



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA ESTRUCTURA DE
HORMIGÓN MASIVO, A PARTIR DE UN MODELO TEÓRICO**

TUTOR

MAE. ING. ALEX BOLIVAR SALVATIERRA ESPINOZA

AUTOR

FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO

GUAYAQUIL

2020

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
TÍTULO Y SUBTÍTULO: “Comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, a partir de un modelo teórico”.		
AUTOR/ES: Fernando Xavier Salvatierra Cedeño		REVISORES O TUTORES: MAE. Ing., Alex Bolívar Salvatierra Espinoza
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil		Grado obtenido: Ingeniero civil
FACULTAD: Ingeniería Industria Y Construcción		CARRERA: Ingeniería Civil
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2020		N. DE PAGES: 110
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción		
PALABRAS CLAVE: Hormigón, Daños, Software, Ingeniería Civil		
RESUMEN: Es posible determinar la temperatura máxima que desarrolla una estructura de hormigón masivo, utilizando equipos y sensores de medición adecuados, mismos que son colocados estratégicamente en el elemento, permitiendo así contrastar la información obtenida “in situ”, con el resultado de un modelamiento térmico a través de un software que mediante el método de elementos finitos, permite predecir el comportamiento térmico de la estructura, basado a información del diseño de hormigón, data calorimétrica, condiciones de temperatura y dimensiones del elemento		
N. DE REGISTRO (en base de datos):		N. DE CLASIFICACIÓN:
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Fernando Xavier Salvatierra Cedeño		Teléfono: 0980160841 E-mail: fxsalvatierra@gmail.com fsalvatierrac@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:		Ing. Alex Bolívar Salvatierra Espinoza, MSc. Teléfono: 042596500 Ext. 241 Decanato E-mail: asalvatierrac@ulvr.edu.ec Ing. Alexis Wladimir Valle Benítez, MSc. Teléfono: 042596500 Ext. 260 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

2/9/2020

Turnitin

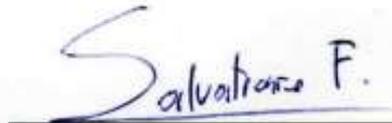
<p>Turnitin Informe de Originalidad</p> <p>Procesado el: Identificador: 1378166223 Número de palabras: 20282 Entregado: 1</p> <p>Trabajo Fernando Salvatierra Por Fernando Salvatierra</p> 
--

Índice de similitud	Similitud según fuente
0%	Internet Sources: N/A Publicaciones: N/A Trabajos del estudiante: N/A

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado **FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO**, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **“COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN MASIVO, A PARTIR DE UN MODELO TEÓRICO”**, Corresponde totalmente al suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.



FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO

C.I. 0930119235

AUTOR

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación "COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN MASIVO, A PARTIR DE UN MODELO TEÓRICO", designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industrial y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: "COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN MASIVO, A PARTIR DE UN MODELO TEÓRICO", presentado por los estudiantes FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO, como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



ING., ALEX BOLÍVAR SALVATIERRA ESPINOZA, MSC

C.I. 091305951

TUTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por darme la fuerza y perseverancia en este largo camino para llegar hasta la culminación de mis estudios y alcanzar mi título profesional.

Agradezco a mi Malena Valarezo e hija Valentina Salvatierra por siempre confiar en mí y apoyarme en cada instante de este proyecto, gracias ustedes que son mi fortaleza siempre.

Agradezco de la misma forma a mis padres Simón Salvatierra y Cecilia Cedeño, a mis familiares y amigos que creyeron en mí y fueron testigos del esfuerzo y dedicación que tiene cada palabra escrita en este documento.

Finalmente agradezco a la compañía HOLCIM ECUADOR S.A. por facilitarme las herramientas, laboratorio y todo el soporte técnico del Centro de Innovación de Holcim (CIH), en especial a los Ing. Cristian Velasco, Ing. Carlos Ronquillo y PhD Hugo Egüez, sin su gran ayuda, impulso y aporte de conocimientos, este proyecto no se habría concretado.

FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis primero a Dios por permitir levantarme todos los días, por darme la persistencia, sabiduría y la determinación que requerí durante el transcurso de mi carrera universitaria y proceso de titulación.

A mi esposa Malena Valarezo, a mi hija adorada Valentina Salvatierra y a mi madre Cecilia Cedeño por confiar eternamente en mí sabiendo el duro camino recorrido, sacrificio y amor que he entregado al desarrollo de este proyecto que hoy se convierte en realidad

A mis docentes y a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil que me brindo todo el conocimiento necesario que sumado a la experiencia obtenida en mi vida me forjaron a convertirme en un profesional.

Finalmente, y mas importante a mi padre que ahora esta en el cielo, porque yo no sería nadie sin su guía e impulso siempre a superarme, dar lo mejor de mi y ser un profesional digno de ejemplo. Para mi viejo con mucho amor, tu sueño lo logré.

FERNANDO XAVIER SALVATIERRA CEDEÑO

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES	iv
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1. Tema	3
2.2. Planteamiento del Problema.....	3
2.3. Formulación del Problema	4
2.4. Sistematización del Problema	4
2.5. Objetivo General	5
2.6. Objetivos Específicos.....	5
2.7. Justificación.	5
2.8. Delimitación del Problema.....	6
2.9. Hipótesis	7
2.10. Línea de investigación de la Institución / Facultad	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
3.1. Marco Teórico.....	8
3.1.1. Localización	10
3.2. Marco Conceptual.....	11
3.2.1. Hormigón y sus componentes	11

3.2.1.1. Hormigón	11
3.2.1.2. Temperatura inicial del hormigón.....	11
3.2.1.3. Cemento Hidráulico	12
3.2.1.4. Fabricación del Cemento Portland.....	15
3.2.1.5. Composición química del cemento.....	16
3.2.1.6. Hidratación del cemento	18
3.2.1.7. Fraguado	18
3.2.1.8. Agregados	19
3.2.1.9. Agregado Grueso	19
3.2.1.10. Agregado fino	21
3.2.1.11. Agua.....	22
3.2.1.12. Aditivos.....	23
3.2.2. Hormigón Masivo	24
3.2.2.1. Características Generales del Hormigón masivo	25
3.2.2.2. Formación de etringita	26
3.2.2.3. Formación de etringita diferida.....	27
3.3. Marco Legal	31
3.3.1. Criterios de diseño y construcción	31
3.3.2. Diseño de mezclas (ACI 211.1-97, 1997).....	32
3.3.3. Guía para Hormigón Masivo (ACI 207.1R-05, 2006)	33
3.3.3.1. Introducción y desarrollos históricos	33
3.3.3.2. Materiales y proporciones de mezcla.....	35
3.3.4. Requisitos de hormigón premezclado (INEN 1855-1, 2016).....	37
3.3.5. NORMA INEN 1576 (INEN 1576, 2011)	38
CAPÍTULO III.....	40
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.1. Metodología	40
3.2. Tipo de investigación	40
3.2.1. Observación.....	40
3.2.2. Experimentación.....	41
3.3. Enfoque	41
3.3.1. Cuantitativo	41
3.3.2. Cualitativo	42

