015, p. 7)

2.3.3 Cemento.

El cemento, al mezclarse con el agua se hidrata, iniciándose unas complejas reacciones químicas que lo convierten en una pasta moldeable con buenas propiedades adherentes.

Así mismo, el cemento resulta de la pulverización del Clinker, como producto de la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Y acorde a Harmsen, (2002) afirma que el cemento está constituido por los siguientes componentes:

- Silicato tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial y influye directamente en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual, define la resistencia a largo plazo y no tienen tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.

- Aluminio – Ferrito Tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. (p. 11)

Acorde a la Norma técnica Ecuatoria y a la Norma Ecuatoria de la Construcción, el cemento debe cumplir con cualquiera de las siguientes especificaciones: NTE INEN 152, NTE INEN 490 y NTE INEN 2380.

Tabla 19. Lista de normas referentes a emplear conforme el tipo de cemento.

Nombre de la norma	Norma Nacional	Norma Referente
Cemento Portland: Requisitos	NTE INEN 152	ASTM C150
Cemento Hidráulicos Compuestos: Requisitos	NTE INEN 490	ASTM C595
Cementos Hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos	NTE INEN 2380	ASTM C1157

Nota: Se observa el límite permitido de cada parámetro y la norma para el método de ensayo permitido. Tomado de (NEC-SE-HM, 2015, p. 96)

2.3.3.1 Cemento Portland.

El cemento Portland está compuesto de minerales cristalinos en polvo muy fino, principalmente de silicatos y aluminio. Cuando se añade agua a estos minerales se produce una pasta, que una vez endurecida, se obtiene una alta resistencia.

Según Norma Técnica Peruana, (2013) afirma que:

El cemento Portland se fabrica en cuatro etapas básicas:

1. Trituración y molienda de la materia prima.
2. Mezcla de los materiales en proporciones correctas para obtener el polvo crudo.
3. Calcinación del polvo crudo.
4. Molienda del producto calcinado, conocido como Clinker junto con una pequeña cantidad de yeso. (p. 2)

En términos generales, el cemento portland se obtiene al calcinar mezclas de calizas y arcillas, preparadas artificialmente a una temperatura de aproximadamente 1.500 °C. Para obtener como resultado el denominado Clinker, posterior que se encuentre frío se muele con una cantidad adecuada

de regulador de fraguado; que suele ser piedra de yeso natural. Y como proceso final se obtiene un polvo extremadamente fino de color grisáceo que es el cemento portland.

Según la norma NTE INEN 152, (2012) que establece las características y requisitos físicos y químicos que debe cumplir el cemento portland, clasifica la cemento portland en diez tipos:

- Tipo I. Para ser utilizado cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo IA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos de Tipo I, donde se desea incorporación de aire.
- Tipo II. Para uso general. En especial cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo IIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II, donde se desea incorporación de aire.
- Tipo II (MH). Para uso general, en especial cuando se desea un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo II (MH) A. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II (MH), donde se desea incorporación de aire.
- Tipo III. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.
- Tipo IIIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo III, donde se desea incorporación de aire.
- Tipo IV. Para ser utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.

2.3.3.2 Cemento hidráulico compuesto.

Los cementos hidráulicos compuestos, consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana. En términos generales, consiste en la mezcla de dos o más compuestos inorgánicos, de los cuales, al menos uno de sus componentes no será Clinker o cemento portland.

“En caso de emplear cemento compuesto, es recomendable realizar ensayos para constatar que la combinación seleccionada sea compatible, para evitar que se produzcan efectos contraproducentes en el desempeño, durabilidad y resistencia del hormigón a elaborar.” (Garzón, 2021)

Según la norma NTE INEN 490, (2011) que establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos compuestos, lo divide de la siguiente forma:

- Cemento hidráulico compuesto para uso en hormigón para construcción en general:
 1. Tipo IS. Cemento portland de escoria de altos hornos.
 2. Tipo IP. Cemento portland puzolánico.
 3. Tipo IT. Cemento compuesto ternario.

Adicional, la norma aplica nomenclaturas para enfatizar a los cementos compuestos, en el que se debe agregar el sufijo (X) de acuerdo al tipo de cemento hidráulico presentado anteriormente, donde (X) es igual al porcentaje utilizado de escoria o puzolana en el producto expresado en el compuesto de la mezcla.

Mientras que, para los cementos compuestos ternarios, es aquel que consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana, debe agregarse los sufijos (AX) y (BY) a la designación del Tipo IT, donde:

- A es: “S” para cemento o escoria o “P” para puzolana, la que esté presente en mayor cantidad en masa.
- X es: el porcentaje en masa utilizado del constituyente A.
- B es: “S” para cemento de escoria o “P” para puzolana.
- Y es: el porcentaje en masa utilizado del constituyente B.

No obstante, para los valores de “X” y “Y” están expresados como un número entero en masa del producto compuesto final. Si dichos valores son iguales, se debe expresar primero el contenido de puzolana. Por ejemplo:

- Para el caso de cemento compuesto binario, con 80% de cemento Portland y 20% de cemento de escoria la representación sería IS (20).

- Para el caso de cemento compuesto binario, con 85% de cemento Portland y 15% de puzolana la representación sería IP (15).
- Para el caso de cemento compuesto ternario, con 70% de cemento Portland, 20% de cemento de escoria y 10% de puzolana, la representación sería IT (S20) (P10).
- Para el caso de cemento compuesto ternario, con 60% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 20% de puzolana, la representación sería IT (P20) (S20).

Al igual que el cemento portland el cemento hidráulico compuesto presenta requisitos químicos y físicos, misma que establece la norma NTE INEN 490, (2011). Adicional, en caso de implementar puzolana, la escoria granulada de altos hornos o el cemento de escoria que será añadido al cemento deberá ser ensayada en el mismo estado de finura que aquel en el cual va a ser mezclado. en las siguientes tablas. La puzolana deberá cumplir con los requisitos de finura y del índice de actividad presentado en la Tabla 22, al igual que el cemento de escoria que va a ser utilizado para cementos portland de escoria de altos hornos Tipo IS(<25) o cementos compuestos ternario Tipo IT(S<25).

Tabla 20. Requisitos químicos del cemento hidráulico compuesto.

TIPO DE CEMENTO ^A	Método de ensayo aplicable	IS (< 70), IT(P<S<70)	IS (≥ 70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	--	--	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo ^B	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	--
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	--
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

Nota: Los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con incorporador de aire, equivalentes. Tomado de (NTE INEN 490, 2011, p. 6)

Tabla 21. Requisitos físicos del cemento hidráulico compuesto.

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP(MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP(HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	C	C	C	C	C
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^D	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	--	--
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	--	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	--	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	--	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	--	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	--	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		--	--	0,10	--	--

Nota: Se observa el tipo de cemento y la norma aplicable para cada uno de ellos. Fuente: (NTE INEN 490, 2011, p. 7)

Tabla 22. Requisitos para puzolana para uso en cementos compuestos y para escoria para uso en cementos portland con escoria de altos hornos Tipo IS(<25) y cementos compuestos ternarios Tipo IT (<25).

PUZOLANA Y ESCORIA, SEGÚN SEA APLICABLE	NORMA APLICABLE	
Finura: Cantidad retenida en el tamiz de 45 µm (No. 325) mediante el tamizado húmedo, % máximo	INEN 957	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana: Para uso en cementos de Tipo IP(<15), IT(P<15) y IP(<15) – (A), IT(P<15) – (A); seis ensayos, expansión de la barra de mortero a 91 días, % máximo.	INEN 867	0,05
Índice de actividad con cemento portland, a 28 días, % mínimo	(Ver anexo A1)	75

Nota: Se observa los requisitos y las normas aplicable a puzolana y escoria. Fuente: (NTE INEN 490, 2011, p. 8)

2.3.3.3 Cemento hidráulico por desempeño.

Este tipo elimina restricciones en la composición química del cemento. Además, tiene como requisito prioritario cumplir con ciertos niveles de desempeño independientemente de cómo se logren los mismos.

Tal como afirma ATENAS, (2020) empresa dedicada a la elaboración de cemento hidráulico, los cementos hidráulicos por desempeño satisfacen requisitos de desempeño físico, oponiéndose a restricciones de ingredientes o de composición química del cemento, las cuales se pueden encontrar en otras especificaciones.

Dentro de los atributos basados en el desempeño en hormigón se incluye la resistencia, resistencia a sulfatos, calor de hidratación y reacción actividad álcali-sílice. En adición, el desempeño va a depender de varios factores como: materiales, diseño, producción, manejo, curado y condiciones ambientales.

No obstante, la norma que establece los requisitos de desempeño para los cementos hidráulicos, adicional de clasificarlos según su uso general, alta resistencia inicial, resistencia al ataque por sulfatos y calor de hidratación, se denomina (NTE INEN 2380, 2011).

A su vez, la norma los clasifica de acuerdo con las propiedades específicas, entre ellas:

- Tipo GU. Para 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.

Y como opción adicional, se tiene la R que se aplica con cualquiera de los tipos principales listados. Esta opción es de baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice. Cuando sea ensayado para determinar la potencial reactividad con áridos reactivos, el cemento debe cumplir con los requisitos de la Tabla 24 para la opción R.

Dentro de los requisitos que establece la misma norma, se tiene los físicos y químicos. Mismas que se pueden observar en las siguientes tablas.

Tabla 23. Requisitos físicos normalizados del cemento hidráulico por desempeño.

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^D	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	c	c	c	c	c	c
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

Nota: Se observa el tipo de cemento y la norma de ensayo aplicable. Fuente: (NTE INEN 2380, 2011, p. 4)

Tabla 24. Requisitos físicos opcionales del cemento hidráulico por desempeño.

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Opción R. Baja reactividad con áridos reactivos álcali – sílice ^F . Expansión a: 14 días, % máximo 56 días, % máximo	INEN 867	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060
Falso fraguado, penetración final, % mínimo	INEN 875	50	50	50	50	50	50
Resistencia a la compresión, ^G 28 días, MPa, mínimo	INEN 488	--	--	28,0	--	22,0	--
Contracción por secado	INEN 1 508	-- ^G					

^F No se debe solicitar el cumplimiento de este requisito a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^G A pedido del comprador, se debe suministrar datos sobre la contracción por secado.

Nota: Se observa el tipo de cemento y la norma de ensayo aplicable. Fuente: (NTE INEN 2380, 2011, p. 4)

2.3.4 Agregados.

El material granular compone en gran volumen la mezcla para la elaboración de un hormigón, en la que juegan un rol importante con sus propiedades físicas y químicas. Este tipo de material suele tener procedencia de la trituración de mantos de roca natural o de cantos rodados, de la selección de fragmentos naturales de roca, prismáticos o redondeados; o de materiales artificialmente fabricados.

Además, el árido fino y grueso para hormigón debe ser limpio, duro, sano y durable, con una distribución granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción. La presencia de sustancias nocivas como: terrones de arcilla, partículas desmenuzables, partículas menores a 75 µm, carbón, lignito y chert se encuentran limitadas y el resultado va a depender del uso que tendrá el hormigón.

Tabla 25. Rocas y Constituyentes Minerales en los Agregados.

Minerales		Rocas Ígneas	Rocas metamórficas	Rocas sedimentarias
Sílice	Carbonato	Granito	Mármol	Conglomerado
Cuarzo	Calcita	Sienita	Metacuarcita	Arenisca
Ópalo	Dolomita	Diorita	Pizarra	Cuarcita
Calcedonia	Sulfato	Gabro	Filita	Grauvaca
Tridimita	Yeso	Periodita	Esquito	Subgrauvaca
Cristobalita	Anhidrita	Pegmatita	Anfibolita	Arcosa
Silicatos	Sulfuro de hierro	Vidrio volcánico	Hornfels (roca córnea)	Piedra arcillosa,
Feldespatos	Pirita	Obsidiana	Gneis	limonita
Ferromagnesio	Marcasita	Piedra pómez	Serpentinita	argilita y esquito
Hornblenda	Pirolita	Tufa		Carbonatos
Augita	Óxido de hierro	Cagafierro		Caliza
Arcilla	Magnetita	Perlita		Dolomita
Illitas	Hematita	Felsita		Marga
Caolines	Goetita	Basalto		Greda
Cloritas	Ilmenita			Chert
Montmorinollita	Limonita			
Mica				
Ceolita				

Nota: Se observa los diferentes minerales y rocas constituyentes en los agregados. Fuente: (Portland Cement Association, 2004, p. 115)

Según NEC-SE-HM, (2015, p. 103):

Las partículas del árido grueso serán de formas cúbicas, que evita las formas alargadas y laminares. Los cantos rodados serán de formas esféricas, que evita las partículas planas. El árido fino más adecuado es la arena natural de granos redondos, pero se puede emplear el polvo de piedra, producto de la trituración de las rocas, siempre que no tengan exceso de finos o partículas alargadas y laminares.

2.3.4.1 Requisitos para los agregados.

Acorde a la Norma técnica Ecuatoriana y a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el agregado debe cumplir con cualquiera de las siguientes especificaciones: NTE INEN 872 o ASTM C33 . Y en caso de emplear áridos para la fabricación de hormigón estructural ligero deben cumplir con la especificación ASTM C330.

a. Agregado Fino

Según la norma NTE-INEN-872, (2011) establece los siguientes requerimientos:

- Se debe tener en consideración que las características del agregado fino consisten en arena natural, arena elaborada o una combinación de ambas.
- La gradación debe cumplir con los siguientes límites de la Tabla 26.

Tabla 26. Límite granulométrico para agregado 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

Nota: Se observa los límites permisibles que debe ser graduado el agregado fino. Fuente: (NTE INEN 872, 2011)

- No debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo. Su módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1
- El agregado fino que no cumpla con estos requisitos (Tabla 26) de gradación puede ser aceptado siempre que el proveedor pueda demostrar al comprador o a quien prepara las especificaciones que el hormigón de la clase especificada, elaborado con el agregado fino en consideración, tiene sus propiedades relevantes al menos iguales a las del hormigón elaborado con los mismos ingredientes.
- Para cargamentos continuos de agregado fino desde una fuente dada, el módulo de finura de base no debe variar en más de 0.20 respecto al módulo de finura de base.
- Referente a la solidez del agregado fino este debe ser sujeto a cinco ciclos en el ensayo de solidez, en cual, deberá tener un promedio ponderado de pérdida no mayor del 10% cuando se utiliza sulfato de sodio o del 15% cuando se utiliza sulfato de magnesio (p.3 -4).
- En caso de no cumplir con el punto anterior, se puede considerar que califica con los requisitos de solidez, siempre que el proveedor demuestre que un hormigón con propiedades comparables, elaborado con agregados similares de la misma fuente, ha tenido un

servicio satisfactorio al ser expuesto a un intemperismo similar al que se encontrará.

b. Agregado Grueso

Según la norma NTE-INEN-872, (2011) establece los siguientes requerimientos:

- El agregado grueso consiste en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire y hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de estos, conforme con los requisitos de la norma.
- La gradación debe cumplir con la Tabla 27 para el número de tamaño especificado.
- Se puede aceptar la utilización de áridos que no cumplan estrictamente con los requisitos de gradación siempre que el árido propuesto haya sido evaluado con pruebas previas de desempeño que demuestren que se obtiene resultados satisfactorios y que además se cuente con la aprobación expresa del especialista en hormigones y del responsable de la obra (p. 4 - 5).

Tabla 27. Requisitos de gradación para áridos gruesos.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)														
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 µm	
1	de 90 a 37.5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---	
2	de 63 a 37.5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---	
3	de 50 a 25.0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	
357	de 50 a 4.75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---	
4	de 37.5 a 19.0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	
467	de 37.5 a 4.75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---	
5	de 25.0 a 12.5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---	
56	de 25.0 a 9.5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---	
57	de 25.0 a 4.75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---	
6	de 19.0 a 9.5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---	
67	de 19.0 a 4.75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	
7	de 12.5 a 4.75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---	
8	de 9.5 a 2.36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---	
89	de 9.5 a 1.18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	de 4.75 a 1.18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: El árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como agregado fino. Se lo incluye como agregado grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694. Fuente: (NTE-INEN-872, 2011, p.6)

2.3.4.2 Sustancias perjudiciales en los agregados.

“Los elementos contaminantes de los agregados actúan sobre el hormigón y reducen su resistencia, que modifica la durabilidad y daña su apariencia externa. En otros casos, alteran el proceso de mezclado, el cual incrementa la exigencia de agua o retrasa el proceso de fraguado.” (Cora, 2015)

Los agregados pueden ser potencialmente peligrosos si contienen compuestos considerados químicamente reactivos con el hormigón de cemento portland y producen:

- Cambio significativo del volumen de la pasta, agregados o ambos.
- Interferencia en la hidratación normal del cemento.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del hormigón, reducir el desarrollo de la resistencia, y usualmente puede causar la deterioración.

El carbón mineral o el lignito y otros materiales de baja densidad como la madera y los materiales fibrosos, cuando se presentan en grandes cantidades, afectan la durabilidad del hormigón.

Acorde a (Llanos, 2014) entre los principales sustancias perjudiciales en los agregados tenemos:

- **Materia Orgánica:** Tiene como efecto la demora en el fraguado y un retraso en la adquisición de resistencia.
- **Terrones de arcilla:** Durante el mezclado con agua los terrones se disgregan, transformándose en polvo de alta superficie específica. En condiciones húmedas dentro de la masa de hormigón al cabo de unos días pierden su poder cementante convirtiéndose en partículas blandas.
- **El lignito:** Es un carbón mineral que se forma por compresión de la turba, convirtiéndose en una sustancia desmenuzable en la que aún se pueden reconocer algunas estructuras vegetales.
- **Polvo:** Ocasiona la disminución de la resistencia de la interfaz, lo cual, la resistencia mecánica del hormigón disminuye y en especial la resistencia a tracción.

- **Sales solubles:** Los sulfatos reaccionan con el aluminato tricálcico del cemento que provoca las expansiones. Los cloruros atacan las armaduras y elementos metálicos embebidos en el hormigón. Los carbonatos o los bicarbonatos aumentan el pH del hormigón lo que puede ocasionar un retardo del proceso de hidratación o provocar manchas denominadas eflorescencia.

Según la norma NTE-INEN-872, (2011) establece los siguientes límites permisibles de componentes perjudiciales en el agregado, tanto para el agregado fino como el agregado grueso.

a. Agregado Fino

Esta norma, hace mención que las sustancias perjudiciales no debe exceder la siguiente Tabla:

Tabla 28. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa, Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuables	3.0
Material más fino que 75 μm :	
Hormigón sujeto a abrasión	3.0
Todos los demás hormigones	5.0
Carbón y lignito:	
Donde es importante la apariencia superficial del hormigón	0.5
Todos los demás hormigones	1

Nota: En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 μm consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente. Fuente: (NTE-INEN-872, 2011. p.4)

Adicional, hace mención que en el agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el normalizado deben ser rechazados, excepto en los casos siguientes:

- Se permite el uso de un agregado fino que no cumple en el ensayo, siempre que la decoloración se deba principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas discretas similares.
- Se permite el uso de un agregado fino que no cumple en el ensayo de impurezas orgánicas, siempre que, cuando se realice el ensayo para determinar el efecto de impurezas orgánicas en la resistencia del mortero,

la resistencia relativa a 7 días, calculada de acuerdo con la NTE INEN 866 no sea menor de 95%.

b. Agregado Grueso

Esta norma, hace mención que las sustancias perjudiciales no debe exceder la siguiente Tabla

Tabla 29. Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el agregado grueso del hormigón.

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de hormigón	Máximo permisible, %						
		Terrones de arcillas y partículas desmenuzables	Chert (gr. esp. SSS menor de 2.40)	Total de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y chert (gr. Esp. SSS menor de 2.40)	Material más fino que 75 µm	Carbón y lignito	Valor de la degradación (%)	Solidez de los áridos mediante el sulfato de magnesio (5 ciclos)
Condición de intemperismo severo								
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la interperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0	---	---	1.0	1.0	50	---
2S	Pisos interiores sin revestimiento.	5.0	---	---	1.0	0.5	50	---
3S	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la interperie.	5.0	5.0	7.0	1.0	0.5	50	18
4S	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo.	3.0	5.0	5.0	1.0	0.5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto.	2.0	3.0	3.0	1.0	0.5	50	18
Condición de intemperismo moderado								
1M	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la interperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0	---	---	1.0	1.0	50	---
2M	Pisos interiores sin revestimiento.	5.0	---	---	1.0	0.5	50	---
3M	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la interperie.	5.0	8.0	10.0	1.0	0.5	50	18
4M	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo.	5.0	5.0	7.0	1.0	0.5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto.	3.0	3.0	5.0	1.0	0.5	50	18
Condición de intemperismo nulo								
1N	Losas sujetas a la abrasión del tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos.	5.0	---	---	1.0	0.3	50	---
2N	Todas las demás clases de hormigón.	10.0	---	---	1.0	1.0	50	---

Nota: Se observa los límites que están permisibles para los agregados gruesos. Fuente: (NTE-INEN-872, 2011. p.4)

Adicional, la norma hace mención que el agregado grueso para ser utilizado en hormigón que va a estar sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica o contacto con terreno húmedo no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis del cemento en una cantidad suficiente que cause expansión excesiva al mortero o al hormigón. Se permite el uso de árido grueso que contenga tales materiales perjudiciales cuando se lo utilice con un cemento que contenga menos del 0.60% de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio o con la incorporación de un material que haya demostrado evitar la expansión nociva debida a la reacción álcali-árido.