3.4. Técnica e instrumentos	42
3.5. Análisis de resultados	70
Resumen de resultados de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas moldeadas en laboratorio:	70
CAPÍTULO IV	76
4. INFORME FINAL	76
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Delimitación del Problema.....	6
Tabla 2	Línea de Investigación	7
Tabla 3	Requisitos físicos de cementos por desempeño INEN 2380.....	13
Tabla 4	Componentes del Clinker.....	17
Tabla 5	Valores en porcentaje del Clinker.....	17
Tabla 6	Elementos de la pasta de cemento.....	18
Tabla 7	Material que pasa el tamiz No. 200 (75 μ m).....	20
Tabla 8	Material que pasa el tamiz No. 200 (75 μ m).....	21
Tabla 9	Gradación de arena en hormigón masivo.....	22
Tabla 10	Determinar el nivel de prevención requerido.....	29
Tabla 11	Clase de exposición XH1, XH2 o XH3	29
Tabla 12	Nivel de prevención As, Bs, Cs o Ds.....	30
Tabla 13	Precauciones adoptadas en función del nivel de prevención.	30
Tabla 14	Especificaciones del Proyecto "Máximo" o " No exceder"	37
Tabla 15	Asentamiento Nominal	37
Tabla 16	Flujo de Asentamiento	38
Tabla 17	Diseño de Concreto	52
Tabla 18	Capacidad del recipiente de medición	58
Tabla 19	Resultados de resistencia a la compresión simple de cilindros.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Ubicación del Proyecto	10
<i>Figura 2</i> Componentes del Hormigón.....	11
<i>Figura 3</i> Yeso.....	16
<i>Figura 4</i> Clinker.....	16
<i>Figura 5</i> Canto Rodado	19
<i>Figura 6</i> Piedra Triturada.....	20
<i>Figura 7</i> Formación de Etringita Diferida (DEF).....	27
<i>Figura 8</i> Patrón de expansión interna típica resultado de Formación de Etringita Diferida.....	28
<i>Figura 9</i> Patrón de expansión interna típica resultado de Formación de Etringita Diferida.....	28
<i>Figura 10</i> Cables Termocuplas	43
<i>Figura 11</i> Extremo de Cable Termocupla colocada en Hormigón	43
<i>Figura 12</i> Terminales	43
<i>Figura 13</i> Licencia software EasyLog	44
<i>Figura 14</i> Licencia software EasyLog	44
<i>Figura 15</i> Pantalla principal del software	45
<i>Figura 16</i> Data temperatura vs tiempo.....	45
<i>Figura 17</i> Reconocimiento del Elemento	46
<i>Figura 18</i> Colocación de las termocuplas	47
<i>Figura 19</i> Termocupla para temperatura ambiente	47
<i>Figura 20</i> Verificación de lecturas.....	48
<i>Figura 21</i> Concretera	49
<i>Figura 22</i> Equipo Holcim Heat™	49
<i>Figura 23</i> Pantalla de ingreso de información	50
<i>Figura 24</i> Cono de Abrams.....	53
<i>Figura 25</i> Ensayo de asentamiento	55
<i>Figura 26</i> Ensayo de densidad del hormigón en estado fresco.....	58
<i>Figura 27</i> Ensayo de contenido de aire del hormigón en estado fresco.....	62
<i>Figura 28</i> Elaboración de probetas cilíndricas.....	65
<i>Figura 29</i> Tamizado en húmedo del concreto por la malla No. 4 (4,75 mm).....	66

<i>Figura 30</i> Muestra de mortero	66
<i>Figura 31</i> Gráfico de temperatura vs tiempo	67
<i>Figura 32</i> Diseño de Mortero.....	67
<i>Figura 33</i> Data original del mortero en ConTemp™.....	68
<i>Figura 34</i> Diseño de concreto en ConTemp™	68
<i>Figura 35</i> Temperatura de colocación del concreto, Hora de fundición del elemento, temperatura del ambiente.....	69
<i>Figura 36</i> Dimensiones del elemento	69
<i>Figura 37</i> Prueba de Diagnostico-Resistencia de Compresión.....	70
<i>Figura 38</i> Prueba de Laboratorio	71
<i>Figura 39</i> Prueba de Laboratorio	72
<i>Figura 40</i> Prueba de Laboratorio	73
<i>Figura 41</i> Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.....	74
<i>Figura 43</i> Resultados de resistencia a la compresión de cilindros tomados de camión mezclador.....	75
<i>Figura 44</i> Grafico de Temperatura vs Tiempo Termocupla A	77
<i>Figura 45</i> Grafico de Temperatura vs Tiempo Termocupla B	77
<i>Figura 46</i> Grafico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp	78
<i>Figura 47</i> Temperatura vs Tiempo Temperatura en el centro	79
<i>Figura 48</i> Grafico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp-Termocupla A	79
<i>Figura 49</i> Grafico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp-Termocupla B.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Herramientas, Equipos y Materiales.....	87
Anexo 2 Control y Monitoreo de obra	89
Anexo 3 Análisis Granulométricos de los agregados	90
Anexo 4 Documento de autorización de Lascar Electronics para uso de los Data Logger's.....	90

INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales de construcción más empleado alrededor del mundo. Muy pocas son las obras en las cuales no interviene el hormigón. Este material está constituido por la mezcla de varios componentes, como cemento, piedra, arena, distintos aditivos y agua. Estos materiales antes de mezclarse deben cumplir diversas normativas para completar los requisitos de resistencia y durabilidad que se requieren a la hora de construir alguna estructura.

Uno de los requisitos conocidos que debe de cumplir el hormigón una vez que este va a ser colocado en una estructura, es la temperatura de la mezcla en estado fresco. En relación a este parámetro, existe desconocimiento del límite de temperatura permitido del concreto fresco y la temperatura máxima que debe alcanzar un elemento considerado masivo.

Por una parte, las normativas Ecuatorianas como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y la NTE INEN 1855-1, no especifican ninguna restricción indicando que “la temperatura de colocación del hormigón fresco debe cumplir con lo especificado en la NTE INEN 1855-1” (NEC, 2014). De igual manera la NTE INEN 1855-1, tampoco establece una restricción, sin embargo refiere que “En algunos casos, se pueden encontrar dificultades cuando la temperatura del hormigón se aproxima a 32 °C” (INEN 1855-1, 2016).

Por otro lado, la temperatura máxima que desarrolla el hormigón en el centro del elemento, es una medida de suma importancia ya que se conoce que estructuras de hormigón que desarrollen temperaturas superiores a los 70 °C durante su periodo de fraguado e hidratación del cemento, son propensos a la formación de una patología que afecta al hormigón una vez que este se encuentra en su estado endurecido, generando esfuerzos de tracción que provocan el deterioro su prematuro, este fenómeno es conocido como Formación de Etringita Diferida o DEF, debido a sus siglas en inglés Delayed Ettringite Formation.

Es por esto que la presente investigación tiene como fin determinar el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo utilizando un determinado diseño de hormigón, condiciones de ambiente y geometría del elemento; esto se encuentra detallado en el capítulo III.

Además en la misma sección se describen los ensayos de laboratorio previos a la fundición del elemento, sumados de una serie de instrumentos y técnicas aplicadas de manera que la información generada y graficada, sea útil para otro proyecto de investigación o a su vez, garantizar la durabilidad de estructuras de hormigón masivo que tengan similares características.

Finalmente en el capítulo IV se realiza un contraste de los datos de temperatura obtenidos “in situ” respecto de los generados por el modelo teórico, con esto se determinará si el software utilizado para realizar el modelamiento térmico, permite predecir el desarrollo de temperatura con una precisión tolerable.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Tema

Conocer el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, a partir de un modelo teórico.

2.2. Planteamiento del Problema

La durabilidad de las estructuras de hormigón armado se puede ver afectada por un sin número de factores y patologías. Se conoce que cuando el hormigón ha desarrollado temperaturas por encima de los 70 °C, se puede provocar un deterioro en las estructuras producto de la formación de etringita diferida. Esta formación se presenta como un gel al paso de los años, es capaz de expandir su volumen hasta 8 veces, lo que genera esfuerzos elevados de tracción que no pueden ser tomados por la matriz del hormigón endurecido.

Existe información donde se detallan hormigones que en el centro del elemento, fácilmente pueden alcanzar temperaturas máximas de 72°C; con contenidos relativamente moderados en cemento portland de 300kg/m³; haciéndolos vulnerables a la formación de etringita diferida.

Es por esto que el código internacional del American Concrete Institute (ACI), establece que para estructuras de hormigón masivo la temperatura máxima que alcanzada en el centro de la estructura no será mayor de 70°C. Aunque en la norma ecuatoriana de la construcción NEC, no se establece un límite en la temperatura máxima que alcance el hormigón colocado en obra, es necesario tener en cuenta el daño que provoca esta patología.

Sabiendo que en el clima cálido de nuestra Costa Ecuatoriana, región donde se desarrollará esta investigación, es muy común que productoras de hormigón premezclado suministren concretos con temperaturas cerca de los 32°C o mayores; lo que para estructuras de hormigón masivo, contribuye a tener desarrollos elevados de temperatura.

Por estas razones existe un interés en predecir el comportamiento térmico que desarrolla el hormigón en un elemento masivo, de manera que de ser necesario, se tomen a tiempo las medidas de prevención necesarias que permitan disminuir el calor generado producto de la hidratación del cemento.

A través del software utilizado en esta investigación, se busca predecir el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, y contrastarlo con datos reales obtenidos en campo mediante sensores colocados en el elemento. De esta forma se puede comprobar la efectividad y dispersión del análisis efectuado por la herramienta.

2.3. Formulación del Problema

- ¿Cuál será el comportamiento térmico de la estructura de hormigón masivo evaluada y su influencia en la durabilidad de la misma?

La estructura de hormigón masivo, se ha comportado en sitio de manera muy similar a lo predicho con el modelo teórico, esto de acuerdo a los resultados obtenidos con los datos experimentales en la obra. Encontrando que la temperatura máxima en ambos casos, se encuentra dentro de los límites recomendados, lo cual mitiga la formación de etringita diferida, causante del deterioro en estructuras de hormigón que presentan elevadas temperaturas en el núcleo del elemento.

2.4. Sistematización del Problema

- ¿Cómo conocer la efectividad del software empleado para la predicción de temperaturas en estructuras de hormigón masivo?

La simulación teórica del elemento, debe registrar todos los parámetros que asemejen las condiciones reales a las que estará sometida la estructura en sitio. De esta manera, se podrá contrastar el resultado del modelo teórico contra la información experimental del comportamiento térmico de la estructura obtenida en sitio.

- ¿Qué hacer para mitigar altos desarrollos de temperatura en el hormigón?

Es necesario elaborar un diseño de hormigón especial que tenga un bajo desarrollo de temperatura, sin afectar su comportamiento mecánico ni sus propiedades en estado fresco.

2.5. Objetivo General

Determinar el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, mediante un modelo teórico utilizado para la predicción de temperaturas en el hormigón.

2.6. Objetivos Específicos

- Determinar el desarrollo de temperatura mediante sensores en una estructura de hormigón masivo.
- Elaborar un diseño de hormigón con valores por debajo de los límites recomendados para la temperatura máxima
- Comparar la efectividad del modelo teórico empleado para la predicción del comportamiento térmico en estructuras de hormigón masivo.

2.7. Justificación.

Es importante conocer el comportamiento térmico que desarrollará una estructura de hormigón masivo previo a su fundición, para de ser necesario, tomar las medidas de precaución necesarias que permitan garantizar un correcto desempeño mecánico y tiempo de vida útil para el cual fue diseñado.

Esta investigación pretende dar a conocer el desarrollo de temperatura en una estructura de hormigón masivo utilizando un determinado diseño de hormigón, condiciones de ambiente y geometría del elemento. Y así conocer si este parámetro

que afecta la durabilidad de la estructura se encuentra por debajo de los límites recomendados de manera que se pueda garantizar el correcto desempeño y tiempo de vida útil de la misma.

Normalmente existe mucho desconocimiento en el comportamiento térmico que debe desarrollar una estructura de hormigón masivo para evitar problemas de durabilidad, la finalidad de esta investigación, investigadores que estén interesados en este tema, puede ampliar este estudio, o a su vez, puede ser empleado por constructores que deseen estimar la temperatura máxima que desarrollará un elemento en obra que tenga similares características a las evaluadas en la presente.

En muchos casos, se ha visto la interpretación de que el diseño de hormigón empleado para una estructura masiva, simplemente tiene bajo contenido de cemento y/o hielo para evitar altos desarrollos de temperatura, sin embargo, no se puede conocer con exactitud cuál será el verdadero desarrollo de un elemento específico, si este no se contrasta con alguno similar que se pueda encontrar en algún documento científico o con datos de predicción de algún modelo matemático.

Esta simple interpretación mencionada, surgiría en una incorrecta interpretación de la temperatura real que se desarrollaría y podría provocar la patología conocida como DEF, causante de problemas de durabilidad en estructuras de hormigón masivo que desarrollan altas temperaturas durante su fraguado.

2.8. Delimitación del Problema

Tabla 1
Delimitación del Problema

Campo:	Educación Superior. Tercer Nivel de grado.
Área:	Ingeniería Civil
Aspecto:	Investigación experimental.
Tema:	Comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, a partir de un modelo teórico.
Delimitación espacial:	Laboratorio de hormigón de la empresa Holcim Ecuador S.A. y estación de bombeo del Cantón San Juan
Delimitación temporal:	12 meses

Fuente: (Salvatierra, 2020)

2.9.Hipótesis

A través de la herramienta utilizada en esta investigación podemos predecir cuál será el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, y así tomar a tiempo las medidas de precaución necesarias para obtener desarrollos de temperatura más bajos que permitan mitigar los efectos que ocasionen un deterioro progresivo en el elemento. Con los datos experimentales que se obtengan en sitio se contrastará la información obtenida en el análisis térmico teórico, y así poder validar el uso de esta herramienta.

2.10. Línea de investigación de la Institución / Facultad

Tabla 2
Línea de Investigación

Línea de Investigación		
ULVR	FIC	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	3. Materiales de Construcción	A. Materiales innovadores en la construcción.

Fuente: (Salvatierra, 2020)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

3.1. Marco Teórico

Existe gran interés de parte de algunos autores en cuanto a la predicción del calor generado en estructuras de hormigón masivo, en la presente sección se detallan diferentes trabajos relacionados con la presente investigación en donde se establecen métodos numéricos para predecir este comportamiento térmico en el hormigón.

Este interés también es evidente en José Croppi y Cecilia Lazzaroni quienes mencionan que la distribución de temperaturas en el interior de una estructura de hormigón masivo, es un fenómeno que debe ser estudiado y caracterizado, esto debido a que, durante la construcción, por efectos de la hidratación del cemento, existe una liberación de calor considerable que puede originar tensiones inadmisibles para su edad, provocando una disminución de su resistencia. (Croppi & Lazzaroni, 2014)

En la sierra de un país cercano al Ecuador, en la fundición de dos elementos masivos, se colocan termocuplas para determinar el comportamiento térmico de las mismas y contrastar esta información con un método teórico descrito por el ACI 207.2. Como resultado se tiene que en uno de los elementos la temperatura máxima es alcanzada es 73.5 °C, mientras que el método del ACI da una temperatura máxima de 77.9 °C, para lo que en ese caso, el autor indica que la diferencia entre ambas representan un valor del 6% respecto a la más alta por lo que se puede decir que el resultado del método del ACI 207.2 es cercano al dato real obtenido en campo con termocuplas (Zeña, 2015)

Roberto Silva propone mediante el método numérico determinar el estado del hormigón y menciona que:

Un método numérico que permita determinar el estado térmico del hormigón durante su desarrollo de temperatura. Esto se logra resolviendo la ecuación diferencial

del calor mediante el método de elementos finitos, desarrollando así un modelo numérico que es capaz de predecir la evolución de temperatura en distintas estructuras de hormigón debido a la hidratación del cemento. El método se valida a través de la comparación de los datos de la estructura de una presa donde se utilizó Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) y el análisis térmico de la misma empleando una malla de elementos finitos triangulares. (Silva, 2017)

Concluyendo que los resultados muestran una buena correlación con los obtenidos a partir de ensayos experimentales y trabajos de otros autores.