2.3.5 Reactividad álcali – agregado (RAA)

Esta reactividad consiste en un fenómeno que ataca al hormigón desde su fabricación, su causa consiste en la reacción química entre algunos compuestos de los agregados, los álcalis del cemento (óxido de sodio y óxido de potasio), la presencia de humedad y alteraciones de la temperatura en un indeterminado tiempo. Como resultados de estas reacciones se obtiene un gel que cambia de volumen a medida que absorbe agua.

Según Portland Cement Association, (2004), la reactividad (RAA) se presenta en dos formas: Reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC).

2.3.5.1 Reacción álcali – sílice (RAS)

El RAS se define como la reacción entre los álcalis del cemento y ciertas partículas de sílice de los agregados, que producen un gel que, al embeber agua, aumenta de volumen que logra generar expansiones y agrietamientos. (Melo, 2014)z

Su mecanismo consiste en formar un gel que, al absorber agua de la pasta de cemento que se encuentra a su alrededor, este se expande, lo que demuestra que existe afinidad con la humedad.

El gel al absorber el agua puede inducir presión, expansión y fisuración del agregado y de la pasta. Esta reacción se la puede visualizar en 2 etapas.

1. Hidróxido alcalino + gel de sílice reactiva → producto de la reacción (gel álcali – sílice).

2. Gel del producto de la reacción + humedad → expansión.

Como aspecto visual para determinar una reacción álcali – sílice tenemos: una red de grietas (fisuras), juntas cerradas o lascadas, desplazamiento relativo de diferentes partes de la estructura o la aparición de erupciones en la superficie.

Ilustración 10. Reacción álcali - sílice del hormigón.



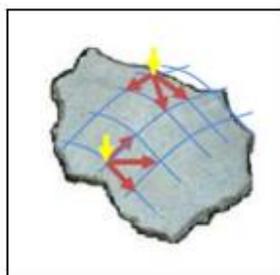
Nota: Se observa el agrietamiento del hormigón producto de la reacción álcali – sílice del hormigón, que afecta en gran medida a la estructura. Fuente: (La Puzolana de Pumita Mitiga La Reacción Álcali-Sílice (ASR))

A su vez, según Portland Cement Association, (2004) deben existir tres condiciones para que esta reacción ocurra:

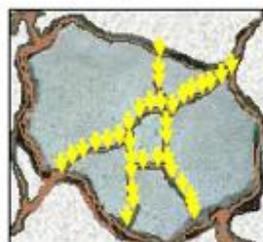
1. Una forma reactiva de sílice en el agregado.
2. Una solución en el poro altamente alcalina (pH).
3. Humedad suficiente.

También se debe resaltar que la expansión para este tipo de reacción es el resultado de las tensiones provocadas, por el aumento de gel al absorber el flujo intersticial, el cual depende del volumen de concentración del gel y la velocidad de incremento de este.

Ilustración 11. Esquema de velocidad de crecimiento del gel.



a. A menos velocidad de crecimiento del gel las fuerzas internas se disipan por la migración del gel a través del hormigón



b. A mayor velocidad de crecimiento del gel, las fuerzas internas superan el límite máximo, llegando a generar fisuras y expansión en el hormigón.

En el Ecuador para evaluar debidamente el potencial de expansión perjudicial producto de la reacción álcali – sílice, se implementa métodos sugeridos por la norma NTE INEN 872, (2011), entre ellos:

- **Método químico:** Usar NTE INEN 868, indica las cantidades de sílice disuelta y de reducción en la alcalinidad para cada una de las 3 porciones de ensayo de la muestra del árido. Se realiza de forma rápida y proporciona información invaluable, pero no es favorable para rocas lentamente reactivas ni para áridos que contienen carbonatos o silicatos de magnesio. Si los agregados presentan características perjudiciales, deben ser ensayados de acuerdo con la Norma NTE INEN 867 o a la ASTM C 1293.
- **Método de la barra de mortero para combinaciones árido-cemento:** Se emplea NTE INEN 867, proporciona información sobre la posibilidad de que se presente una expansión potencialmente perjudicial cuando se emplea cemento alto en contenido de álcalis. Los límites establecidos pueden no ser

conservadores en el caso de áridos lentamente reactivos, para lo cual se recomienda emplear ASTM C 1260 o ASTM C 1293.

- **Método de la barra de mortero para determinar la potencial reactividad alcalina del árido:** Usar la norma ASTM C 1260, mediante esta se busca predecir o detectar materiales que desarrollarán expansiones perjudiciales lentamente a largo plazo.
- **Método del prisma de hormigón para determinar la reactividad álcali-sílice:** Se emplea como guía la norma ASTM C 1293, con este se evalúa los áridos independientes o sus combinaciones con puzolanas o escoria. Busca determinar el potencial de expansión álcali-sílice, usar prismas de hormigón expuestos a las condiciones sugeridas por la norma NTE INEN 867.
- **Método de la barra de mortero para determinar la efectividad que poseen las adiciones minerales para prevenir la excesiva expansión del hormigón causado por la reacción álcali-sílice:** Emplear NTE INEN 2565, esta evalúa los materiales cementantes en barras de mortero que emplean vidrio de borosilicato altamente reactivo como árido.
- **Método de la barra de mortero para determinar la efectividad que poseen las adiciones minerales para prevenir la excesiva expansión del hormigón causado por la reacción álcali-sílice:** Emplear NTE INEN 2565, esta evalúa los materiales cementantes en barras de mortero que emplean vidrio de borosilicato altamente reactivo como árido.

2.3.5.2 Reacción Álcali – Carbonato (RAC)

Es la reacción que tienen ciertos agregados dolomíticos, al contacto con los álcalis del cemento y algunos carbonatos, que origina el gel expansivo y en consecuencia la fisuración. (Melo, 2014)

La RAC es relativamente rara porque los agregados susceptibles a esta reacción normalmente no son apropiados para el uso en concreto por

otras razones, tales como la resistencia potencial. (Portland Cement Association, 2004)

Las reacciones que se observan en ciertas rocas dolomíticas están asociadas con la reacción álcali-carbonato (RAC). Las rocas reactivas contienen cristales grandes de dolomita dispersos y rodeados por una matriz de granos finos de calcita y arcilla. La calcita es una de las formas minerales del carbonato de calcio y la dolomita es el nombre común para el carbonato de calcio-magnesio.

En el Ecuador para evaluar debidamente el potencial de expansión perjudicial producto de la reacción álcali – carbonato, se implementa métodos sugeridos por la norma NTE INEN 872, (2011), entre ellos

- **Método del cilindro de roca para determinar la reacción álcali-carbonato:** Emplear NTE INEN 871, es de gran utilidad en la selección preliminar de la fuente de los áridos. Mediante esta es posible indicar la presencia de material con potencial de expansiones.
- **Método prisma de hormigón para determinar la reacción álcali – carbonato:** Emplear la norma ASTM C1105, para evaluar combinaciones específicas de materiales en el hormigón, si el árido es considerado propenso a desarrollar expansión perjudicial durante su servicio debido a la reacción álcali – carbonato.

2.3.6 Aditivos.

Los aditivos son aquellos elementos en el hormigón que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Además, de brindar cualidades al hormigón de trabajabilidad, fácil acabado, fuerte, durable y resistente al desgaste.

Dentro de las razones principales para el uso del aditivo es que permite la reducción del costo de construcción en elementos de hormigón. También se obtiene ciertas propiedades en el hormigón más efectivas al igual que se mantienen la calidad del hormigón durante las etapas de mezclado, transporte, colado y curado en condiciones de clima adverso.

“La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría y proporción de los agregados, tiempo de mezclado y temperatura del hormigón.” (Portland Cement Association, 2004, p. 146)

2.3.6.1 Tipos de aditivos.

Acorde a la Norma Ecuatoriana, (NEC-SE-HM, 2015, p. 76), establece que los aditivos se debe regir mediante las siguientes normas:

- ASTM C494: Aditivos químicos para hormigón.
- ASTM C1017: Aditivos químicos para uso en la producción de Hormigón fluido.
- ASTM C260: Aditivos incorporadores de aire utilizados en la elaboración de hormigón. ACI 212.3R: Aditivos químicos para Hormigón. ACI 212.4R: Aditivos reductores de agua de alto rango en el Hormigón (superplastificantes).

De manera general, (Portland Cement Association, 2004) clasifica los aditivos según sus funciones, de los cuales, se tiene:

a. Aditivos incorporadores de aire.

Los aditivos incorporadores de aire mejoran la trabajabilidad del hormigón fresco y tiende a reducir o eliminar la segregación como el sangrado. Además, mejoran la resistencia del hormigón al descascaramiento de la superficie causado por el uso de productos descongelantes.

Loa aditivos incorporadores de aire se usan para introducir y estabilizar, burbujas microscópicas de aire en el hormigón. También mejora considerablemente la durabilidad de hormigones expuestos a ciclos de congelación-deshielo.

b. Aditivos reductores de agua.

“Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%. La adición al hormigón del aditivo reductor de agua sin la reducción del contenido de agua puede producir una mezcla con mayor revenimiento.” (Portland Cement Association, 2004, p. 138)

Este tipo de aditivos se usan para disminuir la cantidad necesaria de agua durante la elaboración del hormigón, para reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el revenimiento.

Con la adición de aditivos reductores de agua normalmente se obtiene un incremento en la resistencia en vista que se disminuye la relación agua-cemento. Se debe considerar que este tipo de aditivos pueden influir ya sea disminuyendo, aumentando o no tienen ningún efecto sobre el sangrado, ya que, va a depender de su composición química.

Además, se clasifican en aditivos reductores de agua de medio rango y alto rango.

c. Aditivos aceleradores.

También conocido como acelerantes, se usan para acelerar la tasa de hidratación (fraguado) y el desarrollo de la resistencia del hormigón en edades tempranas. Se utiliza normalmente en condiciones de temperaturas bajas, donde se requiere una rápida extracción del encofrado o en situaciones constructivas de emergencias, lo que permite un acabado temprano en el Hormigón y la habilitación breve de la estructura.

El cloruro de calcio (CaCl_2) es el compuesto químico que comúnmente es empleado en aditivos aceleradores, especialmente en hormigones sin armadura. Aunque dicho mecanismo implica ciertos efectos perjudiciales en el Hormigón, se concluye que es de mayor importancia la presencia de iones de cloruro que inducen a procesos corrosivos en el acero.

Adicionalmente, el cloruro de calcio incide en el incremento de la contracción por secado y posiblemente en el aumento de la deformación en el Hormigón.

d. Aditivos retardadores.

Los aditivos retardadores (retardantes) se usan para retrasar la tasa de gradado del hormigón. Además, de ser muy útiles para extender el tiempo de fraguado del hormigón, también se usan para disminuir la pérdida

de revenimiento y extender la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación del hormigón en ambientes con altas temperaturas.

Tienen otros tipos de usos comúnmente entre ellas compensar el efecto acelerador de la temperatura sobre el fraguado del hormigón, adicional retardar el fraguado inicial del hormigón o de la lechada cuando ocurren condiciones de colación difíciles o poco usuales, tales como el colado del hormigón en columnas o cimentaciones de gran tamaño, entre otros. Finalmente, retrasan el fraguado para la ejecución de técnicas de acabado especiales, tales como superficies con agregados expuestos.

e. Aditivos de control de la hidratación.

Consisten en un sistema químico de dos partes: el primero, en un estabilizador o retardador que básicamente detiene la hidratación de los materiales cementantes y el segundo, de un activador que, cuando es adicionado al hormigón estabilizado, reestablece la hidratación y el fraguado normales. El estabilizador puede suspender la hidratación por 72 horas y el activador se adiciona al hormigón poco antes de que se lo use. Estos aditivos pueden suspender el fraguado por toda la noche, para posibilitar la reutilización de hormigones retornados al camión de hormigón premezclado. Este aditivo también es útil en la manutención del hormigón estabilizado, sin endurecer, durante el transporte por largos periodos.

f. Inhibidores de corrosión.

Los inhibidores de corrosión se usan en elementos estructurales donde las sales de cloruro estén presentes. Además, que detienen químicamente la reacción de corrosión.

Comercialmente incluyen nitrito de calcio, nitrito de sodio, etanolamina dimetil, aminas, fosfatos y esteraminas. Los inhibidores anódicos, tales como los nitritos, bloquean la reacción de corrosión y estabilizan la película pasivadora de protección del acero.

Los inhibidores catódicos reaccionan con la superficie del acero para interferir en la reducción del oxígeno. Esta reducción es la principal reacción catódica en ambientes alcalinos

g. Reductores de retracción.

Se implementan en elementos estructurales donde se deban minimizar las fisuras y la deformación por razones de durabilidad y estéticas. Estos tipos de aditivos tienen incidencias insignificantes sobre el revenimiento (asentamiento) y la pérdida de aire, pero pueden retardar el fraguado. Suelen ser compatibles normalmente con otros aditivos.

- h. Entre otros como: Aditivos para la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

2.4 Incidencia del clima tropical en las propiedades del hormigón.

Es bien conocido el efecto de la temperatura en la tasa de hidratación del cemento y, por tanto, en la tasa de desarrollo de la resistencia a lo largo del curado húmedo. La mayor temperatura ambiente en las regiones tropicales favorece un aumento más rápido de la resistencia con el tiempo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que las temperaturas más altas en el momento del fraguado tienen el efecto contrario en el desarrollo de la resistencia en edades posteriores, es decir, una hidratación más rápida durante el fraguado conduce a una menor ganancia de resistencia en edades posteriores. Por lo tanto, una tasa de hidratación más lenta durante el fraguado conduce a un período más largo de desarrollo significativo de la resistencia.

2.4.1 Incidencia de la temperatura en el hormigón en estado fresco.

Según Tim, (2014), uno de los mayores efectos a considerar de la temperatura en las propiedades del hormigón fresco son:

- Resistencia inicial e índice de pérdida de resistencia con el tiempo (ej.: transportación).
- Tiempo de endurecimiento (Potencial formación de juntas frías).
- Potencial asentamiento plástico.
- Potencial contracción plástica.
- Temperatura inicial del hormigón (Al momento de colocación).

Así mismo, según el ACI Committee 305R-20, (2020), los potenciales problemas del hormigón en estado fresco incluye:

- Aumento de la demanda de agua.
- Aumento de la tasa de pérdida de asentamiento y la correspondiente tendencia a añadir agua en la obra.
- Aumento de la velocidad de fraguado, que provoca una mayor dificultad con la manipulación, la compactación y el acabado, y un mayor riesgo de juntas frías.
- Mayor tendencia a la contracción plástica y el agrietamiento térmico.
- Mayor dificultad para controlar el contenido de aire arrastrado.

2.4.1.1 Tiempos de resistencia y endurecimiento

Tanto el nivel inicial de resistencia al final de la mezcla como la posterior tasa de pérdida de resistencia a lo largo del tiempo se ven influenciados de forma significativa por las elevadas temperaturas ambientales. No solo los materiales que lo constituyen están a mayores temperaturas de conservación, también se encuentra la tasa de hidratación inicial durante la mezcla.

2.4.1.2 Potencial de agrietamiento plástico.

Cuando el hormigón fresco queda expuesto después del acabado y el sangrado tiende a terminar, la pérdida continua de humedad de la superficie, debido a, la evaporación puede dar lugar a posibles fisuras por retracción plástica, así como tiende a desarrollar esfuerzos de tensión. Y la tasa de evaporación puede ser estimada de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de evaporación } \left(\frac{kg}{m^2h} \right) \\ = 5\{(T_c + 18)^{2.5} - R(T_a + 18)^{2.5}\}\{V + 4\} \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Donde:

T_c = Temperatura del hormigón (Superficie del agua) (°C)

T_a = Temperatura del aire (°C)

R = Humedad relativa del aire (%)

V = Velocidad del viento (km/h)

Acorde a Tim, (2014), la tasa crítica para el agrietamiento plástico puede ser propuesto como 1 kg/m²h para hormigón de cemento portland. Este es reducido a 0.7 kg/m²h para hormigón con cemento portland con más del 15% de pozolana y 0.5 kg/m²h para hormigón con cemento portland con más del 5% de humo de sílice.

2.4.1.3 Temperatura inicial del hormigón

La temperatura con la que inicial el hormigón al final de la mezcla tiende a ser mayor que la temperatura ambiente, en vista que la mayoría de sus componentes están a temperatura ambiente, mientras que el cemento está en un silo con temperaturas más altas. Además, durante su transporte de la planta al lugar de entrega, esta gana temperatura por causa de la hidratación del cemento y la energía de agitación.

La temperatura inicial del hormigón se puede estimar de la siguiente ecuación:

$$T_0 = \frac{[M_c H_c T_c + M_w H_w T_w + M_{fa} H_{fa} T_{fa} + M_{ca} H_{ca} T_{ca} - M_i F_i]}{[M_c H_c + M_w H_w + M_{fa} H_{fa} + M_{ca} H_{ca} + M_i H_w]}$$

Donde:

M = Masa (kg)

H = Calor específico del material (kJ/ kg°C)

T = Temperatura (°C)

F = calor latente de fusión de hielo (335 kJ/kg)

c = cemento; w = agua; fa = agregado fino; ca = agregado grueso y i = hielo.

Acorde a Tim, (2014), los valores típicos del calor específico (kJ/kg) son: para el cemento = 0.88, agregados finos y gruesos = 0.75 y el agua = 4.18.

2.4.2 Incidencia de la temperatura en el hormigón en estado endurecido.

Según el ACI Committee 305R-20, (2020), los potenciales problemas del hormigón en estado endurecido pueden ser:

- Disminución de la resistencia como consecuencia de una mayor demanda de agua.
- Mayor tendencia a la contracción por secado y el agrietamiento térmico diferencial, ya sea por el enfriamiento de toda la estructura o por las diferencias de temperatura dentro de la sección transversal del elemento.
- Disminución de la durabilidad como consecuencia del agrietamiento.
- Mayor variabilidad de la apariencia de la superficie, como juntas frías o diferencias de color, debido a, diferentes tasas de hidratación o diferentes relaciones agua/cemento (w/c)

2.5 Desempeño del hormigón pre enfriado con hielo.

Las altas temperaturas inducen a un elevado ritmo de evaporación que provoca una temprana fisuración por retracción plástica o por retracción por secado y el ritmo de evaporación puede también eliminar el agua de la superficie necesaria para la hidratación. Una alta temperatura acelera también la hidratación del cemento y contribuye a un potencial agrietamiento térmico en estructuras masivas de concreto, que ocasiona que agentes externos atraviesen dichas grietas que provocan el proceso de corrosión en el acero.

Por ende, la implementación del hielo en el hormigón se ha utilizado como estrategia para hormigón masivo como un medio de reducción de su temperatura, puesto que desacelera el proceso de salida del agua que reacciona con el cemento.

2.5.1 Aplicación del hielo en el hormigón presforzado

La cantidad de enfriamiento está limitada por la cantidad de agua de mezcla disponible para la sustitución del hielo. Para la mayoría de los

hormigones, la reducción máxima de la temperatura es de aproximadamente 11°C (20 °F).

Para una mejor eficacia, el hielo debe ser aplastado, afeitado o astillado (en escamas) al momento de ser colocado directamente en el mezclador, con la aplicación de una unidad trituradora para realizar dicho proceso. También, se debe considerar que, para una correcta dosificación, el hielo debe pesarse. Además, no se debe permitir que el hielo se funda antes de colocarlo en el mezclador, sin embargo, debe fundirse completamente antes de la finalización de la mezcla del concreto.

Un factor que influye en la implementación del hielo es el suministro, en vista que no en todas las localidades es suficiente, en adición al factor precio que incluye: Precio del bloque de hielo, transporte, el almacenamiento, el equipo y la mano de obra. Como una alternativa de solución es implementar una planta de hielo.