Por otra parte, Yaiza Lafuente propone un modelo acoplado termo-químico-mecánico para él, “comportamiento del hormigón a edades tempranas, en el cual es posible simular los fenómenos de hidratación, envejecimiento, daño y fluencia.

Considerando así muchas de las características relevantes del hormigón, en un formato adecuado para su implementación en el marco general del método de elementos finitos. El elemento evaluado es un cubípedo, que es un elemento prefabricado de hormigón en masa utilizado para la construcción de mantos principales de diques en talud y en la protección de márgenes de ríos. Este elemento evaluado tiene una masa de 45 toneladas, el hormigón utilizado es de 30 MPa de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, tamaño máximo del agregado 20 mm y con un contenido de 400 kg/m³ de cemento portland con escoria de alto horno”. (Lafuente, 2017)

La información generada por el software GiD que emplea el autor, es contrastada con la temperatura registrada por sensores en diferentes puntos del elemento, teniendo como resultado un desarrollo de temperatura muy cercano a los reales del elemento.

Finalmente, Xavier Loor, en la ciudad de Guayaquil, que cuenta con un clima cálido, realiza una investigación que tiene como objetivo verificar las curvas de temperatura para hormigones masivos fabricados con cemento Holcim Fuerte Tipo GU. Para ello se lleva a cabo una fundición de un bloque de hormigón de 1.0 m x 1.0

m x 1.07 m, mismo que será aislado con 20 cm de poliestireno en todas sus caras, con este aislamiento se simula el comportamiento que tendría ese mismo cubo dentro de una gran masa de hormigón masivo, como por ejemplo en la construcción de una presa

Los resultados que se registran en sitio son contrastados con un modelo teórico desarrollado en Microsoft Excel, siendo la temperatura máxima del bloque de 67,14 °C el autor concluye que: las curvas obtenidas de la medición y las curvas que han resultado de Excel, se puede notar que son muy parecidas por lo que, si son representativas en cuanto al comportamiento del hormigón, por lo tanto, el análisis realizado se considera correcto. (Loor, 2015)

3.1.1. Localización

En el sector de San Juan se realiza la construcción de una estación de bombeo, en este proyecto se elaborará una losa de hormigón armado de 26,73 m de diámetro y una altura de 1,00 m, dando un volumen de concreto de 561 m³, mismo que será suministrado por la Planta de Hormigones de Holcim San Eduardo.

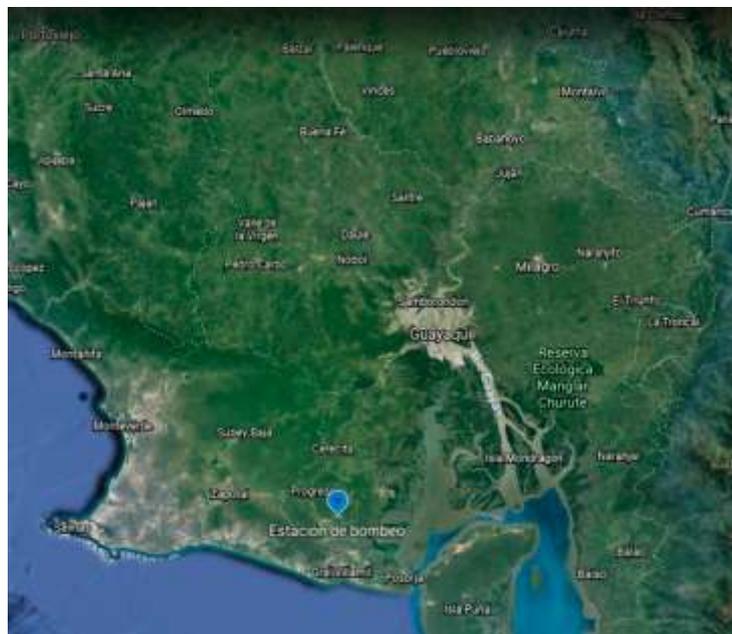


Figura 1 Ubicación del Proyecto
Fuente: Google Earth

Este se encuentra aproximadamente a 8.5 km desde el ingreso por el cantón San Antonio.

3.2. Marco Conceptual

3.2.1. Hormigón y sus componentes

3.2.1.1. Hormigón

Una definición sencilla de hormigón para Samuel Huaquisto & Germán Belizarioes es que “La combinación de 2 componentes: agregados y pasta. La pasta típicamente está conformada por cemento portland y agua, esta puede también contener materiales cementicios suplementarios como cenizas volantes, escoria de cemento y aditivos químicos. Los agregados generalmente están divididos en 2 grupos: agregado grueso y agregado fino. Esta clasificación de los agregados viene dada de acuerdo a los tamaños de las partículas, que todas juntas forman una curva granulométrica”. (Belizario & Huaquisto, 2018)



Figura 2 Componentes del Hormigón
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

3.2.1.2. Temperatura inicial del hormigón

La temperatura inicial del hormigón cuando este es recién mezclado, es de suma relevancia en el marco de los hormigones masivos, debido a que este tiene una relación directa con el desarrollo de temperatura del elemento precisando que, mientras mayor sea la temperatura inicial del hormigón, mayor será también la temperatura máxima.

La temperatura inicial del hormigón fresco “ T_i ”, puede ser calculada mediante la siguiente formula:

$$T_i = \frac{0,22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w}{0,22(W_a + W_c) + W_w}; \text{ donde}$$

$T_i =$ temperatura inicial del hormigón ($^{\circ}\text{C}$)

$T_a =$	temperatura de los áridos ($^{\circ}\text{C}$)
$W_a =$	dosificación total de los áridos (kg/m^3)
$T_c =$	temperatura del cemento ($^{\circ}\text{C}$)
$W_c =$	dosificación total de cemento (kg/m^3)
$T_w =$	temperatura del agua de amasado ($^{\circ}\text{C}$)
$W_w =$	dosificación total del agua de amasado (kg/m^3)

La relación aproximada que existe entre el calor específico de los constituyentes del hormigón y el calor específico del agua, está representado en el coeficiente de 0,22. La temperatura calculada mediante esta ecuación normalmente es más baja que la temperatura real inicial del hormigón, esto debido a la energía mecánica durante el proceso de amasado del hormigón (Ortiz, 2008)

3.2.1.3.Cemento Hidráulico

El cemento es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción. Gracias a la propiedad que este tiene de endurecerse por reacción química con el agua, permite que utilizando una dosificación adecuada y materiales de calidad, este pueda otorgar durabilidad y resistencias mecánicas excelentes al ser empleado en la elaboración de hormigón para diferentes tipos de elementos y aplicaciones. El cemento hidráulico está conformado por Clinker, Yeso y Adiciones minerales. (Cabrera, 2017)

Tipos de Cemento Hidráulico

Existen diferentes tipos de cementos hidráulicos, que de acuerdo a la normativa vigente NTE INEN 2380, no establece restricciones en la composición del cemento o sus componentes, y los denomina Cementos por Desempeño. Estos son clasificados de acuerdo a sus requisitos de desempeño, que vienen dados según sus propiedades físicas.

Tabla 3
Requisitos físicos de cementos por desempeño INEN 2380

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 ^B Inicial, no menos de, minutos no más de, minutos	INEN 158	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D 1 día 3 días 7 días 28 días	INEN 488	-- 13 20 28	12 24 -- --	-- 11 18 --	-- 11 18 25	- - 5 11	-- -- 11 21
Calor de hidratación 7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo 28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo	INEN 199	-- --	-- --	-- --	-- --	290 (70) --	250 (60) 290 (70)
Expansión en barra de mortero 14 días, % máximo	INEN 2 529	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^{E6} meses, % máximo 1 año, % máximo	INEN 2 503	-- --	-- --	0,10 --	0,05 0,10	-- --	-- --

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Fuente: (INEN 2380, 2011)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Los tipos de cementos que cumplen con los requisitos de esta normativa, son clasificados de la siguiente manera:

Cemento Tipo GU – Uso General

Este es utilizado en general para todo tipo de construcciones donde no se requieran características especiales de desempeño. Puede ser este utilizado para elaborar hormigón en construcciones en general para columnas, vigas, cimentaciones, etc. O para morteros y su uso en mampostería como enlucidos, pega de bloques y pega de piezas de cerámica.

Cemento Tipo HE – Alta resistencia inicial

La ventaja principal de este cemento es obtener un desarrollo de resistencia mayor a edades tempranas. Lo que permite realizar un desencofrado de los elementos más rápido en comparación con los otros tipos de cementos. Este cemento puede ser utilizado cuando se requiera un desempeño mayor como en edificios, puentes, presas, pavimentos.

Cemento Tipo MS y HS

“Estos tipos de cemento son ideales para mitigar el ataque de los sulfatos de una manera moderada o alta respectivamente. Debido al ataque de los sulfatos al concreto, este puede deteriorarse a causa de la expansión producida por la reacción entre el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento y los sulfatos”. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2016)

Para que el cemento sea clasificado como Tipo MS o Tipo HS, debe cumplir con los límites de expansión por sulfatos establecidos en la NTE INEN 2380, mediante la realización del ensayo de determinación de cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato conforme a la NTE INEN 2503.

Cemento Tipo MH y LH

La propiedad principal de estos cementos es su moderado calor de hidratación y bajo calor de hidratación respectivamente. Para que el cemento sea clasificado como Tipo MH o Tipo LH, debe cumplir con los límites de kJ/Kg (Kcal/Kg) establecidos en la NTE INEN 2380, mediante la realización del ensayo de determinación del calor de hidratación conforme a la NTE INEN 199.

Gracias a la bondad de obtener un moderado o bajo calor de hidratación, estos tipos de cemento se pueden emplear para la construcción de estructuras de hormigón masivo que requieran obtener menor energía de hidratación del cemento (menor liberación de calor), teniendo como consecuencia menor desarrollo de temperatura máxima en el elemento que pueda afectar su durabilidad.

La aplicación de estos tipos de cementos, también son ideales para la estabilización de la mayoría de suelos que tengan condiciones desfavorables o no, mejorando sus propiedades físicas y mecánicas convirtiéndolo en una solución para mejorar las estructuras de pavimentos.

Entre las ventajas destacadas para la aplicación de estos cementos en estructuras de pavimentos son:

- Aumenta la durabilidad de la estructura de pavimento
- Mejora la capacidad de soporte.
- Reduce la permeabilidad

3.2.1.4. Fabricación del Cemento Portland

Este proceso de fabricación inicia desde la explotación de la principal materia prima que es la caliza, están son extraídas en gran tamaño desde la cantera, donde una vez que esta es triturada, se muele junto con otros componentes para formar un polvo muy fino conocido como “harina cruda”.

Esta harina cruda es homogeniza y almacenada en silos donde posteriormente pasa por un precalentador elevando la temperatura de este material desde 100°C hasta 880°C, provocando un proceso de deshidratación y descarbonatación.

Luego, este material es llevado a un horno rotatorio para ser elevado a una temperatura aproximada de 1450°C, temperatura en el cual se producen las reacciones químicas de clinkerización dando como resultado un producto denominado Clinker. Estos minerales que se forman en el Clinker, son los responsables de brindar la propiedad hidráulica al cemento.

El Clinker luego pasa por un proceso de enfriamiento hasta obtener una temperatura aproximada de 100°C para ser este almacenado en silos.

“En la parte final de este proceso, el Cemento se obtiene moliendo el Clinker junto con yeso. El yeso es el que permite impedir un fraguado veloz en el cemento cuando este entra en contacto con el agua. Es importante destacar que en el proceso de fabricación del cemento portland mencionado, al agregar las adiciones minerales en la molienda del Clinker y el yeso, este cemento ya no es denominado Cemento Portland”. (Moreno, 2015)

3.2.1.5. Composición química del cemento.

Yeso

Mineral de baja dureza que mejora las características finales del Clinker, impidiendo un fraguado acelerado en el cemento cuando este entra en contacto con el agua.



Figura 3 Yeso
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Clinker

El Clinker está formado por una mezcla de silicatos, aluminatos y ferrito aluminatos de cal, concretamente estos son:



Figura 4 Clinker
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Tabla 4
Componentes del Clinker

Fase	Compuesto	Abreviatura
Alita	Silicato tricalcico	C ₃ S
Belita	Silicato dicalcico	C ₂ S
Aliminato	Aluminato tricalcico	C ₃ A
Ferrita	Aluminato ferrito tetracalcico	C ₄ AF

Fuente: (Portland Cement Assosiation, 2016)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Alita

Esta fase es el principal constituyente del Clinker. Esta es la más importante para el desarrollo de resistencia a los 28 días.

Belita

Este tiene una reacción lenta con el agua, genera una contribución en menor cantidad de la resistencia a los 28 días, pero incrementa en sus edades posteriores.

Aluminato

Este compuesto reacciona rápidamente con el agua, causando un fraguado no deseado, por esta razón es necesaria la adición de yeso en el cemento para controlar este efecto de fraguado acelerado.

Ferrita

Usualmente suele ser algo variable la velocidad con la que este compuesto reacciona con el agua.

A continuación se citan los valores típicos en porcentaje que constituyen la totalidad del Clinker

Tabla 5
Valores en porcentaje del Clinker

Fase	Constituyente
Alita	Del 50% al 70%
Belita	Del 15% al 30%
Aluminato	Del 5% al 10%
Ferrita	Del 5% al 15%

Fuente: (Portland Cement Assosiation, 2016)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

3.2.1.6.Hidratación del cemento

El cemento al ser mezclado con agua, produce productos de hidratación, que al transcurso del tiempo, forman una masa endurecida conocida como pasta de cemento hidratada. Esta reacción química que existe durante la hidratación de los silicatos y los aluminatos, es una reacción exotérmica, donde pueden liberarse hasta 500 J/s (120 cal/g).

Durante la hidratación del cemento se forma un compuesto denominado etringita, producto de la hidratación de los aluminatos presentes en el cemento y la presencia de sulfatos. Unos minutos después del inicio de la hidratación, se forman agujas de etringita, que son las responsables de la adherencia y la resistencia inicial.

Luego de algunas horas de la hidratación del cemento, se da la hidratación de los silicatos presentes en el mismo. Esto origina silicatos de calcio hidratados, que tienen una química muy variada, estos compuestos llenan el espacio ocupado por el agua y por las partículas de cemento en disolución.

En términos generales, producto de la hidratación del cemento, se tiene como resultado tres elementos principales que conforman la pasta de cemento endurecida:

Tabla 6
Elementos de la pasta de cemento

Fase	Compuesto	Abreviatura
-	Silicato cálcico hidratado	C-S-H
Portlandita	Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂
Etringita	Sulfoaluminato de calcio	

Fuente: (Portland Cement Assosiation, 2016)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

3.2.1.7.Fraguado

Se conoce al fraguado como el cambio que atraviesa la pasta de cemento de un estado fluido a un estado rígido. Los términos fraguado inicial y fraguado final, son utilizados para describir este cambio de estado.

3.2.1.8. Agregados

Los agregados o también conocidos como áridos, constituyen aproximadamente entre el 60 al 80% del volumen del concreto, por esta razón el estudio de los agregados no es menos importante que la pasta de cemento cuando se desea preparar concreto de calidad.

“La cantidad de agregados para su uso en hormigón, varía dependiendo de la aplicación o el elemento que se desee fundir. Para esto, el ACI recomienda algunas curvas de distribución granulométrica combinada entre el agregado grueso (piedra) y el agregado fino (arena)”. (Benavides, 2016)

Los agregados empleados para el desarrollo de esta investigación provienen de la cantera de Calizas Huayco y la cantera Anropevi, estos materiales son utilizados por la planta de Hormigones de Holcim San Eduardo para la fabricación de hormigón premezclado.