2.6 Cono de Abrams

El Cono de Abrams es una prueba muy simple que mide la consistencia del concreto fresco, también se le conoce como ensayo de asentamiento del hormigón, no requiere equipos costosos ni profesionales y brinda resultados satisfactorios. En general, en cuanto menor sea el asentamiento medido, mayor será el trabajo necesario requerido por los operadores y la maquinaria para manejar el concreto en el sitio. Los instrumentos a emplear son:

- Un molde metálico en forma de cono con 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base mayor y 10 cm en la menor,
- Una varilla de acero liso de 16 mm de diámetro, 60 cm de longitud y la punta redondeada en semiesfera.
- Regla graduada que se pueda apreciar 0,5 cm.



Ilustración 12. Instrumentación para ensayo del Cono de Abrams. Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a (Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química, 2014) se deben tomar ciertas medidas al realizar el ensayo y hacer una observación crítica ya que el ensayo es un ensayo cuali-cuantitativo. El asentamiento del hormigón se mide con una regla, pero es necesaria la apreciación del operador para describir su comportamiento.

Si el hormigón cae uniformemente, hay un cono efectivo, si la mitad del cono se desliza a lo largo de un plano inclinado, se obtiene así un asentamiento oblicuo causado por la deformación por cortante. En este caso, se debe repetir la prueba, y si se obtienen conos similares, será necesario modificar la dosis, ya que estas deformaciones son síntomas de la falta de cohesión de la mezcla.

Además, el Cono de Abrams es un medio muy útil de control en el sitio, ya que puede detectar fácilmente cambios entre diferentes masas, ya sea debido a cambios en el agua de mezcla, la humedad de los agregados o incluso el tamaño de las partículas, lo que permite realizar pruebas para verificar la regularidad de los materiales; es decir, comparar el comportamiento de diferentes conos entre sí. (Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química, 2014)

El procedimiento del ensayo es el siguiente:

- Se coloca cono sobre una superficie lisa, plana, horizontal y no absorbente manteniéndolo afirmado al piso.
- El cono viene provisto de unas agarraderas en la parte inferior sobre las cuales el operario sostiene el cono con su peso, es decir, se para propiamente dicho arriba del cono.

- La mezcla se vierte con una cuchara en tres capas de igual volumen, compactándose cada capa con 25 golpes con la varilla.
- Se enrasa la última capa, y se deja lisa la superficie del hormigón.
- Inmediatamente se levanta el molde tomándolo por las agarraderas

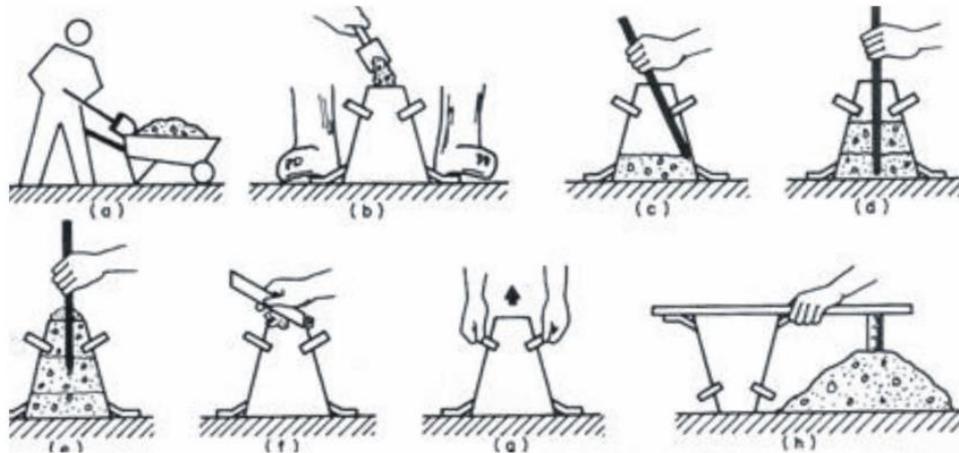


Ilustración 13. Metodología para determinar la consistencia del hormigón. Fuente:
(Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química, 2014)

Según (Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química, 2014) para comenzar la medición se apoya la varilla sobre el molde, de forma perpendicular a éste, y con la regla se mide el descenso producido como consecuencia de haber retirado el molde que lo contenía, en el punto central de la base superior con respecto a la altura original, con una precisión de 0,5 cm. Después de medido el asentamiento, se golpea suavemente el costado de la probeta con la barra.

El comportamiento del hormigón durante esta operación sirve como indicador visual para el operario de la cohesión, trabajabilidad y plasticidad de la mezcla. Un asentamiento lento y uniforme revela buen comportamiento; si es de mala calidad, se desmorona y el material se segrega. El corte en diagonal invalida el ensayo, que debe repetirse previo re-mezclado de sus componentes. Si se repite, es síntoma de falta de cohesión.

En la ilustración 14 muestra la trabajabilidad de la mezcla de acuerdo al asentamiento obtenido del ensayo con el cono de Abrams.

Descripción de trabajabilidad	Asentamiento (mm)
Nulo	0
Muy bajo	5 a 10
Bajo	15 a 30
Mediano	35 a 75
Alto	80 a 155
Muy alto	160 hasta el colapso

Ilustración 14. Trabajabilidad del hormigón según su asentamiento. Fuente (Neville, 2011, pág. 697)

A continuación, la norma NTE INEN presenta en la ilustración 15 las tolerancias en el asentamiento nominal de la mezcla. Estas aplican para hormigón premezclado y también para el preparado en obra.

Asentamiento Especificado	Tolerancias
50 mm o menos	± 15 mm
Entre 50 mm y 100 mm	± 25 mm
Mayor que 100 mm	± 40 mm

Ilustración 15. Tolerancias en el asentamiento nominal de la mezcla. Fuente: (NTE INEN 1855-2, 2015, pág. 6)

2.7 Calor de Hidratación

El calor de hidratación se denomina al calor que se desprende de la reacción que se da entre el agua y el cemento cuando están en contacto, es decir, aumenta su temperatura al fraguar y endurecer.

La relación agua-cemento, la finura del cemento y la temperatura de curado también son factores que influyen. Los aumentos en la finura, el contenido de cemento y la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación. Si bien el cemento Portland puede liberar calor durante muchos años, la tasa de producción de calor es mayor en las primeras etapas. El calor de hidratación producido en un cemento normal es de 85 a 100 cal/g.

Se generan grandes cantidades de calor durante los primeros tres días, y la mayor liberación ocurre típicamente durante las primeras 24 horas.

Un factor que influye en el proceso de hidratación es la temperatura; esta perjudica la velocidad con la que se desarrolla el calor. Un claro ejemplo de este efecto muestra en la ilustración 16.

Tipo de Cemento	Desarrollo del calor de hidratación a:							
	4 °C		24 °C		32 °C		41 °C	
	J/g	cal/g	J/g	cal/g	J/g	cal/g	J/g	cal/g
I	154	36.9	285	68	309	73.9	335	80
II	221	52.9	348	83.2	357	85.3	390	93.2
III	108	25.7	195	46.6	192	45.8	241	51.2

Ilustración 16. Calor de hidratación desarrollado tras 72 horas a diferentes temperaturas. Fuente: (Neville, 2011, pág. 170)

El calor generado de los elementos de hormigón por ejemplo las losas, no trae preocupación ya que se disipa rápidamente en el ambiente, en el caso de estructuras de gran volumen, tales como presas, pavimentos, con espesor mayor a 1 metro la tasa y cantidad del calor generado van a ser importantes. Si este, no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable de temperatura en el hormigón, y producir un enfriamiento no uniforme de la masa del hormigón crean esfuerzos de tracción indeseables.

Sin embargo, el aumento de la temperatura en el hormigón causado por el calor de hidratación es beneficioso en el clima frío, pues ayuda a mantener la temperatura favorable para el curado.

Según (Cetesa, 2021) los cementos con mayor contenido de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, tienen mayores tasas de generación de calor que otros cementos. El silicato tricálcico o el aluminato tricálcico químicamente generan más calor, y a una velocidad mayor, que el silicato dicálcico o de otro tipo de cementos compuestos. El contenido de sulfatos, en relación con el control de la hidratación de aluminato de calcio, participa en la tasa de liberación de calor. Una finura más alta proporciona un área de mayor superficie que se humedece, para obtener como resultado una aceleración de la reacción entre el cemento y el agua.

Propiedad	Participación de cada compuesto			
	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ S	C ₂ S
Grado de reacción	Rápido	Lento	Mediano	Lento
Calor liberado	Grande	Pequeño	Mediano	Pequeño

Ilustración 17. Los Compuestos Principales del Cemento en el Calor de Hidratación.
Fuente: (Atom, 2010)

3 CAPÍTULO III – DESARROLLO PRÁCTICO DE LA METODOLOGÍA

3.1 Generalidades

El desarrollo práctico de este trabajo fue realizado en las instalaciones de DIGECONSA Guayaquil. Desde el ensayo en estado fresco como endurecido hasta la elaboración de diseño de hormigones de resistencia a la compresión de 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 480 kg/m².

3.2 Materiales

3.2.1 Cemento

El cemento utilizado en la presente investigación es del tipo GU, el mismo que posee una densidad de 2850 kg/m³ que cumple con los parámetros dispuestos por la norma NTE INEN 2380, fue el utilizado en el desarrollo de esta práctica.

3.2.2 Agregado fino

La arena utiliza en la presente investigación fue extraída del Río Chimbo, de un sitio llamado “Soledad”. Este material fue utilizado como agregado fino para las mezclas, su extracción se anexa en la Ilustración 18.

Ilustración 18. Muestreo del agregado fino



Nota: El agregado fino fue extraído del Río Chimbo en una mina cerca del sitio “Soledad”. Fuente: (Elaboración propia)

3.2.3 Agregado grueso

La piedra basáltica proveniente de la cantera Licosa, actuó como agregado grueso para las mezclas, en la Ilustración 19 se puede observar su extracción.

Ilustración 19. Obtención del agregado grueso



Nota: El agregado grueso se obtuvo de la planta de producción de materiales “LICOSA”. Fuente: (Elaboración propia)

3.2.4 Aditivo

El aditivo SF-106 de la marca Aditec actuó como super plastificante en todas las mezclas, dosificado de acuerdo a las especificaciones de la ficha técnica que sugiere que por cada saco de cemento de 50 kg emplear de 400cc a 800cc, por lo que para estos diseños se utilizó un promedio de 800cc, en la ficha técnica constan también los siguientes beneficios:

- Recomendado si se requiere fraguado normal, alta plasticidad y desarrollo rápido de resistencias.
- No fomenta la corrosión del acero en el hormigón.
- Compatible con el hormigón presforzado.
- Módulo de elasticidad alto.
- Favorece en el control del revenimiento.
- Una mejor resistencia inicial y final.

Ilustración 20 Aditivo empleado (Aditec SF-106)



Nota: Superplastificante Aditec SF-106. Fuente (Autor)

3.2.5 Hielo

El hielo empleado fue producido en la fábrica de hielo Hieblosa se adquirió en sacos de 25kg; el transporte al laboratorio Digeconsa se realizó en hieleras donde se procedió a almacenar el hielo, para que conservara sus propiedades, como se puede apreciar en la ilustración 21.

Ilustración 21. Hielo empleado para la elaboración de la mezcla.



Fuente: (Elaboración propia)

3.3 Ensayos

3.3.1 Antecedentes

El método ACI 211 se implementó para el diseño de las dosificaciones de hormigón de 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 480 kg/m² que, mediante resultados de ensayos de laboratorio los cuales se detallan a continuación con sus respectivos resultados.

3.3.2 Agregado Fino

Los agregados finos se prueban en una variedad de formas en diferentes ensayos se puede ver a detalle en la tabla 30.

Tabla 30. Ensayos elaborados al agregado fino

Ensayo	Norma
Granulometría	ASTM C 136
Gravedad específica de masa saturada con superficie seca	ASTM C 128
Porcentaje de absorción	ASTM C 128
Peso volumétrico suelto (P.V.S)	ASTM C 29

Fuente: (Elaboración propia)

Con la finalidad de que se pueda completar el proceso de secarse naturalmente, el material se fue exparcido en el suelo como se puede ver en la ilustración 22.



Ilustración 22. Proceso de secado natural del agregado fino

Fuente: (Elaboración propia)

Granulometría del agregado fino

Este metodo es aplicado en base a la norma ASTM C 136, el cual tiene por finalidad diagnosticar la gradación de los materiales que se van a implementar para el desarrollo como uno de los principales es el agregado fino, las herramientas utilizadas para este proceso fue tamices de varias aberturas colocados en organización decreciente, se puede visualizar en la tabla 31.

El proceso que se realizó fue de el colocar el agregado fino en el interior de los tamices las cantidades obstruidas fueron pesadas en cada una. En la tabla 31 se describen los pesos detenidos en cada uno de los tamices, divididos en tres tipos parciales, acumulados y pasantes acumulados, se realiza una comparación con las diversas especificaciones que son establecidas por la norma ASTM C 33 para los agregados.

Por medio de los pasantes acumulados se pudo obtener la gráfica sobre la curva granulométrica que se presenta en la figura , esta se encuentra en los límites establecidos.

Tabla 31. Serie de tamices utilizados para el ensayo

SERIE DE TAMICES		
NCh	(mm)	ASTM (mm) ASTM (pulgada)
80	75	3"
63	63	2 ½
50	50	2
40	38,1	1 ½
25	25	1
20	19	¾
12,5	12,5	½
10	9,5	3/8
6,25		¼
5	4,75	Nº 4
2,5	2,36	Nº 8
2	2	Nº 10
1,25	1,18	Nº 16
0,85		Nº 20
0,63	0,60	Nº 30
0,50	0,425	Nº 40
0,315	0,300	Nº 50
0,25		Nº 60
0,16	0,15	Nº 100
0,08	0,075	Nº 200

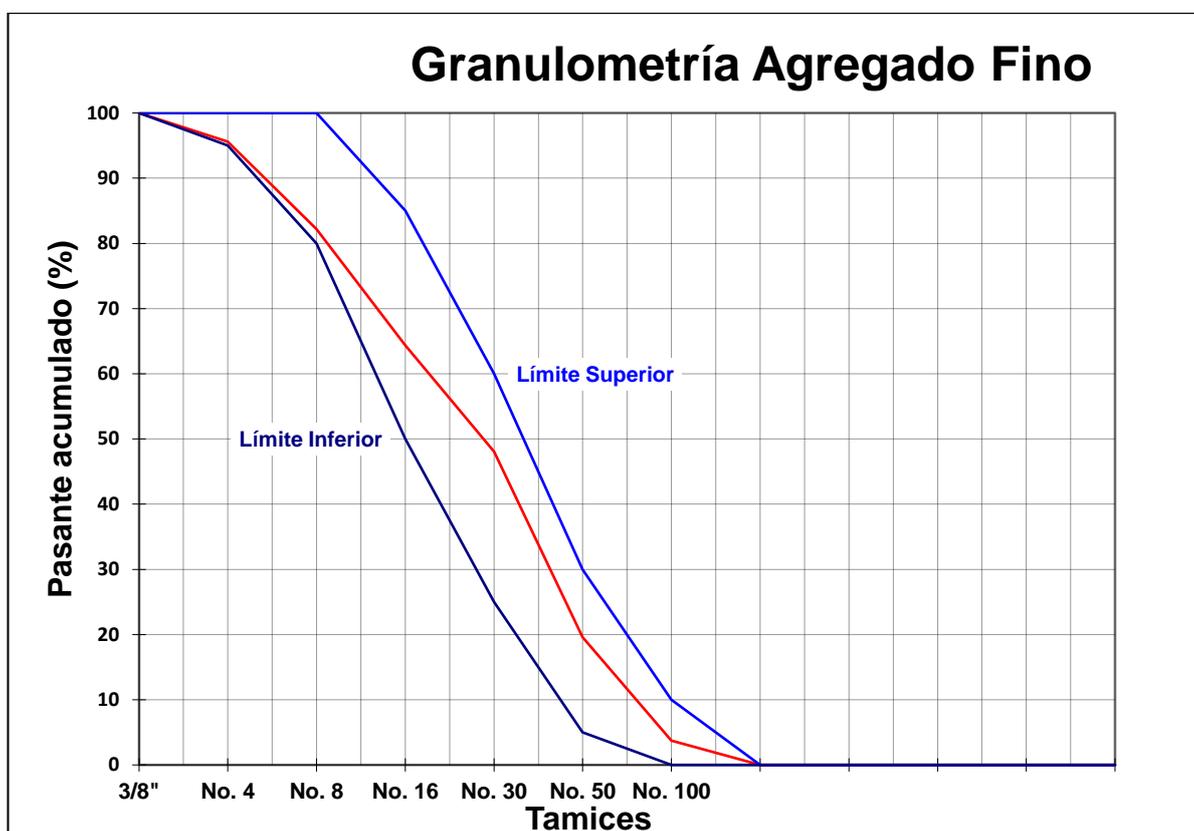
Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 32. Ensayo de clasificación de agregado fino para hormigón

Datos de inicio (pesos)	Datos de inicio (pesos parciales)	Tamiz INEN (ASTM) N ^o mm	Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones A.S.T.M. C 33
0,00	0,00	3/8"	9,5	0,00	0,00%	100,00	100
52,00	220,41	No. 4	4,75	220,41	4,41%	95,59	95 a 100
216,00	670,81	No. 8	2,36	670,81	13,42%	82,18	80 a 100
232,00	891,93	No. 16	1,18	891,93	17,84%	64,34	50 a 85
231,00	815,03	No. 30	0,60	815,03	16,30%	48,04	25 a 60
516,00	1421,89	No. 50	0,30	1421,89	28,44%	19,60	5 a 30
134,00	792,59	No. 100	0,15	792,59	15,85%	3,75	0 a 10
48,00	187,34	FONDO		187,34	3,75%	0,00	
1.429,00	5.000,00	ε =		5.000,00	mo =	2,87%	

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 23. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: (Elaboración propia)

Módulo de Finura del agregado fino

El módulo de finura se lo define como el índice en su valor más alto, entre mayor es el grosor que este presenta el rango que se debe mostrar va de más 2.3 pero menos de 3.1, si el valor muestra un excedente el material

debe ser denegado sin embargo pueden realizarse los ajustes completos para ser óptimo.

Según las normas dispuestas por ASTM C 125 (2013), en donde el módulo de finura que tiene el agregado fino se alcanza al adicionar los porcentajes acumulados que se terminan almacenando al final de los distintos tamices que se utilizaron esto se los divide para 100 como se encuentra demostrado en la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \text{Peso acumulado}}{100}$$

$$MF = \frac{4.41 + 17.82 + 35.66 + 51.96 + 80.40 + 96.25}{100} = 2.87$$

El módulo de finura resultante es de 2.87 de agregado fino que como origen tiene el Río Chimbo el cual se encuentra en los límites que se establecen.

Gravedad específica de masa saturada con superficie seca del agregado fino

El siguiente ensayo se encuentra elaborado bajo la normativa ASTM C 128, para lo cual se ocupa un aproximado de una muestra de 100 gr del agregado fino, la cual se satura durante un lapso de 24 horas posteriormente se lo esparce sobre el suelo para que este proceda a secarse, la muestra se introduce en el cono de Abrams llenándolo hasta su capacidad máxima y con ayuda del pisón se aplicó 25 apisonadas.

El cono se lo separa de forma vertical, la reacción de la muestra fue que conservo ligeramente su forma. Cuando la muestra empezó abatirse controladamente se pudo constatar que su estado en la superficie es seca, de esta muestra se tomó un total de 500 gr. Como subsiguiente se pesó el picnómetro con agua para finalizar se le agrega una muestra de agregado fino.

A fin de conseguir la gravedad específica que posee el agregado fino se emplea la presente ecuación con sus cálculos correspondientes:

Datos

$A = \text{Peso de la muestra(SSS)} = 50\text{gr}$

$B = \text{Peso picnómetro} + \text{agua} = 783.1\text{ gr}$

$C = \text{Peso picnómetro} + \text{agua} + \text{arena} = 1096.55\text{gr}$

$$G. \text{Específica} = \frac{A}{B + A - C} \times 1000$$

$$G. \text{Específica} = \frac{500.00}{7831 + 500 - 1096.55} \times 1000 = 2680.12 \frac{k}{m^3}$$

Porcentaje de absorción del agregado fino

El ensayo tiene como principal objetivo, describir el porcentaje que aumenta la masa del agregado, esto se debe ya que hay la penetración por parte del agua en los poros que tienen sus partículas.