3.2.1.9. Agregado Grueso

El agregado grueso proviene de manera natural de forma redondeada o de la trituración de rocas o la desintegración de las mismas. Debe tener una consistencia dura, densa, durable y sin partículas finas adheridas a su superficie. Este contiene prácticamente en su totalidad partículas mayores a un tamaño de 4.75 mm (malla No. 4), y comúnmente menores a 150mm (6 pulg).



Figura 5 Canto Rodado
Tomada por: (Salvatierra, 2020)



Figura 6 Piedra Triturada
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Cuando se desea realizar una elección del tamaño del agregado para ser utilizado en hormigón masivo, es conocido preferir utilizar agregado grueso de gran tamaño que permita reducir el contenido de cemento minimizando el riesgo de fisuración relacionado a incrementos elevados en el desarrollo de temperatura.

Sin embargo, el tamaño del agregado también viene dado de acuerdo a la disponibilidad del mismo y al espaciamiento que existe entre el acero de refuerzo, por esta razón, se puede utilizar agregado grueso de menor tamaño (25mm, 19mm, 12mm), siempre y cuando se tomen medidas de prevención necesarias para contrarrestar el calor generado producto de la hidratación del cemento.

Existen algunos requisitos básicos que debe cumplir el agregado grueso para su uso en hormigones masivos:

Tabla 7
Material que pasa el tamiz No. 200 (75 μ m)

Material passing No. 200 sieve (75 μ m)	0.5
Lightweight material	2.0
Clay lumps	0.5
Other deleterious materials	1.0

Fuente: (ACI 207.1R-05, 2006)
Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

La norma ASTM C33 especifica los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados para su uso en hormigón.

3.2.1.10. Agregado fino

El agregado fino es aquel en el que casi la totalidad de sus partículas tienen un tamaño menor al de 4,75 mm, es decir, que pasan el tamiz No. 4, y se retienen en la malla No. 200.

Para utilizarse en hormigón, este puede ser tanto natural como artificial, siendo el primero, aquellos que no pasan por ningún proceso para la obtención de los mismos, a diferencia de los agregados finos artificiales que se obtienen a través de un proceso de trituración de piedras hasta tener partículas de menor tamaño que encajen dentro de las curvas establecidas por las normativas.

“El árido fino debe ser preferentemente libres de cantidades nocivas de arcillas, limo, polvo, mica, materia orgánica u otras impurezas que resulten en un efecto negativo para el normal desempeño del concreto. Las cantidades permitidas de estas sustancias usualmente se encuentran limitadas en porcentajes”. (Díaz, 2017)

Tabla 8
Material que pasa el tamiz No. 200 (75 µm)

Clay lumps and friable particles	3.0
Material finer than No. 200 (75 µm) sieve	
For concrete subject to abrasion	3.0*
For all other concrete	5.0*
Coal and lignite:	
Where surface appearance of concrete is important	0.5
All other concrete	1.0

Fuente: (ACI 207.1R-05, 2006)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

La gradación del árido fino tiene una considerable influencia en la trabajabilidad del concreto. El U.S. Bureau of Reclamation (1981), recomienda una gradación para la arena utilizada en hormigón masivo.

Tabla 9
Gradación de arena en hormigón masivo

Sieve designation	Percentage retained, individual by weight
3/8 in. (9.50 mm)	0
No. 4 (4.75 mm)	0 to 5
No. 8 (2.36 mm)	5 to 15
No. 16 (1.18 mm)	10 to 25
No. 30 (600 μm)	10 to 30
No. 50 (300 μm)	15 to 35
No. 100 (150 μm)	12 to 20
Pan fraction	3 to 7

Fuente: (ACI 207.1R-05, 2006)
Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

3.2.1.11. Agua

El agua es la que permite la hidratación del cemento y brinda a la mezcla de concreto, la trabajabilidad necesaria para que este sea depositado en el elemento con la consistencia requerida. La cantidad aproximada de agua necesaria para que el cemento se hidrate es del 25 % del peso del cemento y agregando alrededor de un 15% adicional de agua, la mezcla tiende a ser más trabajable.

Se conoce en términos generales que el agua apta para el consumo humano, es útil para utilizarse como agua de mezclado para el hormigón. La NTE INEN 1855-1:2006 indica que a “falta de agua potable, se puede utilizar otra agua siempre y cuando esta sea 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. Previa valoración, el agua proveniente de las operaciones de lavado de las mezcladoras también puede ser utilizada para el mezclado del hormigón”. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

El agua como elemento fundamental para la hidratación del cemento, debe ser dosificado con sumo cuidado de manera que la mezcla sea trabajable sin que la calidad del concreto sea afectada debido a altas cantidades de agua en la mezcla.

Como es de conocimiento general, ante una mayor cantidad de agua en la mezcla, la resistencia del concreto una vez endurecido disminuye, debido al aumento de la relación que existe entre el agua y el contenido de cemento (a/c), este valor adimensional es el más trascendente a la hora de determinar la resistencia a la compresión del hormigón. Es por esta consideración que existen aditivos químicos capaces de reducir de gran manera las cantidades de agua en la mezcla, utilizando dosis menores de esta adición.

3.2.1.12. Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas o productos que bien pueden ser orgánicos o inorgánicos, mismos que incorporados al concreto o al cemento, modifican algunas de sus propiedades físicas, de tal forma que brinde los atributos requeridos para la aplicación necesaria.

La norma ASTM C494, es la que clasifica a los diversos tipos de aditivos químicos para concreto según la función que estos realizan:

Entre la gama de aditivos conocidos los más comunes son los siguientes:

- Plastificantes.
- Retardantes.
- Acelerantes.
- Reductores de agua.
- Impermeabilizantes.
- Inhibidores de corrosión.
- Incorporadores de aire.
- Facilitadores de Bombeo.
- Compensadores de retracción entre otros. (ASTM C494, 2017)

3.2.2. Hormigón Masivo

Existen muchas definiciones acerca del hormigón masivo, una de ellas es que se conoce al concreto masivo como “cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes como para requerir medidas de precaución para hacer frente a la generación de calor de hidratación del cemento y cambios de volumen para minimizar el agrietamiento” (ACI 207.1R-05). (Torres, 2017)

Esta definición no establece medidas específicas ni en las dimensiones, ni en volumen. A diferencia de algunas normativas como por ejemplo la Chilena que define hormigón masivo como “elementos cuya menor dimensión es igual o superior a 0.80m”.

“Algunas investigaciones concluyen que se podrían presentar problemas en estructuras masivas donde el contenido de cemento supera los 350kg/m³ de hormigón”. (Fernandez, 2016)

Estructuras donde se requiera tomar medidas de precaución y que podrían ser consideradas como hormigón masivo, fácilmente se pueden ver ilustradas en la construcción de elementos como:

- Presas y vertederos
- Losas de cimentación
- Prefabricados
- Muros robustos de contención, etc.

A continuación se describen algunos parámetros que pueden ser evaluados y en lo posible controlados para obtener desarrollos de temperatura bajos para estructuras de hormigón masivo:

- Tipo de cemento
- Contenido de cemento
- Tamaño máximo nominal del árido grueso

- Relación agua/cemento
- Aditivos retardadores o Acelerantes
- Coeficiente de conductividad térmica de los agregados
- Coeficiente de conductividad térmica de los encofrados
- Temperatura de colocación
- Temperatura ambiente

Los diseños de hormigón especiales que requieran un análisis de las consideraciones mostradas, pueden ser los siguientes:

- Resistencias a edades tempranas
- Ultra High Performance Concrete (UHPC)
- Hormigones para elementos prefabricados

3.2.2.1. Características Generales del Hormigón masivo

Todos los hormigones generan calor de hidratación, esta reacción química y exotérmica es la que permite el desarrollo de resistencia, para el caso particular de las estructuras de hormigón masivo, este comportamiento térmico es su característica principal que lo diferencia de los hormigones convencionales. Para estos elementos de grandes dimensiones, el calor generado producto de la hidratación del cemento tiene mayor dificultad para disiparse rápidamente, ocasionando un incremento considerable en la temperatura del hormigón.