Para lograr determinar cuál es el porcentaje de absorción por parte del agregado fino se emplea la normativa dispuesta por ASTM C 128, como principal acto se sumerge a la muestra en agua en un lapso de 24 horas. Luego se procede a colocarse en el horno a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ el tiempo que sea requerido para eliminar la humedad existente y que la muestra quede totalmente seca.

Finalizado el proceso del secado en la muestra que se coloca en el horno. Para tener conocimiento numérico en base al porcentaje de absorción se empleó la siguiente ecuación sobre el cálculo numérico demostrado:

Datos

$A = \text{Peso de la muestra(SSS)} = 500\text{gr}$

$D = \text{Peso seco en la estufa} = 493.5\text{gr}$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{A - D}{D} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500.00 - 493.5}{493.5} \times 100 = 1.32\%$$

Peso volumétrico suelto (P.V.S) del agregado fino

En el ensayo para el peso volumétrico suelto tiene como propósito comprender la masa de una unidad de un volumen del agregado analizado, que esta considera el volumen que poseen las partículas

individuales y el volumen de los huecos que se encuentran en estas. Esto siendo expresado en kg/m³, se lo aplica en agregados que no sean superiores a 125 mm de tamaño máximo nominal. (ASTM, 2003)

El proceso se encuentra en base a la norma ASTM C 29, para lo cual, se empezó por pesar el recipiente que se va a utilizar se procede a llenar con la muestra a estudiar para poder enrasarla. Una vez completado este procedimiento se pesó el recipiente con la muestra en el interior.

Para llegar a conocer cual es el peso volumetrico suelto del agregado fino se emplea la siguiente ecuacion en donde se detallan los cálculos:

Datos

$A = \text{Peso del recipiente} = 6011.00\text{gr}$

$B = \text{Peso del recipiente} + \text{la muestra} = 9295.00\text{ gr}$

$C = \text{Volumen del recipiente} = 0.002124\text{ m}^3$

$$P.V.S = \frac{B - A}{C} \div 100$$

$$P.V.S = \frac{9295.00 - 6011.00}{0.002124} \div 100 = 1546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.3.3 Agregado Grueso

El agregado grueso se sometió a varios ensayos que se pueden ver en la tabla 33.

Tabla 33. Ensayos realizados al agregado grueso

Ensayo	Norma
Granulometría	ASTM C 136
Gravedad específica de masa saturada con superficie seca	ASTM C 127
Porcentaje de absorción	ASTM C 127
Peso volumétrico suelto (P.V.S)	ASTM C 29
Peso volumétrico varillado (P.V.V)	ASTM C 29

Fuente: (Elaboración propia)

Granulometría del agregado grueso

Para este procedimiento se empleó la normativa estipulada por ASTM C 136 el cual tiene como propósito el determinar la gradación del agregado grueso. Para esto se emplearon como herramientas los tamices con distintas

aberturas ordenadas de manera decreciente, se inició por el tamiz de 1/2" y se finalizó con el No. 100.

Se agita cada uno de los tamices con el agregado grueso vertido en su interior, las cantidades que resultaron retenidas fueron pesadas en cada uno de estos. En la tabla se puede ver cuáles son los distintos pesos que se retuvieron en el tamiz, los tres tipos parciales, acumulados y pasantes acumulados, comparados con las características impartidas por la norma ASTM C 33 para agregados de hormigón.

Por medio de los pasantes acumulados se obtiene la gráfica que pertenece a la curva granulométrica presentada en la figura, que se encuentra dentro de los niveles establecidos.

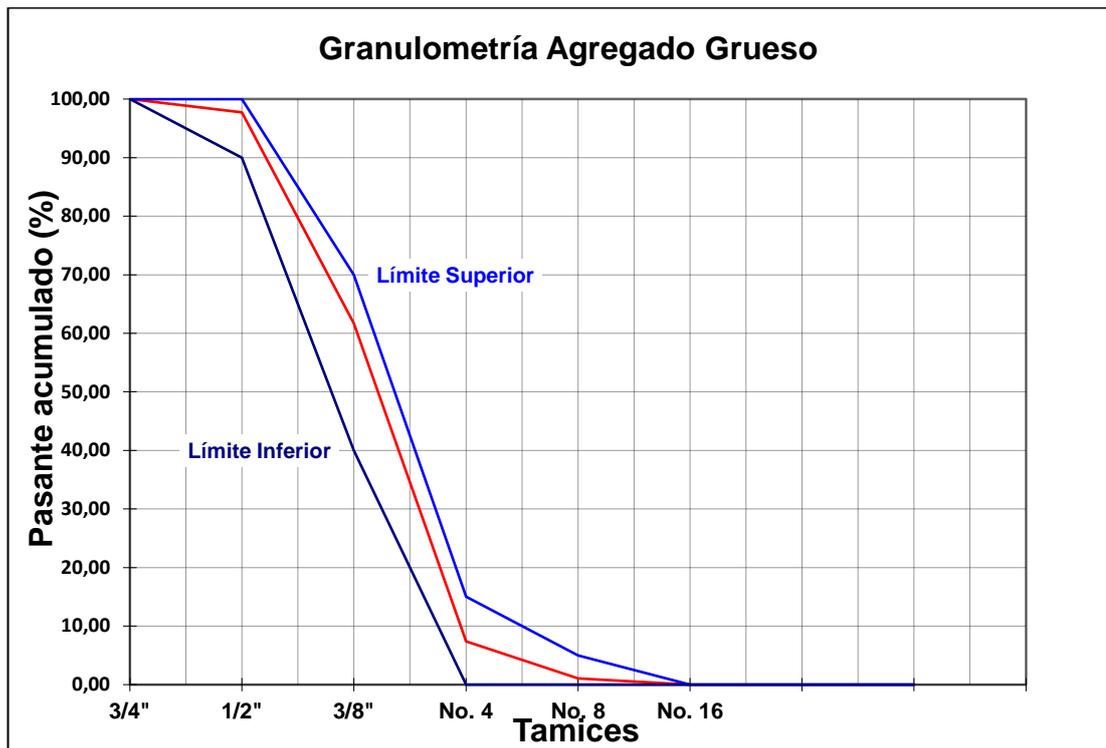
Mediante este procedimiento se determina que el tamaño máximo que posee el agregado grueso es de 1/2".

Tabla 34. Ensayo de clasificación del agregado grueso para hormigón

Datos de inicio (pesos)	Datos de inicio (pesos parciales)	Tamiz INEN (ASTM) N°	mm	Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones A.S.T.M. C 33
0,00	0,00	4"	100	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	3 1/2"	90	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100,00	
0,00	0,00	3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00	100
40,00	114,22	1/2"	12,5	114,22	2,28	2,28	97,72	90 a 100
856,00	1802,28	3/8"	9,5	1802,28	36,05	38,33	61,67	40 a 70
1.913,00	2713,62	No. 4	4,75	2713,62	54,27	92,60	7,40	0 a 15
147,00	317,21	No. 8	2,36	317,21	6,34	98,95	1,05	0 a 5
5,00	10,74	No. 16	1,18	10,74	0,21	99,16	0,84	
0,80	2,34	No. 30	0,60	2,34	0,05	99,21	0,79	
0,70	1,85	No. 50	0,30	1,85	0,04	99,25	0,75	
1,30	2,05	No. 100	0,15	2,05	0,04	99,29	0,71	
14,40	35,69	FONDO		35,69	0,71	100,00	0,00	

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 24. Curva granulométrica obtenida para el agregado grueso



Fuente: (Elaboración propia)

Gravedad específica de masa saturada con superficie seca del agregado grueso

Este proceso se desarrolló en base a la norma ASTM C 127, en donde se toma una muestra del agregado grueso el cual debe tener una saturación de un lapso de 24 horas y luego ser secada de manera superficial con algún tipo de franela. Después se pesa 100 gr de la muestra seca superficialmente. Se los coloca en una canastilla para ser sumergidos y obtener su peso total.

Con los datos obtenidos se aplica la ecuación para calcular la gravedad específica.

Datos

$B = \text{Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca}$

$$= 1000.00 \text{ gr}$$

$\text{Peso de la canastilla sumergida} + \text{material} = 1823.00 \text{ gr}$

$\text{Peso de la canastilla sumergida} = 1163.00 \text{ gr}$

$C = \text{Peso de la muestra sumergida en agua} = 660 \text{ gr}$

$$G. Específica = \frac{B}{B - C} \times 100$$

$$G. Específica = \frac{1000.00}{1000 - 659} \div 100 = 2932 \frac{k_g}{m^3}$$

Porcentaje de absorción del agregado grueso

La finalidad de realizar este procedimiento es principalmente determinar los cambios de peso que presenta el agregado grueso, la razón se debe al agua que es absorbida en los espacios de los poros dentro de su composición.

Para diagnosticar cuál es el porcentaje de absorción del agregado grueso posee se toma como referencia la norma ASTM C 127, como primera instancia la muestra se sumerge en agua durante un lapso de 24 horas. Después esta es secada de manera superficial con una franela u otro trapo para proceder a pesar la muestra que es superficialmente seca.

El paso siguiente se coloca la muestra en un horno a una temperatura de entre 110 C +- 5 C el tiempo que sea necesario la finalidad es eliminar la humedad y que la muestra quede completamente seca, se la deja secar de manera natural para poder pesarla.

Completado totalmente el proceso se emplea la siguiente ecuación con el fin de conocer el porcentaje de absorción:

Datos

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa = 987.00gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca = 1000 gr

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{C} \div 100$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{1000.00 - 987}{987} \times 100 = 1.37 \%$$

Peso volumétrico suelto (P.V.S) del agregado grueso

El proceso que se realiza es muy parecido al que se realiza al del agregado fino debido a que se acatar la normativa ASTM C 29, de esta

forma empezar por pesar a utilizar llenándolo con la muestra de agregado grueso para proceder a ensayarla, y proceder a pesar la muestra.

Para poder conocer el peso volumétrico suelto del agregado grueso se emplea la siguiente ecuación:

Datos

$A = \text{Peso del recipiente} = 5954.00 \text{ gr}$

$B = \text{Peso del recipiente} + \text{la muestra} = 9015.00 \text{ gr}$

$C = \text{Volumen del recipiente} = 0.002124 \text{ m}^3$

$$P.V.S = \frac{B - A}{C} \div 1000$$

$$P.V.S = \frac{9015.00 - 5954.00}{0.002124} \div 100 = 1441.2 \frac{k_g}{m^3}$$

Peso volumétrico varillado (P.V.V) del agregado grueso

El procedimiento que se sigue para el ensayo del peso volumétrico está en base de la norma de ASTM C 29, la muestra de la coloca en un recipiente a manera de 3 capas de igual magnitudes cada una, se procede a aplicar 25 golpes de varilla lisa de acero. La última capa de la coloca hasta el borde, de aplica la varilla y se enrasa con la misma varilla al finalizar se lo pesa.

Se aplica la siguiente ecuación con el fin de conocer el peso volumétrico suelto que posee el agregado grueso.

Datos

$A = \text{Peso del recipiente} = 6038.00 \text{ gr}$

$B = \text{Peso del recipiente} + \text{la muestra} = 9419.00 \text{ gr}$

$C = \text{Volumen del recipiente} = 0.002124 \text{ m}^3$

$$P.V.S = \frac{B - A}{C} \div 1000$$

$$P.V.S = \frac{9419.00 - 6038.00}{0.002124} \div 100 = 1592 \frac{k_g}{m^3}$$

3.4 Diseño y elaboración de mezclas

Se toma como referencia la normativa dispuesta por ACI 2011 dictada para el empleo de diseño de 210, 280 y 420 kg/cm². Los componentes a considerarse en la mezcla son:

Cemento a emplear: Portland tipo GU

Tamaño máximo del agregado grueso: 1/2”.

Consistencia de la mezcla: plástica y trabajable.

Para corroborar la información se realiza un resumen con los resultados obtenidos:

Tabla 35. Resultados de los ensayos realizados a los agregados

Ensayo	Agregado Fino	Agregado Grueso
Gravedad específica de masa saturada con superficie seca (kg/m ³)	2685	2941
Porcentaje de absorción (%)	1,32	1,37
Peso volumétrico suelto (P.V.S) (kg/m ³)	1546,29	1441,195
Peso volumétrico varillado (P.V.V) (kg/m ³)	—	1591,875
Módulo de finura	2,87	—
Densidad del Agregado	2680,115	2932,5

Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo con la metodología propuesta cada uno de los diseños constará con una dosificación de hielo y otra sin el mismo, con reemplazo de este material un porcentaje total del 80% del total del agua, para llegar a tomar un total de 12 probetas.

Diseño hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

El método empleado en donde la normativa ACI 2011, tiene como primer punto establecer la resistencia del diseño ($f'cr$) va de acuerdo a la función de resistencia a la compresión y se emplea con enfoque conservador. En la tabla 35 se puede ver los valores a utilizar de acuerdo al rango de resistencia.

Tabla 36. Resistencia a la compresión promedio sin desviación estándar

Resistencia a la Compresión Especificada $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida $f'c$ (kg/cm ²)
<210	$f'c + 70$
210-350	$f'c + 84$

>350	$f'c + 98$
------	------------

Elaboración propia. Adaptado de (Committee 214,2011, p.15)

Se estableció lo siguiente para el diseño:

$$f'c = 210 \frac{k_9}{cm^2}$$

$$f'c = 210 + 84$$

$$f'c = 294 \frac{k_9}{cm^2}$$

Después se establece un rango de asentamiento de entre 10 a 17,5cm, la mezcla es para que adquiera una consistencia trabajable y a su vez plástica.

Se procede a utilizar la tabla 37 para saber el porcentaje de agua requerida para la elaboración de la mezcla, que va de acuerdo al asentamiento y el tamaño máximo del agregado grueso. De esta forma dar como resultado

Tabla 37. Estimación de agua para la mezcla de acuerdo a distintos parámetros

Requerimiento de agua en kg/m ³ para distintos asentamientos y tamaños nominales máximos de agregado grueso									
Asentamiento		9,5 mm (3/8")	12,5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37,5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
mm	in	Hormigón sin aire incorporado							
25 a 50	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-

228.

Elaboración propia. Adaptado de (Committee 211,1991, p.22)

De otra forma la tabla se muestra la cantidad de aire atrapado dentro de la mezcla esto en dependencia al tamaño máximo nominal del agregado grueso. Esta investigación tiene su tamaño máximo de 1/2" y un valor de 2.5%.

Tabla 38. Cantidad de aire atrapado de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso

Tamaño Máximo nominal del agregado grueso	Cantidad del aire atrapado %
9,5 mm (3/8")	3
12,5 mm (1/2")	2,5
12,5 mm (3/4")	2
25 mm (1")	1,5
37,5 mm (1 1/2")	1
50 mm (2")	0,5
75 mm (3")	0,3
150 mm (6")	0,2

Elaboración propia. Adaptado de (Committee 211,1991, p.22)

En los valores de la tabla se ven la relación que corresponde a lo que es agua y cemento que se encuentran en función de la incorporación o no incorporación del aire y la resistencia deseada a los 28 días que se planteó con anterioridad 294 kg/cm².

Tabla 39. Relación entre factor agua/cemento y la resistencia a la compresión promedio

f' cr a 28 días (kg/cm ²)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	—
450	0,38	—

Elaboración propia. Adaptado de (Committee 211,1991, p.22)

Sin embargo, en la tabla no se presenta valores para la determinación del volumen del agregado grueso que es necesario para la mezcla. La cual es seleccionada en base a dos características principales: el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 40. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón

Tamaño Máximo nominal del agregado grueso	Volumen de árido grueso, seco por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5 mm (3/8")	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5 mm (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53
12,5 mm (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,6
25 mm (1")	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 mm (1 1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm (2")	0,78	0,76	0,74	0,72
75 mm (3")	0,82	0,8	0,78	0,76
150 mm (6")	0,87	0,85	0,83	0,81

Elaboración propia. Adaptado de (Committee 211, 1991, p.23)

En el módulo de finura del presente proyecto es de 2.87 el cual no está considerado en la tabla ya que se debe interpolar para llegar a conocer el valor a utilizar. Los cálculos que se utilizaron son los siguientes:

$$\frac{3.00 - 2.80}{0.53 - 0.55} = \frac{2.87 - 2.80}{x - 0.55}$$

$$x = 0.543$$

Posterior a esto se realiza el cálculo de la proporción de los materiales para el proceso de la mezcla de hormigón, las tablas que se pueden ver a continuación son proporcionadas por parte del laboratorio.

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN CON ADITIVO SF-106 (ADITEC) CEMENTO HOLCIM TIPO GU $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
--

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	210	Kg/cm ²
f'cr	294	Kg/cm ²
Aditivo	5098	cc
Cemento	424,8	Kg
Agua	225,35	lts
Piedra	865,24	kg
Arena	820,08	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	210	Kg/cm ²	
f'cr	294	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	Aditivo SF-106
Cemento	50	kg	Portland tipo GU
Agua	26,52	lts	
Piedra	2,5	Cajonetas de 40 x 40 x	17.7 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	19.5 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN CON ADITIVO SF-106 (ADITEC) CEMENTO HOLCIM TIPO GU $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ CON HIELO
--

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	210	Kg/cm ²
f'cr	294	Kg/cm ²
Aditivo	5098	cc
Cemento	424,8	Kg
Agua	45,07	lts
Hielo	180,28	kg
Piedra	865,235	kg
Arena	820,08	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	210	Kg/cm ²	
f'cr	294	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	
Cemento	50	cc	Aditivo SF-106
Agua	5,30	kg	Portland tipo GU
Hielo	21,22	kg	
Piedra	2,5	Cajonetas de 40 x 40 x	17.7 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	19.5 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

De igual manera se procede a realizarse la dosificación para las 12 probetas de proporción 4" x 8", se considera un 5% porcentaje de desperdicio el 5%, esto se desarrolla para la mezcla de hormigón sin hielo como para la mezcla en la cual hubo la variación de hielo con el 80% de remplazo agua de amasado convencional con hielo, durante la elaboración de este hormigón se redujo 184cc de agua para la mezcla de hielo. La dosificación final queda de la siguiente manera:

Dosificación Hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (sin hielo)

Aditivo: 122,4 cc

Cemento: 10,2 kg

Agua: 5,4 lts

Piedra: 22,61 kg

Arena: 13,00 kg

Dosificación Hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (con hielo)

Aditivo: 122,4 cc

Cemento: 10,2 kg

Agua: 1,08 lts – 0.184 = 0.896 lts

Hielo: 4,32 kg

Piedra: 22,61 kg

Arena: 13,00 kg

Diseño hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Se aplica el desarrollo del diseño anterior, para iniciar se aplica la tabla donde se establece una resistencia promedio para el presente diseño.

$$f'c = 280 \frac{k_9}{cm^2}$$

$$f'c = 280 + 84$$

$$f'c = 364 \frac{k_9}{cm^2}$$

Se conserva el rango de asentamiento que asegura la trabajabilidad y plasticidad de la mezcla de igual forma los valores proporcionados para saber el porcentaje de agua necesario para elaborar la mezcla y contenido de aire se mantiene 228 y 2.5%.

En lo que respecta a la relación agua y cemento, se visualiza en la tabla que no demuestra ningún valor para la resistencia promedio, que es calculada con anterioridad para lo cual se establece una relación de agua y cemento de 0.44 para desarrollar este modelo de diseño. El volumen de agregado grueso que se necesita para mezclar visualizado en la tabla se determina por 0.543.

Las tablas proporcionadas a continuación sobre los materiales para la elaboración de mezcla de hormigón fueron facilitadas por laboratorio.

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN
CON ADITIVO SF-106 (ADITEC)
CEMENTO HOLCIM TIPO GU
 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	280	Kg/cm ²
f'cr	364	Kg/cm ²
Aditivo	6120	cc
Cemento	510	Kg
Agua	225,80	Its
Piedra	865,20	kg
Arena	737	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	280	Kg/cm ²	
f'cr	364	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	
Cemento	50	kg	Aditivo SF-106
Agua	22,14	Its	Portland tipo GU
Piedra	2,5	Cajonetas de 40 x 40 x	18.4 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	19.5 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN
CON ADITIVO SF-106 (ADITEC)
CEMENTO HOLCIM TIPO GU
 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ CON HIELO

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	280	Kg/cm ²
f'cr	364	Kg/cm ²
Aditivo	6120	cc
Cemento	510	Kg
Agua	45,16	Its
Hielo	180,64	kg
Piedra	865,20	kg
Arena	737	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	280	Kg/cm ²	
f'cr	364	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	
Cemento	50	cc	Aditivo SF-106
Agua	4,43	kg	Portland tipo GU
Hielo	17,71	kg	
Piedra	2,5	Cajonetas de 40 x 40 x	18.4 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	19.5 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

Por último, se realiza la dosificación para la elaboración de 12 probetas de 4" x 8", se considera un 5% del porcentaje de desperdicio, esto se desarrolla para la mezcla de hormigón sin hielo como para la mezcla en la cual hubo la variación de hielo con el 80% de remplazo con agua de amasado convencional con hielo, durante la elaboración de este hormigón se redujo 268cc de agua para la mezcla de hielo. La dosificación final queda de la siguiente manera:

Dosificación Hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (sin hielo)

Aditivo: 154,8 cc
Cemento: 12,9 kg
Agua: 5,71 Its
Piedra: 22,61 kg
Arena: 11,68 kg

Dosificación Hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (con hielo)

Aditivo: 154,8 cc
Cemento: 12,9 kg

Agua: 1,14 lts – 0.268 = 0.872 lts

Hielo: 4,57 kg

Piedra: 22,61 kg

Arena: 11,68 kg

Diseño hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$

Se aplica el desarrollo del diseño anterior, para iniciar se aplica la tabla donde se establece una resistencia promedio para el presente diseño.

$$f'c = 420 \frac{k_9}{cm^2}$$

$$f'c = 420 + 98$$

$$f'c = 518 \frac{k_9}{cm^2}$$

Se conserva el rango de asentamiento que asegura la trabajabilidad y plasticidad de la mezcla de igual forma los valores proporcionados para saber el porcentaje de agua necesario para elaborar la mezcla y contenido de aire se mantiene 228 y 2.5%.

En lo que respecta a la relación agua y cemento, se visualiza en la tabla que no demuestra ningún valor para la resistencia promedio que es calculada con anterioridad para lo cual se establece una relación de agua y cemento de 0.39 para desarrollar este modelo de diseño. El volumen de agregado grueso que se necesita para mezclar visualizado en la tabla se determina por 0.543.

Las tablas proporcionadas a continuación sobre los materiales para la elaboración de mezcla de hormigón fueron facilitadas por laboratorio.

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN
CON ADITIVO SF-106 (ADITEC)
CEMENTO HOLCIM TIPO GU
 $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	420	Kg/cm ²
f'cr	518	Kg/cm ²
Aditivo	6955	cc
Cemento	579.6	Kg
Agua	226.00	lts
Piedra	865.20	kg
Arena	672.7	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	420	Kg/cm ²	
f'cr	518	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	
Cemento	50	Kg	Aditivo SF-106
Agua	19.5	lts	Portland tipo GU
Piedra	2.5	Cajonetas de 40 x 40 x	16.2 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	15.6 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

DOSIFICACIÓN DE DISEÑO DE HORMIGÓN
CON ADITIVO SF-106 (ADITEC)
CEMENTO HOLCIM TIPO GU
 $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ CON HIELO

DOSIFICACION EN KG PARA 1 m ³ DE HORMIGON		
f'c	420	Kg/cm ²
f'cr	518	Kg/cm ²
Aditivo	6955	cc
Cemento	579.6	Kg
Agua	45.20	lts
Hielo	180.80	kg
Piedra	865.20	kg
Arena	672.7	kg
Revenimiento	10 a 17,5	cm

DOSIFICACION EN CAJONETAS PARA UN SACO DE CEMENTO			
f'c	420	Kg/cm ²	
f'cr	518	Kg/cm ²	
Aditivo	600	cc	
Cemento	50	cc	Aditivo SF-106
Agua	3.90	kg	Portland tipo GU
Hielo	15.60	kg	
Piedra	2.5	Cajonetas de 40 x 40 x	16.2 cm
Arena	2	Cajonetas de 40 x 40 x	15.6 cm
Revenimiento	10 a 17,5	cm	

Por último, se realiza la dosificación, para la elaboración de 12 probetas de 4" x 8", se considera un 5% del porcentaje de desperdicio, esto se desarrolla para la mezcla de hormigón sin hielo como para la mezcla en la cual hubo la variación de hielo con el 80% de remplazo con agua de amasado convencional con hielo, durante la elaboración de este hormigón se redujo 152cc de agua para la mezcla de hielo. La dosificación final queda de la siguiente manera:

Dosificación Hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (sin hielo)

Aditivo: 157,2 cc

Cemento: 13,1 kg

Agua: 5,1 lts

Piedra: 22,61 kg

Arena: 10,66 kg

Dosificación Hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (con hielo)

Aditivo: 157,2 cc

Cemento: 13,1 kg

Agua: 1,02 lts – 0.225 = 0795 lts

Hielo: 4,08 kg

Piedra: 22,61 kg

Arena: 10,66 kg

3.5 Proceso de toma de probetas

Para realizar las mezclas de hormigón, estas se desarrollaron en las instalaciones de un laboratorio, debido a que este cuenta con las herramientas necesarias para hacer un procedimiento correcto.

Para empezar a preparar la mezcla utilizó una concreteira que su capacidad era de $\frac{1}{2}$ saco.

En la concreteira se mezclaron los materiales en un orden específico:

- Agregado grueso
- Agregado fino
- 50% del agua de amasado
- Cemento
- 50% del agua de amasado + aditivo

Para la mezcla del hielo, este se colocó posterior del agregado fino, este procedimiento se lo visualiza en la Ilustración 25.

Ilustración 25. Concretera empleada en la elaboración de la mezcla



Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 26. Materiales colocados en la mezcladora



Fuente: (Elaboración propia)

3.5.1 Ensayos al hormigón en estado fresco temperatura y revenimiento del hormigón

Concluido el procedimiento de mezclado, el hormigón fresco fue vertido en una carretilla, donde se procedió a tomar la temperatura de la mezcla, como se visualiza en la Ilustración 27.

Ilustración 27. Toma de temperatura de la mezcla de hormigón



Fuente: (Elaboración propia)

El proceso realizado se basa en la norma ASTM C 1064, en donde se emplea la herramienta de un termómetro electrónico, el que se lo deja por un par de minutos para tener un registro de la temperatura.

Después para saber cuál es el revenimiento de la mezcla en estado fresco, se procede a realizarse el ensayo en el Cono de Abrams como se puede ver en la Ilustración 28. Este procedimiento es realizado en basa a la norma ASTM C 143 tiene una duración de 2 minutos y medio.

Ilustración 28. Prueba de revenimiento con el Cono de Abrams



Fuente: (Elaboración propia)

Finalizados los ensayos de las mezclas se vierten en probetas donde son compactados con una varilla lisa, sus especificaciones tienen una punta semiesférica de 10 mm de diámetro y vibradas con un mazo de cabeza de goma esto basado en la normativa ASTM C 192.

Se toman 12 muestras por cada una de las mezclas como se puede ver en la figura, esto debido a que en la normativa estipulada sugiere que se moldeen como mínimo 3 especímenes a ensayar.

Ilustración 29. Muestras de cilindro tomadas durante el proceso



Fuente: (Elaboración propia)

3.6 Curado

En el día siguiente de este proceso se da paso a identificar los especímenes, con las características correspondientes esto se puede visualizar en la Ilustración 30.

Ilustración 30. Colocación de datos en los especímenes



Fuente: (Elaboración propia)

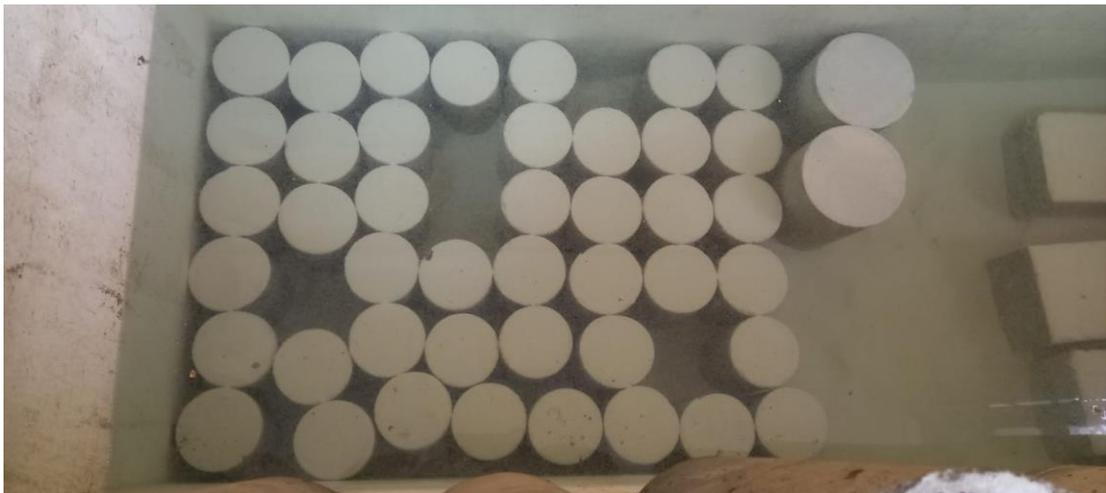
Luego las muestras proceden a ser desencofradas y colocadas en una piscina de curado esto se visualiza en la Ilustración 31 e Ilustración 32.

Ilustración 31. Especímenes del diseño de 210, 280 y 420 kg/cm² desencofrados



Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 32. Especímenes de los distintos diseños colocados en la piscina de curado



Fuente: (Elaboración propia)

La piscina de curado tiene como característica, que se encuentra en una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, esto se debe a que almacena agua esta tiende a saturarse con hidróxido de calcio para evitar la lixiviación de las muestras.

3.7 Prueba a la compresión simple

El método de ensayo se realiza según lo estipulado por la normativa ASTM C 39, en esta determina la resistencia a la compresión que poseen las probetas de hormigón, esto a que el ensayo aplicado al hormigón debe alcanzar una densidad superior a 800 kg/m³.

Según la norma los especímenes deben tener un tamaño de 6"x12" o de 4" x 8" en este caso se aplicó el segundo.

Precedente a la ejecución de este ensayo, las muestras son pesadas y medidas como se puede ver en la Ilustración 33. Después son colocados en la máquina para empezar con el ensayo como se ve en la Ilustración 34.

Ilustración 33. Medición de las probetas



Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 34 Máquina empleada para realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de hormigón



Fuente: (Elaboración propia)

4 CAPÍTULO IV – RESULTADOS

4.1 Hormigón en estado fresco – Ensayos/resultados

4.1.1 Temperatura y Revenimiento

Los resultados obtenidos de temperatura y revenimiento para cada

Tabla 41. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 210 kg/cm² una de las mezclas se pueden ver en las siguientes tablas:

Hormigón f'c = 210 kg/cm ²	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del hormigón (°C)	Revenimiento (cm)
Patrón sin hielo	28	32	16
80% reemplazo con hielo	29	11	15

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 42. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 280 kg/cm²

Hormigón f'c = 280 kg/cm ²	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del hormigón (°C)	Revenimiento (cm)
Patrón sin hielo	28	28.3	18
80% reemplazo con hielo	29	17	15

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 43. Resultados de temperatura y revenimiento para hormigón de 420 kg/cm²

Hormigón f'c = 420 kg/cm ²	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del hormigón (°C)	Revenimiento (cm)
Patrón sin hielo	28	29.2	15
80% reemplazo con hielo	29	15.5	14

Fuente: (Elaboración propia)

4.1.2 Resistencia a la compresión simple

Las diferentes mezclas fueron ensayadas al cabo de 3,7,14 y 28 días, para lo cual los resultados se encuentran sintetizados en las tablas 44, 45, 46, 47,48 y 49.

Las resistencias que fueron utilizadas para la elaboración de las gráficas “Edad vs Resistencia”, se visualizan en las Ilustraciones 35, 36, 37, 38, 39 y 40.

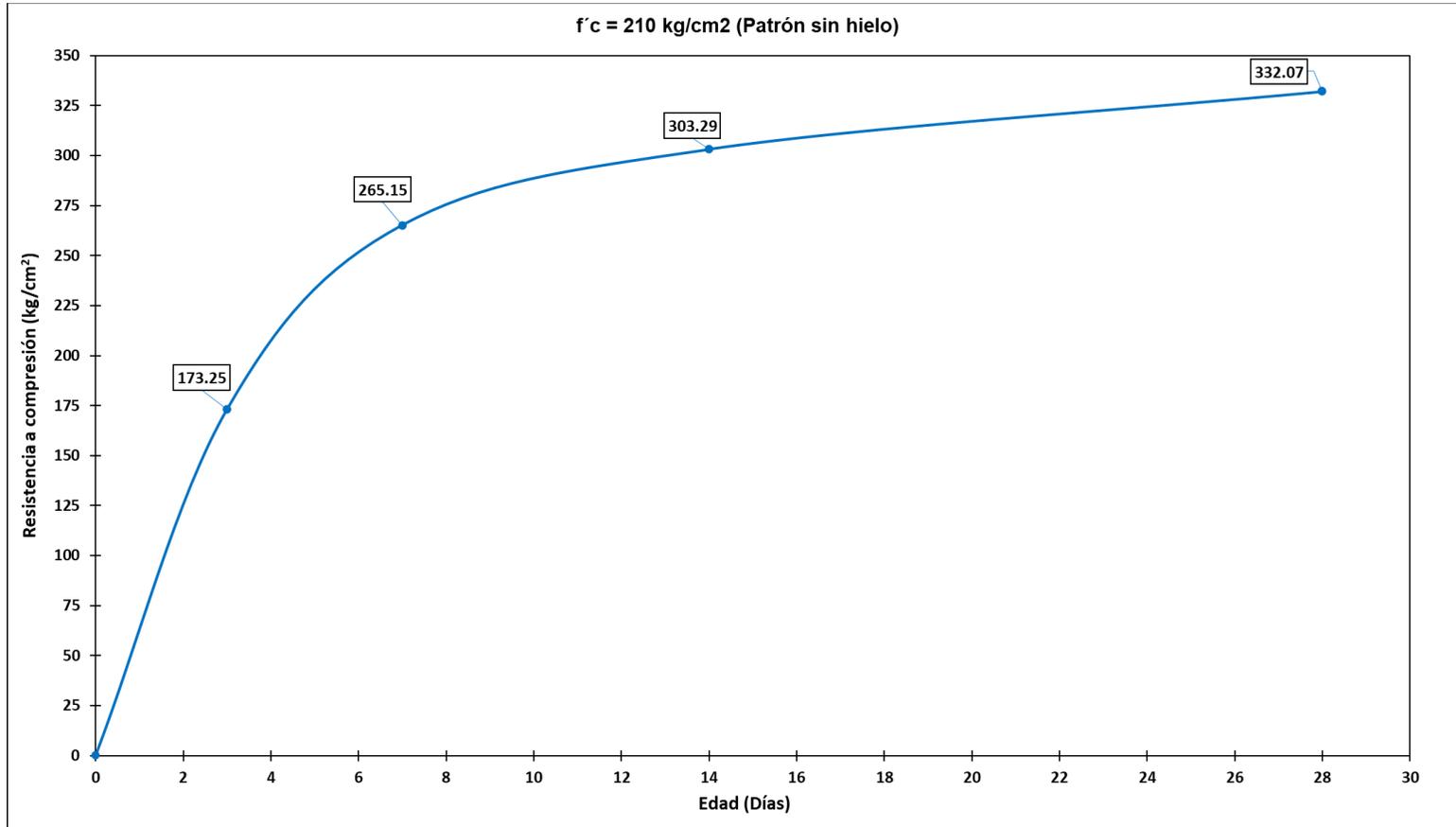
- Hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo)

Tabla 44. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo).

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/cm^3)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	138.63	81.71	10.2	20.4	4134	2479.99	173.00	210	82.38	173.25	82.50
	139.51	81.71	10.2	20.3	4110	2477.74	174.10	210	82.90		
	138.36	81.71	10.2	20.4	4128	2476.39	172.66	210	82.22		
7	211.48	81.71	10.2	20.4	4144	2485.99	263.91	210	125.67	265.15	126.26
	210.75	80.12	10.1	20.4	4098	2507.32	268.23	210	127.73		
	211.00	81.71	10.2	20.1	4032	2454.90	263.31	210	125.39		
14	249.21	81.71	10.2	20.3	4156	2505.47	311.00	210	148.09	303.29	144.42
	238.62	81.71	10.2	20.2	4178	2531.20	297.78	210	141.80		
	241.28	81.71	10.2	20.4	4112	2466.79	301.10	210	143.38		
28	265.58	81.71	10.2	20.4	4060	2435.60	331.42	210	157.82	332.07	158.13
	267.84	81.71	10.2	20.2	4124	2498.49	334.24	210	159.16		
	264.88	81.71	10.2	20.3	4172	2515.12	330.55	210	157.41		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 35. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: (Elaboración propia)

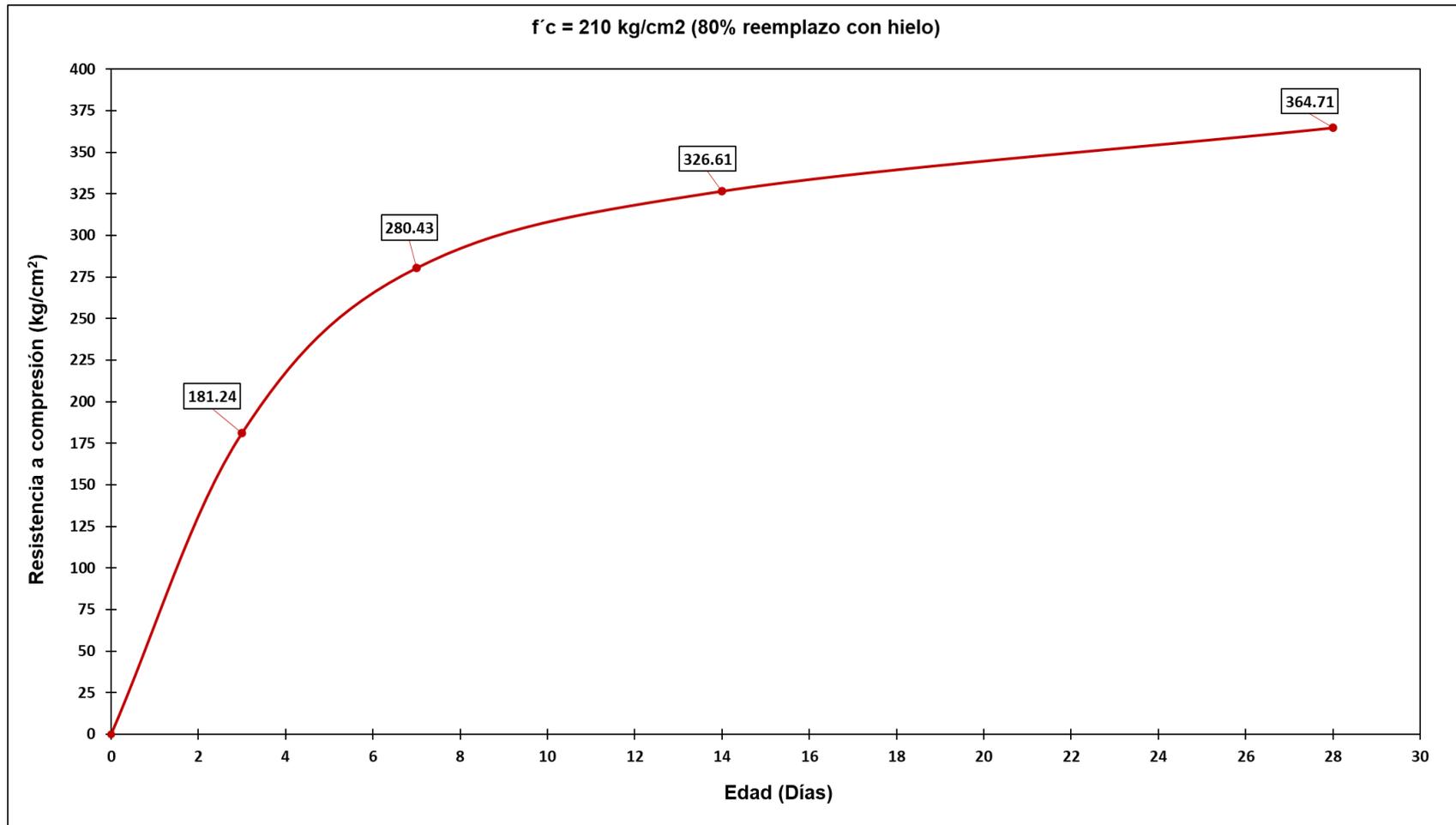
- Hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (80% reemplazo con hielo)

Tabla 45. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Con 80% hielo de reemplazo).