Dependiendo las proporciones de los materiales empleados para diseño de mezcla y las características del elemento, una vez alcanzada su temperatura máxima, el elemento tiende a enfriarse de una manera acelerada o lenta hasta llegar a la temperatura ambiente. De la misma forma, el alcance de esta temperatura máxima también puede ser registrado de una forma acelerada o lenta.

En consecuencia a esta característica principal, de acuerdo a lo que recomiendan algunas investigaciones y textos, es necesario evaluar las posibles

medidas de prevención y precaución para que los cambios de volumen producidos por el calor de hidratación del cemento, no provoquen la fisuración del elemento y su posterior deterioro.

3.2.2.2. Formación de etringita

“La etringita es un producto que normalmente se forma en el proceso de hidratación del cemento, en esta fase la etringita se origina como resultado de la hidratación del aluminato tricálcico (C_3A) en presencia del yeso. Iones liberados desde el Aluminato tricálcico y otro liberado por el yeso, tienen una reacción que forma la etringita ($C_6A\bar{S}_3H_{32}$)”. (Dominguez & Nuñez, 2016)

Durante un tiempo aproximado de 24 horas en el que la pasta de cemento se encuentra en su etapa plástica, hasta que la estructura física de la pasta adquiere la rigidez necesaria para reaccionar mecánicamente a estímulos deformables. Este periodo se caracteriza por la formación de hidróxido de calcio (Portlandita), trisulfoaluminato de calcio (etringita) y silicatos cálcicos hidratados. Estas reacciones vienen acompañadas de un importante desprendimiento de calor.

“Posteriormente la ettringita continua formándose durante un periodo de reacción lenta durante la hidratación del aluminato tricalcico (C_3A), que genera monosulfatos. Cuando disminuye la concentración de sulfato en la pasta, la concentración de aluminato sube, lo que provoca que la etringita se torne inestable y se convierta gradualmente en monosulfatos”. (Dominguez & Nuñez, 2016)

La presencia de este producto es completamente normal y producto de la hidratación del cemento, por lo que su sola presencia en la pasta endurecida no ocasiona ningún inconveniente en el hormigón.

3.2.2.3. Formación de etringita diferida

La formación de etringita diferida es considerada como un ataque interno de sulfatos causado por altas temperaturas durante el curado del concreto, esta patología se caracteriza por la formación de etringita en el concreto luego de transcurridos meses o incluso años luego de la fundición del elemento de hormigón.

La formación de etringita diferida (DEF) viene dada como consecuencia de altas temperaturas durante el proceso de curado de la pasta de cemento, esto puede descomponer la etringita formada durante las primeras horas, incorporándose a las fases mayoritarias, posteriormente una vez que el concreto ya está endurecido, y ante la presencia del humedad, se origina una cristalización de la etringita generando presiones internas imposibles de soportar por la matriz de concreto que pueden generar fisuras en el elemento.

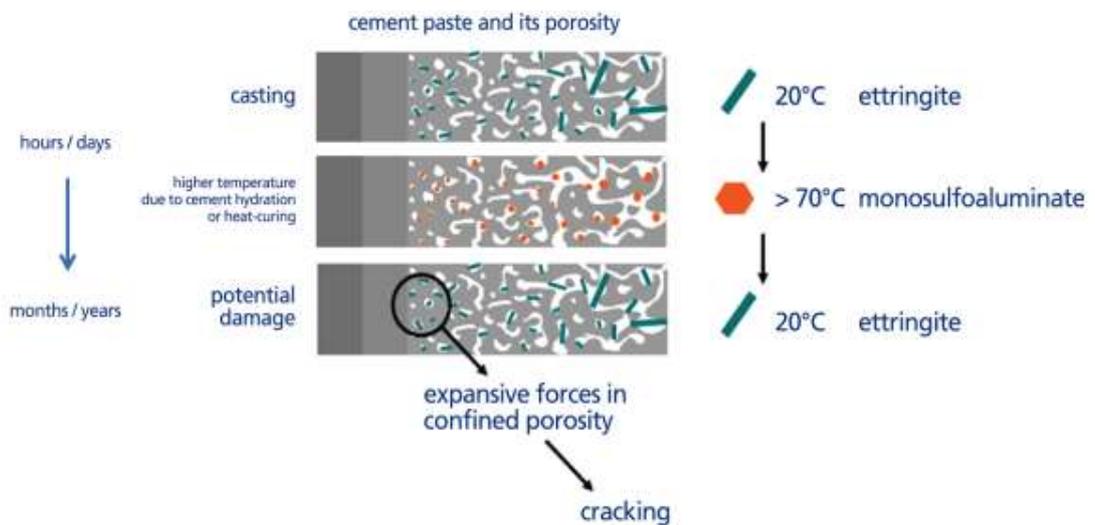


Figura 7 Formación de Etringita Diferida (DEF)
Fuente: (Lafarge, 2014)

De acuerdo a lo que indican algunos autores, este fenómeno es común de ver representado en concretos sometidos a un tratamiento térmico, como es el curado a vapor, o producto del elevado calor de hidratación del cemento para el caso de concretos masivos (Aguero, et al., 2019).



Figura 8 Patrón de expansión interna típica resultado de Formación de Etringita Diferida
Fuente: (Aguero, et al., 2019)



Figura 9 Patrón de expansión interna típica resultado de Formación de Etringita Diferida
Fuente: (Aguero, et al., 2019)

Convencionalmente el rango de temperaturas de curado en las que este fenómeno puede desarrollarse, varían desde los 60 °C hasta los 85°C, el límite de temperatura recomendado varía dependiendo de algunos factores, algunos de ellos son:

- Cantidad de álcali en el cemento
- Cantidad de C_3A
- Cantidad de SO_3
- Tipo de cemento

Además de estos, de acuerdo a lo descrito anteriormente, las condiciones de humedad a las que sea sometido el elemento pueden lograr un aumento o reducción en el límite de temperatura recomendado para evitar la formación de etringita diferida.

Es por esto que el LCPC de Francia establece una categorización del elemento dependiendo de su exposición y tipo de elemento. Clasificándolos de la siguiente manera:

Tabla 10

Determinar el nivel de prevención requerido

Category	Example of structures or structural elements
Category I (small or acceptable consequences)	Structures made of concrete strength class C16/20 or less Non load-bearing building components Easily-replaced components Temporary structures Most precast non-structural products
Category II (rather severe consequences)	Load-bearing components of most building and engineering structures (including standard bridges)
Category III (unacceptable or nearly unacceptable consequences)	Nuclear power plant reactor structures, cooling towers Dams Tunnels Exceptional bridges and viaducts Monuments and landmark buildings Railroad ties

Fuente: (Lafarge, 2014)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Tabla 11

Clase de exposición XH1, XH2 o XH3

Exposure class	Environmental description	Examples for the choice of exposure class
XH1	Dry or moderate humidity	Inside buildings (low / medium humidity) External wall sheltered from rain
XH2	Alternation of moist and dry conditions Or very humid environment	Inside buildings (high humidity) External wall exposed to rain (but no water stagnation) Part of structure unprotected by a coating, and frequently subjected to condensation
XH3	Prolonged contact with water: permanently immersed, water stagnation on the surface, tidal zone	Part of a concrete structure permanently submerged in water Structural elements exposed to sea water A large number of foundations Part of a concrete structure regularly exposed to water projections

Fuente: (Lafarge Building Better Cities , 2014)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Identificando el tipo de exposición y la categoría del elemento, se logra limitar el tipo de protección recomendado para ese elemento en particular:

Tabla 12
Nivel de prevención As, Bs, Cs o Ds.