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	146.13	83.32	10.3	20.2	4152	2466.84	178.84	210	85.16	181.24	86.31
	147.49	81.71	10.2	20.2	4098	2482.73	184.06	210	87.65		
	144.91	81.71	10.2	20.2	4178	2531.20	180.84	210	86.11		
7	222.99	81.71	10.2	20.3	4172	2515.12	278.28	210	132.51	280.43	133.54
	222.83	80.12	10.1	20.2	4188	2587.75	283.61	210	135.05		
	223.89	81.71	10.2	20.5	4172	2490.58	279.40	210	133.05		
14	267.19	81.71	10.2	20.5	4110	2453.57	333.43	210	158.78	326.61	155.53
	263.99	83.32	10.3	20.4	4106	2415.60	323.07	210	153.84		
	259.08	81.71	10.2	20.4	4082	2448.80	323.31	210	153.96		
28	283.39	80.12	10.1	20.4	4134	2529.34	360.69	210	171.76	364.71	173.67
	296.52	81.71	10.2	20.3	4166	2511.50	370.04	210	176.21		
	291.22	81.71	10.2	20.3	4164	2510.29	363.42	210	173.06		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 36. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).



Fuente: (Elaboración propia)

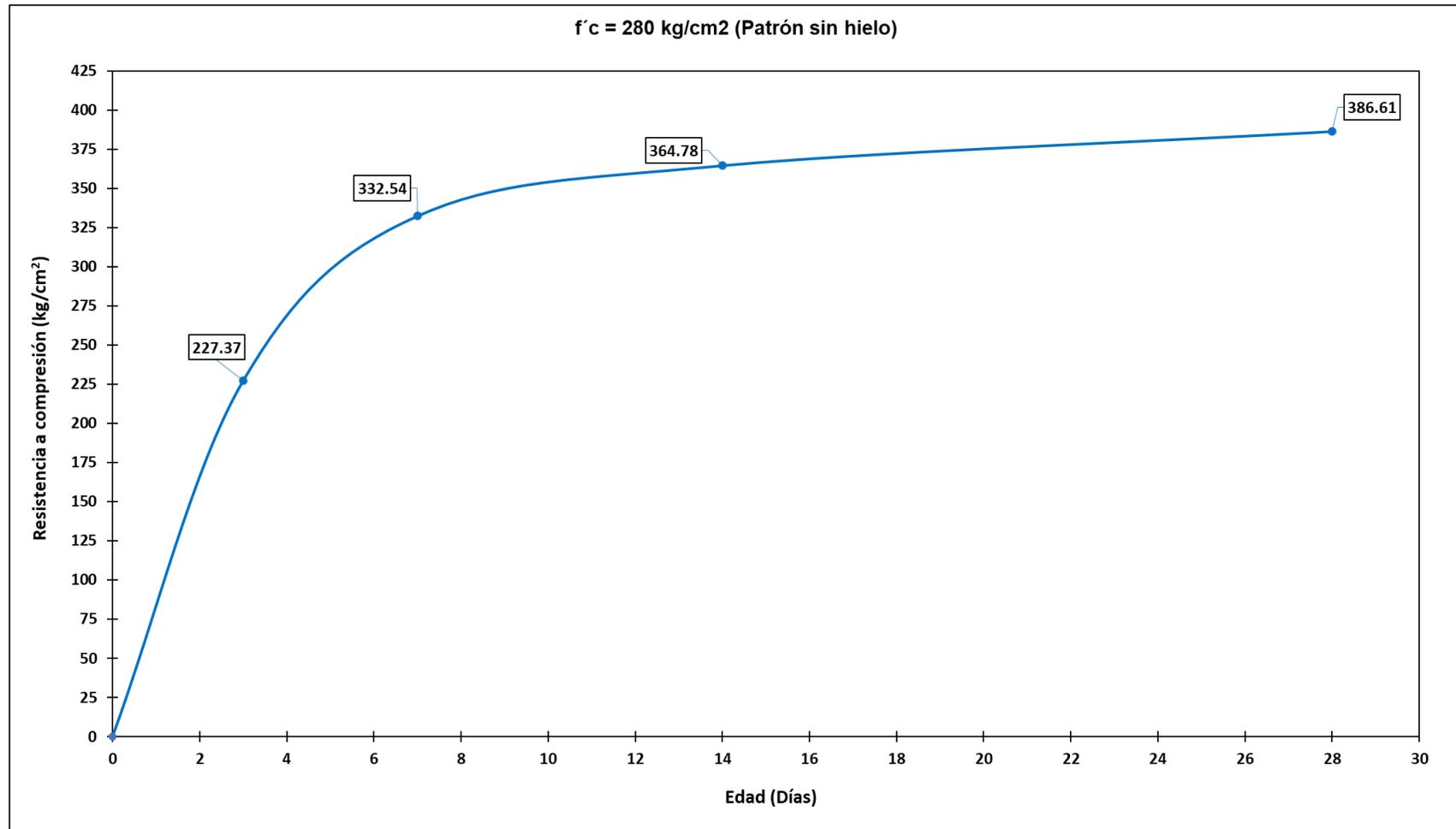
- Hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo)

Tabla 46. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/m^3)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	179.67	81.71	10.20	20.30	4166	2511.50	224.22	280	80.08	227.37	81.21
	179.09	81.71	10.20	20.40	4188	2512.39	223.49	280	79.82		
	180.55	78.54	10.00	20.30	4106	2575.33	234.42	280	83.72		
7	266.92	81.71	10.20	20.30	4142	2497.03	333.10	280	118.96	332.54	118.76
	267.01	81.71	10.20	20.30	4034	2431.92	333.21	280	119.00		
	265.48	81.71	10.20	20.30	4138	2494.62	331.30	280	118.32		
14	290.24	81.71	10.20	20.20	4134	2504.55	362.20	280	129.36	364.78	130.28
	290.39	80.12	10.10	20.20	4152	2565.51	369.60	280	132.00		
	290.52	81.71	10.20	20.50	4158	2482.22	362.55	280	129.48		
28	309.97	81.71	10.20	20.40	4124	2473.99	386.82	280	138.15	386.61	138.08
	313.16	81.71	10.20	20.30	4130	2489.80	390.80	280	139.57		
	306.28	81.71	10.20	20.30	4152	2503.06	382.22	280	136.51		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 37. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: (Elaboración propia)

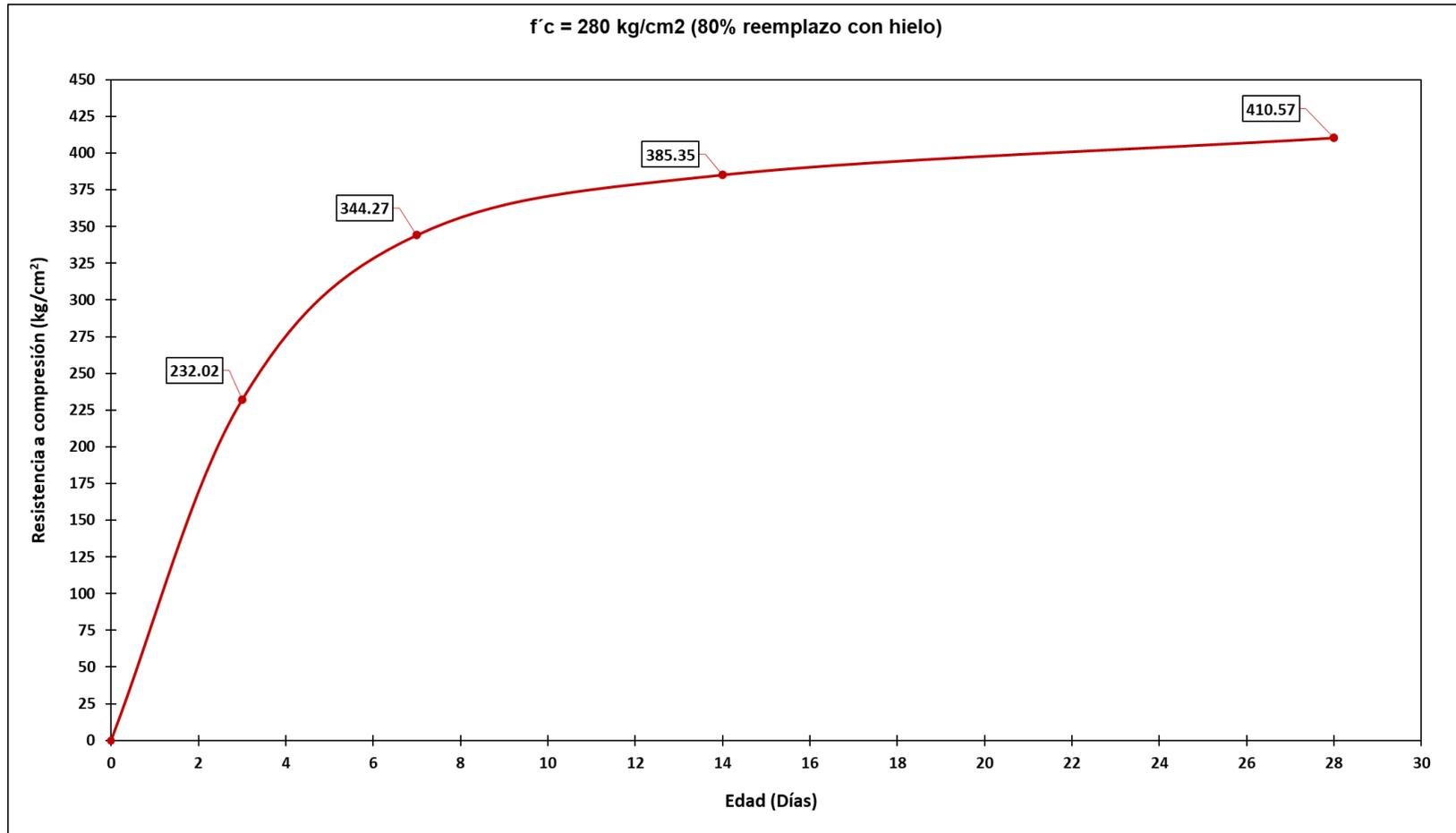
- Hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (80% reemplazo con hielo)

Tabla 47. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/cm^3)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	185.99	81.71	10.2	20.5	4154	2479.83	232.10	280	82.89	232.02	82.86
	186.87	81.71	10.2	20.4	4170	2501.59	233.20	280	83.29		
	184.91	81.71	10.2	20.3	4106	2475.33	230.75	280	82.41		
7	272.40	80.12	10.1	20.6	4142	2509.63	346.70	280	123.82	344.27	122.95
	271.28	80.12	10.1	20.5	4172	2540.14	345.27	280	123.31		
	273.11	81.71	10.2	20.3	4142	2497.03	340.82	280	121.72		
14	308.89	81.71	10.2	20.4	4072	2442.80	385.47	280	137.67	385.35	137.63
	309.50	81.71	10.2	20.2	3988	2416.09	386.23	280	137.94		
	307.99	81.71	10.2	20.3	4158	2506.68	384.35	280	137.27		
28	330.33	81.71	10.2	20.2	4110	2490.01	412.23	280	147.22	410.57	146.63
	335.91	81.71	10.2	20.2	4172	2527.57	419.19	280	149.71		
	327.09	83.32	10.3	20.2	4170	2477.54	400.30	280	142.96		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 38. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).



Fuente: (Elaboración propia)

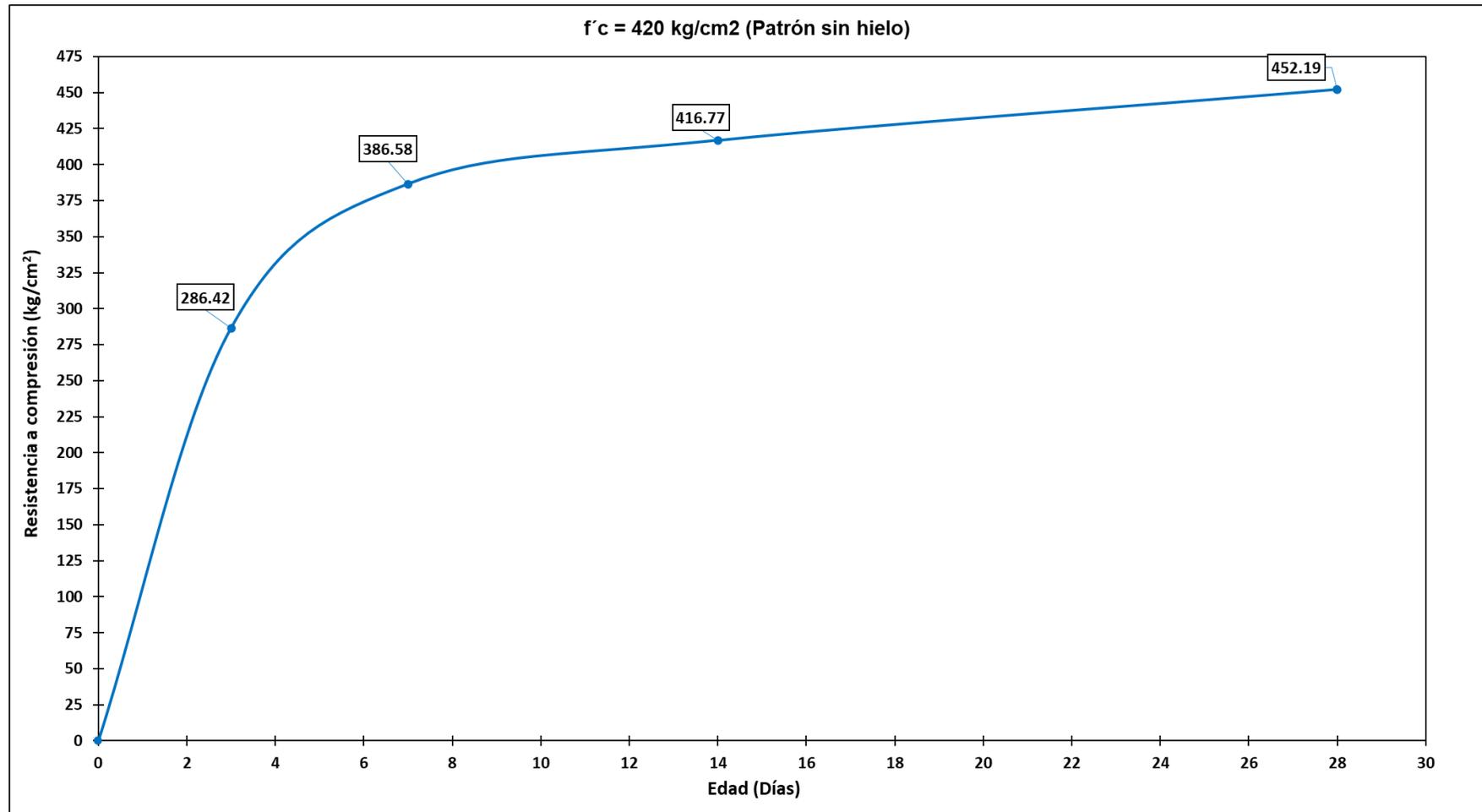
- Hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo)

Tabla 48. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón sin hielo)

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	222.89	81.71	10.20	20.3	4155	2504.87	278.15	420	66.23	286.42	68.20
	234.56	81.71	10.20	20.4	4101	2460.19	292.71	420	69.69		
	231.10	81.71	10.20	20.2	4031	2442.14	288.40	420	68.67		
7	302.12	81.71	10.20	20.1	4135	2517.61	377.02	420	89.77	386.58	92.04
	306.65	80.12	10.10	20.3	4191	2576.85	390.29	420	92.93		
	314.46	81.71	10.20	20.30	4175	2516.92	392.42	420	93.43		
14	337.13	81.71	10.20	20.30	4119	2483.16	420.71	420	100.17	416.77	99.23
	332.54	81.71	10.20	20.4	4133	2479.39	414.99	420	98.81		
	338.78	83.32	10.30	20.3	4137	2445.82	414.60	420	98.72		
28	356.34	81.71	10.20	20.4	4155	2492.59	444.69	420	105.88	452.19	107.66
	374.77	81.71	10.20	20.4	4153	2491.39	467.69	420	111.35		
	355.95	81.71	10.20	20.4	4175	2504.59	444.20	420	105.76		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 39. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: (Elaboración propia)

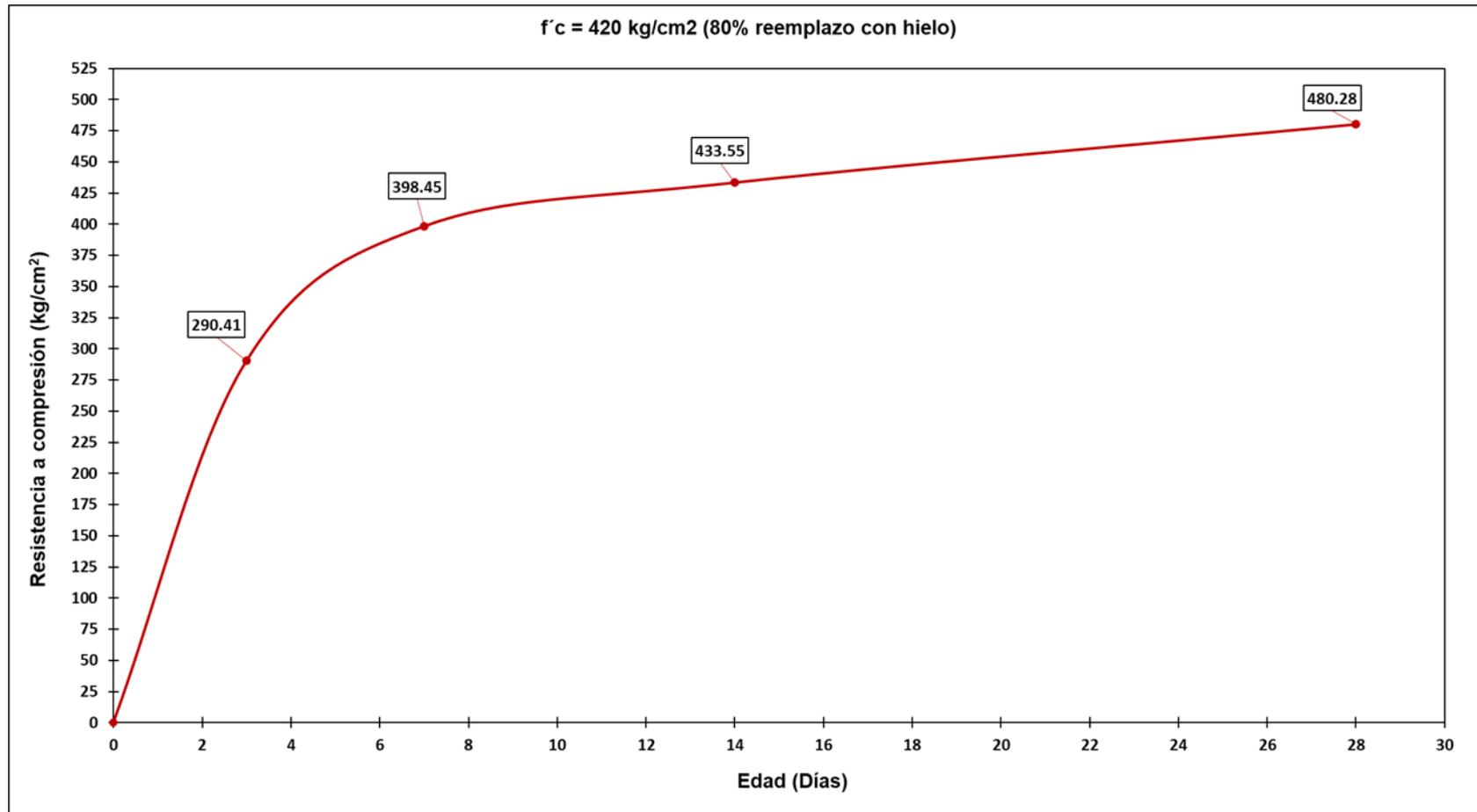
- Hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (80% reemplazo con hielo)

Tabla 49. Valores obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Con hielo de reemplazo).

Edad (Días)	Carga (KN)	Área (cm^2)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Densidad (kg/cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	Resistencia Especificada (kg/cm^2)	%	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	% Promedio
3	236.58	81.71	10.2	20.20	4181	2533.02	295.23	420	70.29	290.41	69.14
	227.29	81.71	10.2	20.10	4175	2541.97	283.64	420	67.53		
	229.69	80.12	10.1	20.00	4101	2559.34	292.34	420	69.60		
7	316.12	81.71	10.2	20.2	4035	2444.57	394.49	420	93.93	398.45	94.87
	322.81	81.71	10.2	20.2	4151	2514.84	402.84	420	95.92		
	318.94	81.71	10.2	20.2	4167	2524.54	398.01	420	94.77		
14	350.82	81.71	10.2	20.4	4109	2464.99	437.80	420	104.24	433.55	103.23
	342.64	83.32	10.3	20.3	4057	2398.53	419.33	420	99.84		
	355.42	81.71	10.2	20.1	4169	2538.32	443.54	420	105.60		
28	370.62	80.12	10.1	20.2	4167	2574.78	471.71	420	112.31	480.28	114.35
	382.19	81.71	10.2	20.2	4155	2517.27	476.95	420	113.56		
	386.71	80.12	10.1	20.3	4107	2525.20	492.19	420	117.19		

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 40. Curva del desarrollo de resistencia del hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: (Elaboración propia)

5 CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos recopilados de los ensayos realizados al hormigón en estado fresco, como en estado endurecido de los diseños patrón y los diseños con 80% de reemplazo con hielo se comprobó un mejor desempeño en los resultados comparativos.

Con los resultados del hormigón en estado fresco, los revenimientos de los diseños patrón dan mediciones de 16, 18 y 15 cm, mientras que los diseños con 80% de reemplazo con hielo dan mediciones de 15, 15 y 14 cm respectivamente a los diseños 210, 280 y 420 kg/cm². De esta forma demostrar que la mezcla con hielo presenta similar trabajabilidad que el diseño patrón, para así cumplir con las especificaciones de los objetivos específicos de este tema.

Luego al analizar las temperaturas iniciales, que para los diseños patrón fueron de 32, 28.3, 29.2 °C, y consecuentemente para los diseños con 80% de reemplazo con hielo fueron de 11, 17, 14 °C respectivamente, se logra evidenciar una disminución de temperatura que favorece a la reducción de fisuras y por ende un mejor desempeño en el hormigón.

Ahora con el análisis de los ensayos del hormigón en estado endurecido, notamos que cumplió con la resistencia promedio de los diseños de 210, 280, 420 kg/cm² a los 28 días según lo señalado por el método ACI. Se logra señalar que los diseños con 80% de reemplazo con hielo tiene un incremento considerable de 8.95%, 4.72%, 5.85% con respecto a los diseños patrón.

Con estos datos podemos concluir que cuando se hielo junto con el amasado se obtiene beneficios adicionales que se obtiene, cuando se trabaja en condiciones adversas por las elevadas temperaturas del clima en la zona, cuando se necesita acelerar las etapas de construcciones entre la fundición y el tensado, cuando se quiere obtener un mejor rendimiento económico sin perjudicar la calidad.

Es así como en las estructuras postensadas, luego de la función se pueden tensar los tendones en un menor tiempo porque el hormigón ha adquirido una resistencia inicial más rápida, al mismo tiempo que se disminuye el impacto negativo que representa trabajar con las altas temperaturas climáticas de la zona.

En las estructuras pretensadas y prefabricadas, con un hormigón de las características descritas en el presente tema, que acelera su curva de resistencia a la compresión, se puede acortar el tiempo de desencofrado luego de la fundición, a fin de desocupar los patios para dar lugar a la construcción de otros elementos requeridos para una nueva obra, a favor de un mejor rendimiento económico.

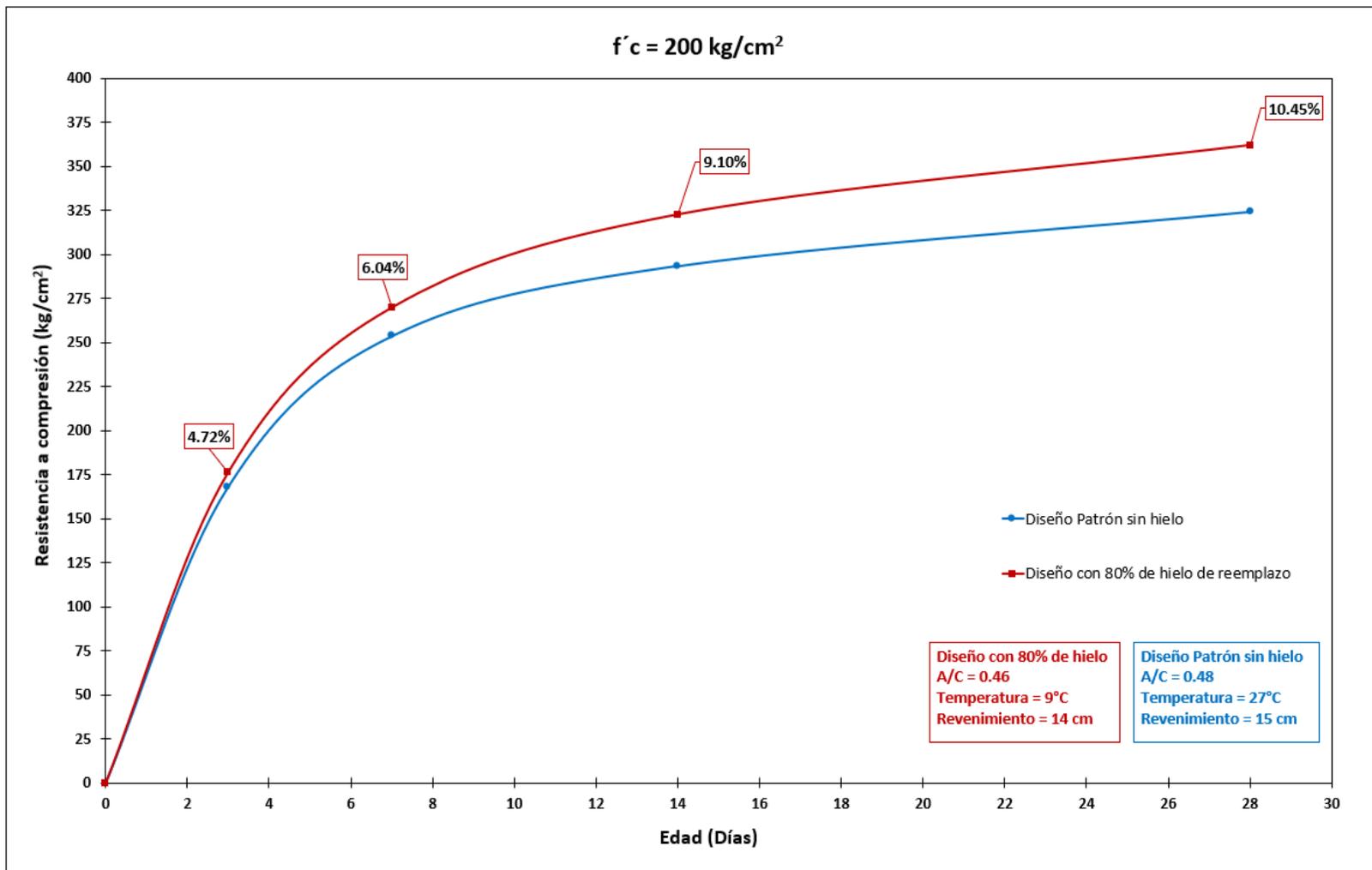
En la tabla 50 se presenta un resumen de resultados.

Tabla 50. Resumen de los resultados de los diseños de 210, 280, 420 kg/cm²

Parámetros analizados	f'c = 210 (kg/cm ²)		f'c = 280 (kg/cm ²)		f'c = 420 (kg/cm ²)	
	Sin Hielo	80% Hielo	Sin Hielo	80% Hielo	Sin Hielo	80% Hielo
Resistencia promedio a 28 días (kg/cm ²)	332.07	364.71	386.61	410.57	452.19	480.28
Temperatura del Hormigón (°C)	32	11.0	28.3	17.0	29.2	14.0
Revenimiento (cm)	16.0	15.0	18.0	15.0	15.0	14.0
Relación A/C	0.53	0.51	0.44	0.42	0.39	0.37

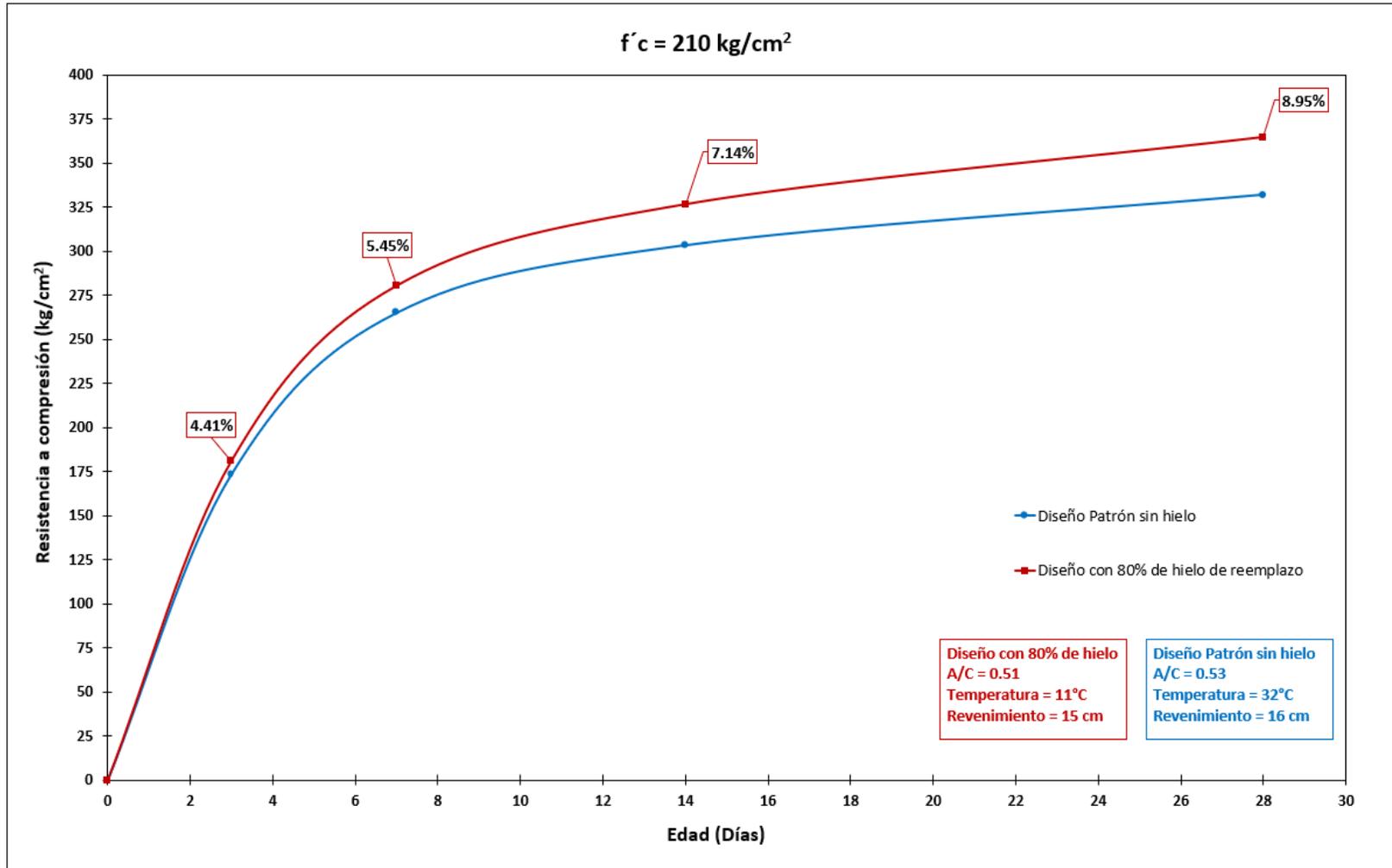
Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 41. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



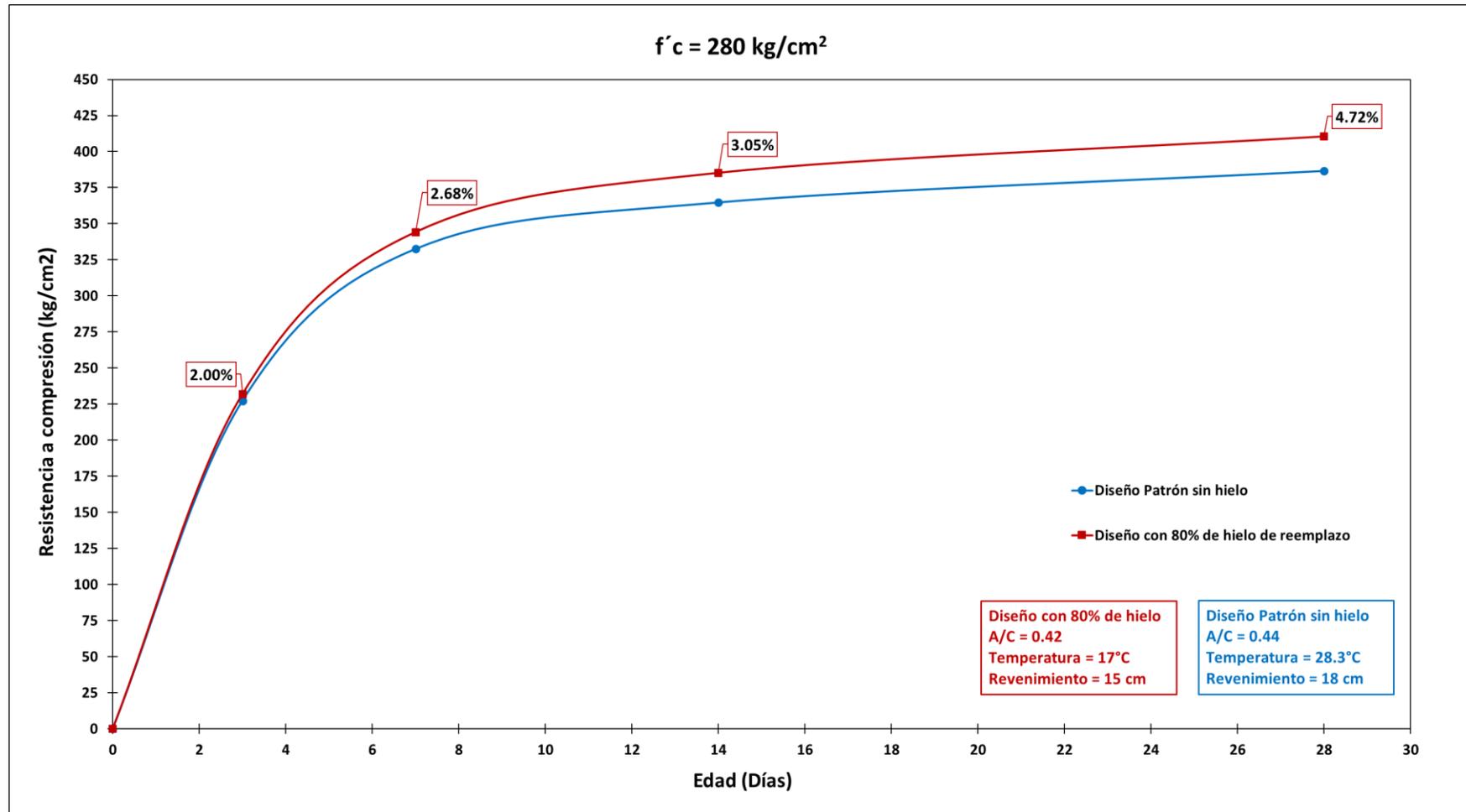
Fuente: (Garzón, 2021)

Ilustración 42. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



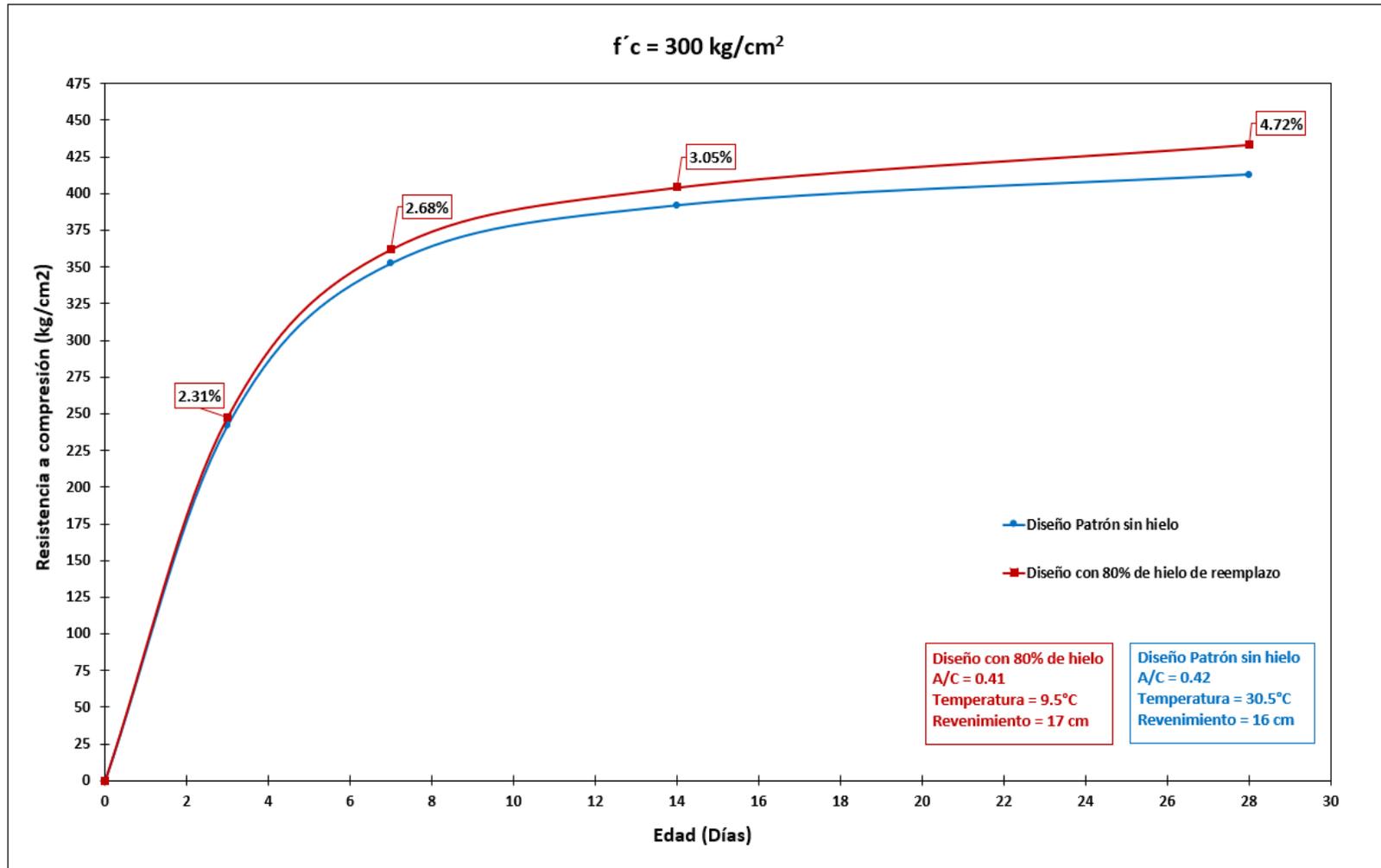
Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 43. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



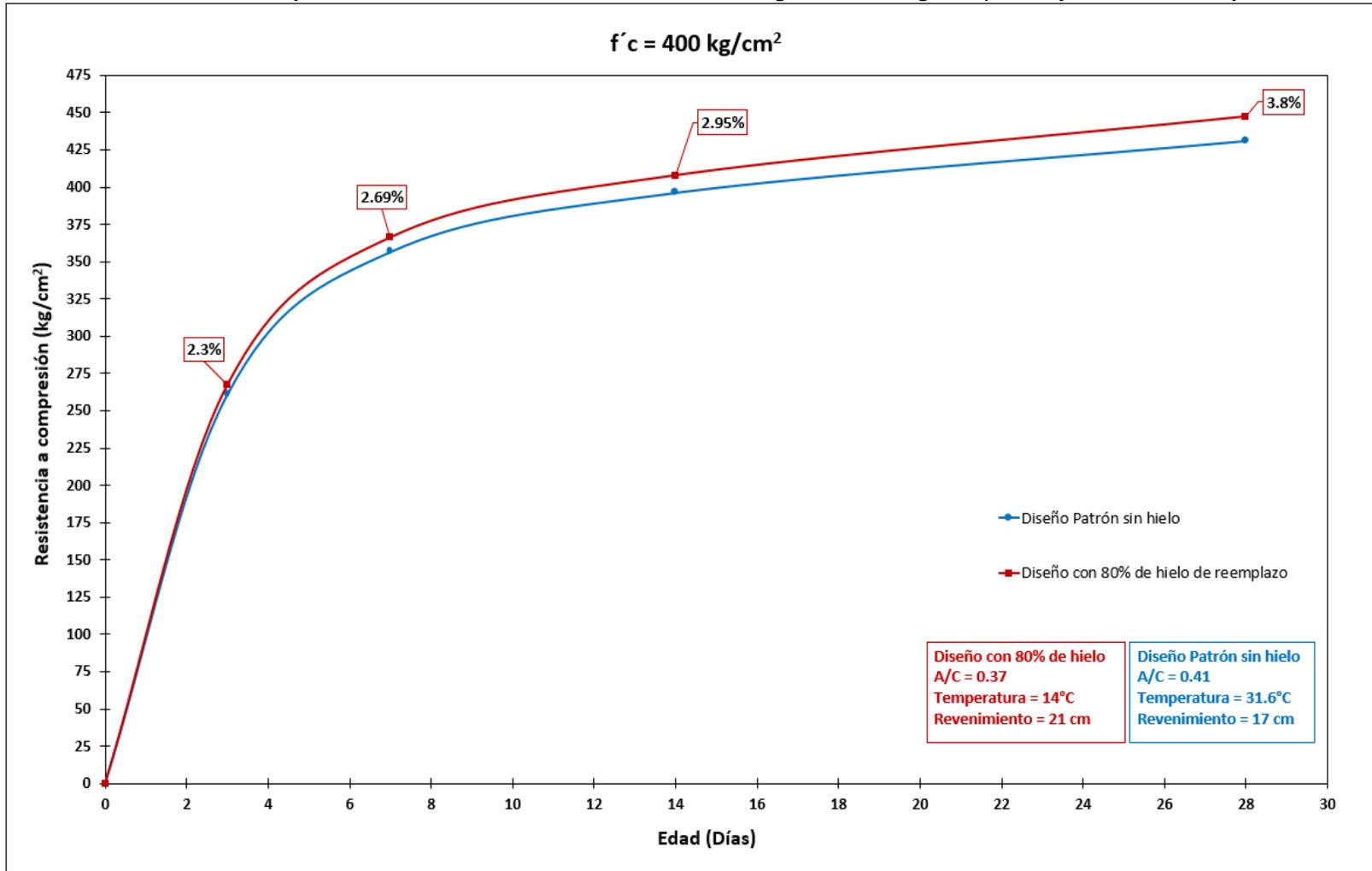
Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 44. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



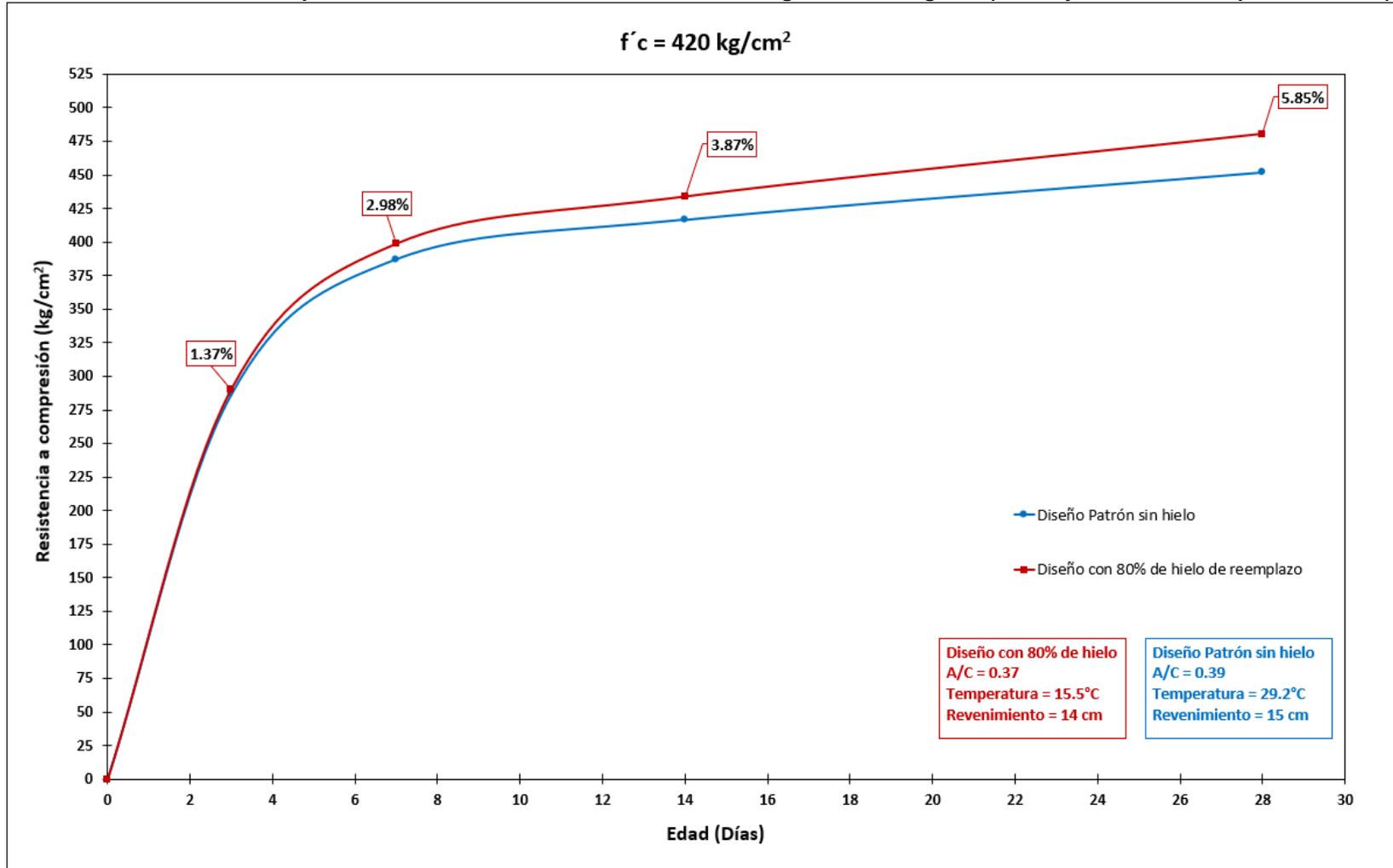
Fuente (Garzón, 2021)

Ilustración 45. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



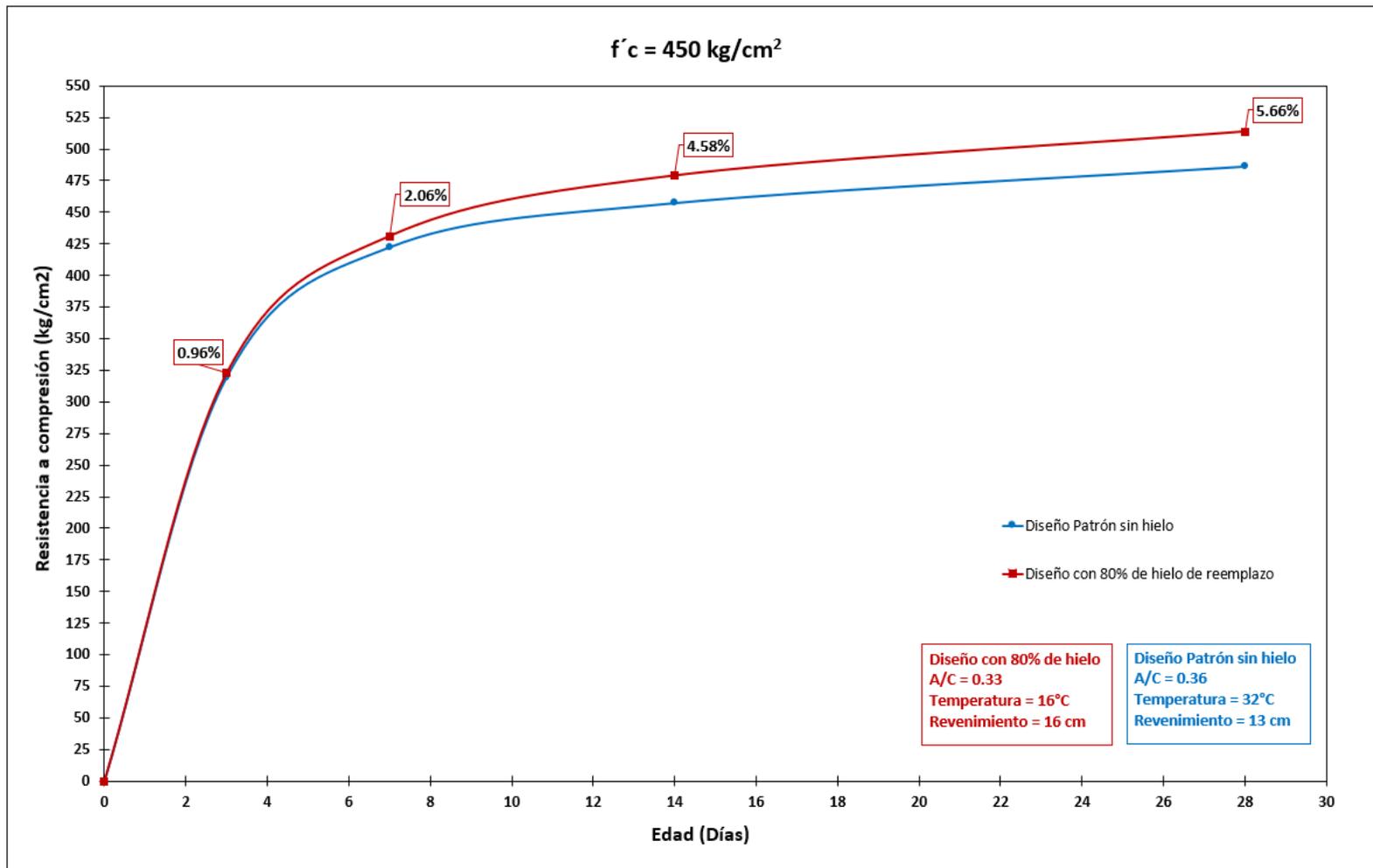
Fuente (Córdova Coronel, 2021)

Ilustración 46. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 47. Curva comparativa del desarrollo de la resistencia del hormigón $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ (Patrón y con 80% de remplazo con hielo).



Fuente (Córdova Coronel, 2021)

CONCLUSIONES

Concluida la tercera fase investigativa, se obtienen los siguientes resultados:

Fueron preparados diseños de hormigón presforzado con alta resistencia inicial, con $f'c=210, 280$ y 420 Kg/cm^2 , preparadas a) con hielo triturado en sustitución del agua de amasado y b) sin hielo, todos con el mismo revenimiento aproximadamente. Los ensayos de resistencia a la compresión simple indican que hay mayor resistencia en hormigones donde se sustituyó el 80% del agua de amasado por hielo, a diferencia de los de diseño patrón sin hielo. Se verificó una ganancia de resistencia de 5.85%, 4.72% y 8.95% para el diseño de 420, 280 y 210 kg/cm^2 respectivamente.

Para el diseño patrón sin hielo realizado en laboratorio se obtuvo temperaturas entre $28-32^\circ\text{C}$. Esta se redujo a 15.5°C para 420 kg/cm^2 , 17°C para 280 kg/cm^2 y 11°C para 210 kg/cm^2 , el procedimiento de chequeo de temperatura se dio con un termómetro digital, tres minutos después del mezclado. Luego de las mediciones del revenimiento con el Cono de Abrams, se observó que, para un revenimiento aproximadamente similar, se produjo una reducción del agua de amasado en los diseños con hielo, y a su vez la reducción de la relación agua cemento, de 0.39 a 0.37 en el diseño de 420 kg/cm^2 , de 0.44 a 0.42 en el diseño de 280 kg/cm^2 y de 0.53 a 0.51 en el diseño de 210 kg/cm^2 .

Se concluye que, el uso de diseños con el 80% de hielo en sustitución del agua de amasado, aumentará la resistencia del hormigón o ayudará a mantener la resistencia, si se redujese la cantidad de cemento. Esta condición podría reducir los costos del hormigón. El litoral ecuatoriano tiene riesgos sísmicos elevados por su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y problemas de corrosión por su proximidad al Golfo de Guayaquil y los cuerpos de agua salada que surcan la urbe. El autor del presente trabajo concluye que los diseños para hormigones presforzados, postensados y prefabricados en general, se verán beneficiados en su durabilidad estructural y desempeño sísmico, si se considera la adición de hielo como sustitución

parcial del agua de amasado. Así como también la reducción de los tiempos de entrega de las piezas de prefabricados.

RECOMENDACIONES

Se propone ampliar la investigación:

a) analizar la afectación del hielo en el hormigón en sustitución parcial del agua de amasado, pero se debe variar el tamaño de piedra ($3/8''$, $1/2''$, $3/4''$ y $1''$).

Además, se debe considerar el uso del hielo molido más fibras vegetales para dar solución a otros problemas comunes en la ciudad de Guayaquil, como fisuras y desconchamiento del hormigón.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 305R-20. (2020). Guide to Hot Weather Concreting. *American Concrete Institute*, 23.
- ASTM A350. (2021). *Standard Specification for Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete*.
- ASTM A352. (2003). *Standard Specification for High-Strength Steel Bars for Prestressed Concrete*. 1–4.
- ASTM A352. (2004). *Standard Specification for Steel Castings , Ferritic and Martensitic , for Pressure- Containing and Other Applications , for Low-Temperature*. 00 (Reapproved), 1–11.
- ASTM A416. (2006). *Especificación Normalizada para Torón de Acero, de siete Alambres sin recubrimiento para concreto Preesforzado*. 7.
- ATENAS. (2020). *Generalidades de cemento en el ecuador*.
- Atom. (2010). *Constructor Civil*. Obtenido de Calor de hidratación del Cemento Portland: <https://www.elconstructorcivil.com/2011/01/calor-de-hidratacion-del-cemento.html>
- Avanza obra en Universidad Católica | Comunidad | Guayaquil | El Universo*. (2018).
<https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/11/15/nota/7050159/avanza-obra-catolica/>
- Camargo, S. (2017). Facultad de ciencia y tecnología. *Google academico*, 111.
- Cetesa. (2021). *Cementos Tequendama*. Obtenido de <https://cetesa.com.co/blog/de-que-depnde-el-calor-de-hidratacion-del-cemento/>
- Chiluisa, J. (2014). Hormigones de Alta Resistencia ($f'c= 50$ MPa) utilizando agregados del sector de PIFO y cemento armaduro especial LAFARGE. *En Modal Sosial Dalam Pendidikan Berkualitas Di Sekolah Dasar Muhammadiyah Muitihan* (Número September).
- Cora, L. (2015). *Sustancias perjudiciales en el agregado*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/285074325/Informe-de-Sustancias-Perjudiciales-en-los-agregados>
- Córdova Coronel, J. J. (2021). *Características del hormigón preenfriado con*

- hielo triturado y vaciado en condiciones de calor severo.*
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16587>
- El Comercio. (2019). *Reportan récord de temperatura máxima en Guayaquil - El Comercio.*
- Escuela Industrial Superior & Facultad de Ingeniería Química. (2014). *Ensayo de consistencia del hormigón.* Obtenido de https://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf
- Fabrica de tubos de hormigón en Guayaquil.* (2019). Recuperado el 8 de marzo de 2022, de <https://www.inkatonsa.com/>
- Fractales. (2020). *Fractales.com.* Obtenido de Galería de Proyectos: <https://fractales.com.ec/fractales-galeria-proyectos.html>
- Garzón, A. (2021). *Concreto estructural preenfriado con hielo de calor extremo.* Tesis, Universidad Católica de Guayaquil, Guayaquil.
- Harmsen, T. (2002). El concreto y sus componentes. En *Diseño De Estructuras De Concreto Armado.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
- INAMHI. (2021). *Valores / Misión / Visión – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.*
- La puzolana de pumita mitiga la reacción álcali-sílice (ASR).* (2018). https://hesspumice.com/_spanish/pumice-pages/pumice-uses/pumice-pozzolan-mitigates-asr.html
- Li, D., & Kaewunruen, S. (2019). Effect of extreme climate on topology of railway prestressed concrete sleepers. *Climate*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/cli7010017>
- Llanos, R. (2014, febrero). *Propiedades de los agregados.*
- Melo, L. (2014). Reactividad álcali-agregado (raa): experiencias en presas colombianas, análisis comparativo de principales variables que intervienen en el fenómeno. *Universidad Nacional de Colombia*, 187.
- Meza, L. (2017). *Aspectos Fundamentales del concreto presforzado.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- NEC-SE-HM. (2015). *Norma Ecuatoriana De La Construcción - Estructuras De Hormigón Armado.* 1, 31. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Neville, A. M. (2011). *President of the Concrete Society Vice-President of the Royal Academy of Engineering*.
- Norma Técnica Peruana. (2013). Cemento Portland. *Cementos Portland. Requisitos*, 29.
- NTE-INEN-1108. (2014). Agua Potable. Requisitos. *Quinta revisión*, 2–4.
- NTE-INEN-1855-1. (2015). *Hormigones. Hormigón Premezclado. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 152. (2012). *NTE INEN 152: Cemento portland, requisitos*. 14.
- NTE INEN 1855-2*. (2010).
- NTE INEN 2380. (2011). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1(Primera Edición), 5.
- NTE INEN 490. (2011). Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 17.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos Para Hormigón. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 16.
- NTE INEN. (2015). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.
- Pacadar. (2018). *Pacadar.es*. Obtenido de Pacadar suministra vigas prefabricadas del metro de Málaga: <https://www.pacadar.es/noticias/item/pacadar-suministra-vigas-prefabricadas-del-metro-de-malaga>
- Portland Cement Association. (2004). Diseño y control de mezclas de Concreto. En *Journal of Experimental Botany: Vol. Primera Ed.*
- Prefabricados de concreto: guía de usos y ventajas I PSI Concreto*. (2020). <https://psiconcreto.com/prefabricados-de-concreto/>
- RAE. (2021a). *salobre* | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.
- RAE. (2021b). *temperatura* | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.
- Saucier, K. . (1981). Concreto De Alta Resistencia. *Revista IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto)*, 19(121), 35–41.
- Tim, T. C. (2014). Challenges and opportunities in tropical concreting. *Procedia Engineering*, 95(Scescm), 348–355.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.193>

Varela, A., & Ron, S. (2021). *Geografía y clima*.

Viera, I. P. (2020). *Construcciones UCE*. Obtenido de Prefabricados en la construcción:

<https://construccioneseuce.wordpress.com/tag/prefabricados-en-la-construccion/>

Villacis, I., & Calle, J. (2000). *Geología Y Suelo*.

Weather Spark. (2021). *El clima en Guayaquil, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) - Weather Spark*.

Yepes Piqueras, V. (2020). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. *Colección Manual de referencia*, 2, 480. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/11/criterios-basicos-de-eleccion-del-tipo-de-cimentacion/>

127, A. C. (2003). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. *ASTM Internacional*.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sandoya Mendoza Hernán Francisco**, con C.C: # **(0930052220)** autor/a del Trabajo de Titulación: **Desempeño del hormigón presforzado fabricado con hormigón preenfriado con hielo, y bajo temperaturas climáticas elevadas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 10 de marzo de 2022

f. _____

Nombre: **Sandoya Mendoza Hernán Francisco**

C.C: **0930052220**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Desempeño del hormigón presforzado fabricado con hormigón preenfriado con hielo, y bajo temperaturas climáticas elevadas.		
AUTOR(ES)	Sandoya Mendoza Hernán Francisco		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Martínez Rehpani Colón Gilberto		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	10 de marzo de 2022	No. DE PÁGINAS:	127
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología de la Construcción, Materiales de Construcción, Tecnología del Hormigón.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Desempeño, presforzado, hielo, revenimiento, temperaturas elevadas, fisuras, hormigón.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Guayaquil una de las ciudades donde constantemente se presenta condiciones ambientales que afectan el proceso de elaboración, desempeño y calidad de los elementos de hormigón simple, hormigón armado y hormigón presforzado. Por lo tanto, el presente proyecto de investigación plantea una contribución donde, en la elaboración de la mezcla del hormigón, el hielo sustituye parcialmente el agua de amasado. Esta técnica permitirá reducir el impacto de los efectos climáticos de la ciudad y aumentará la calidad de las estructuras de hormigón. Si se aumenta la calidad en el desempeño del elemento de hormigón, a largo plazo se podría reducir el costo de mantenimiento. Al ser Guayaquil una ciudad portuaria y ser Ecuador uno de los grandes exportadores de camarón, la obtención de hielo en sus diferentes formas como bloque, escamas, placas y rollitos, es sencillo y económico. Con un suministro accesible y permanente, que beneficia la implementación de esta metodología en obras de esta ciudad.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 981176056	E-mail: hernan_sandoya@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Glas Cevallos Clara Catalina		
	Teléfono: +593 984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			