	Prevention level	Exposure class		
		XH1 (dry or moderate relative humidity)	XH2 (dry / wet cycles, high relative humidity)	XH3 (in contact with water / immersed)
Structural Category	Category I (non load-bearing, temporary elements)	As	As	As
	Category II (load-bearing elements)	As	Bs	Cs
	Category III (dams, bridges, tunnels)	As	Cs	Ds

Fuente: (Lafarge, 2014)
Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Tabla 13
Precauciones adoptadas en función del nivel de prevención.

Prevention level	Precautions
As	T < 85°C or for controlled heat treatment ¹ , T < 90°C, T > 85°C for less than 4 hours
Bs	T < 75°C or T < 85°C and T > 75°C for less than 4 hours, and equivalent active alkali content < 3 kg/m ³ or T < 85°C and use a sulfate resisting cement (EN standard); for CEM I or CEM II/A, equivalent active alkali content < 3 kg/m ³ or T < 85°C and use CEM II/B-V, CEM II/B-S, CEM II/B-Q, CEM II/B-M, CEM III/A or CEM V, with cement SO ₃ < 3% and clinker C ₃ A < 8% or T < 85°C and use CEM I + fly-ash (> 20%), or CEM I + slag (> 20%) or CEM I + calcinated natural pozzolan (> 20%), with CEM I SO ₃ < 3% and CEM I C ₃ A < 8% or

	T < 85°C and check concrete durability with a DEF performance test ²
Cs	<p>T < 70°C</p> <p>or</p> <p>T < 80°C and T > 70°C for less than 4 hours, and equivalent active alkali content < 3 kg/m³</p> <p>or</p> <p>T < 80°C and use a sulfate resisting cement (EN standard); for CEM I or CEM II/A, equivalent active alkali content < 3 kg/m³</p> <p>or</p> <p>T < 80°C and use CEM II/B-V, CEM II/B-S, CEM II/B-Q, CEM II/B-M, CEM III/A or CEM V, with cement SO₃ < 3% and clinker C₃A < 8% or</p> <p>use CEM I + fly-ash (> 20%), or CEM I + slag (> 20%) or CEM I + calcinated natural pozzolan (> 20%), with CEM I SO₃ < 3% and CEM I C₃A < 8%</p> <p>or</p> <p>check concrete durability with a DEF performance test ³</p>
Ds	<p>T < 65°C; this is the priority precaution or</p> <p>(T < 75°C and use a sulfate resisting cement (EN standard); for CEM I or CEM II/A, equivalent active alkali content < 3 kg/m³</p> <p>And validation of concrete mix-design by an independent laboratory with credentials in DEF).</p>

Fuente: (Lafarge, 2014)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

3.3.Marco Legal

3.3.1. Criterios de diseño y construcción

Los criterios de diseño del elemento son de exclusiva propiedad intelectual de la compañía contratante y del contratista. En base a las especificaciones técnicas del proyecto, se ha elaborado el diseño de hormigón que pueda satisfacer los requisitos de durabilidad convencionalmente descritos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, así como también en el código del ACI 318-19

De manera general existen 3 aspectos importantes al momento de garantizar una larga vida útil de una estructura de hormigón estas son:

- Resistencias mecánicas
- Resistencias a agentes agresivos
- Intemperie

Sin duda la propiedad mecánica más conocida y fácilmente medible es su resistencia a la compresión del hormigón, utilizando probetas cilíndricas. Gracias a la extensa literatura que existe entre correlaciones de resistencia a la compresión y el resto de resistencias mecánicas medibles en el hormigón, es muy sencillo interpretar o determinar el resto.

Otro valor determinante de la calidad y durabilidad del hormigón es la relación que existe entre la cantidad de agua de amasado y el contenido de cemento de la mezcla, conocido como relación agua/cemento (a/c)

Finalmente, de manera más específica, la NEC y el ACI 318-18, indican los requisitos que deben cumplir las mezclas de hormigón de acuerdo a su categoría y tipo de exposición.

- Congelación y Deshielo
- Sulfato
- Permeabilidad
- Protección del refuerzo

Dependiendo de la severidad de la exposición, se establecen algunos requerimientos como son, restricción de la relación a/c, tipos de cemento, contenido de aire en la mezcla, Sulfatos (SO_4), resistencia a la compresión mínima, Contenido máximo de iones de cloruro (Cl^-)

3.3.2. Diseño de mezclas (ACI 211.1-97, 1997)

Los criterios de diseño del hormigón están basados de acuerdo a las recomendaciones del código del American Concrete Institute (ACI) refiriéndose específicamente al (ACI 211.1-97, 1997)

3.3.3. Guía para Hormigón Masivo (ACI 207.1R-05, 2006)

El presente código del American Concrete Institute (ACI), establece 4 capítulos fundamentales que son:

3.3.3.1. Introducción y desarrollos históricos

Las prácticas de hormigonados masivos fueron desarrolladas ampliamente a partir de construcciones de presas de concreto, donde fue identificado por primera vez el efecto de agrietamiento del hormigón relacionado con la temperatura. Cuando el concreto se utilizó por primera vez en presas, las presas eran relativamente pequeñas y el concreto era mezclado a mano, usualmente el cemento portland debía envejecer para cumplir con pruebas de solidez.

Entre los años 1900 – 1930, construcciones de presas de concreto de todo tipo, fueron acelerándose. Requiriendo mayor cantidad de presas y más grandes destinadas para irrigación, energía y distribución de agua. La colocación del concreto mediante torres, o tolvas se convertían cada vez más comunes.

Dentro del año 1930 y 1970, se experimentó un rápido desarrollo en presas construidas con hormigones masivos. El uso de torres y tolvas durante este periodo quedó solo para proyectos pequeños. En lugar de esto, el concreto era típicamente colocado utilizando cubetas de grandes dimensiones levantadas con grúas, vías de cables, sistemas de rieles, entre otras.

Hubo también mejoras en la trabajabilidad del hormigón, producto de la introducción de finas adiciones minerales (puzolanas), inclusores de aire y aditivos químicos. Hormigones con asentamientos desde 80mm, fueron colocados sin vibración alguna, aunque no mucho tiempo después de esta época se utilizaba en la mayoría de proyectos vibradores para el concreto.

A principios de la década del 1940, la práctica del pre-enfriamiento de los materiales previo al mezclado del concreto para lograr una temperatura máxima más

baja en el interior del concreto masivo, fue extensamente usada en la construcción de grandes presas.

Existen registros de lo que posiblemente fue la primera practica de pre-enfriamiento de los materiales de concreto en la presa de Norfolk en USA construido por la Unit States Army Corps Engineers (USACE), en Español el, cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. La intención era de introducir hielo picado dentro del agua de mezclado durante los meses cálidos, notando una reducción de la temperatura del concreto fresco en aproximadamente 5.6°C. No solo se ha usado el enfriamiento del concreto usando hielo en el agua de mezclado, sino también enfriando el agregado grueso utilizando aire frio o agua fría.

El mayor desarrollo significativo durante este periodo, fue el abandono del requerimiento de resistencia a la edad de 28 días, llegando a edades mínimo de un año para el desarrollo de su resistencia especificada. Bajo las condiciones de curado utilizando cementos puzolanicos, la ganancia de resistencia del concreto desde los 28 días hasta un año, es significativamente grande. Dependiendo de las proporciones de los materiales, tipo de cemento y de las propiedades de los agregados, las resistencias pueden incrementarse desde el 30% a más del 100%. (ACI 232.2R., 2018)

Desde el año 1970 hasta la actualidad, surgió el desarrollo del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), convirtiéndose en un método predominante para fundiciones masivas de concreto debido a su bajo contenido de cemento y por consecuencia menor calor experimentado por el elemento. Se puede encontrar más información acerca del HCR en el código del ACI 207.5R.

Durante toda la historia hasta la actualidad, vemos que se lograron grandes avances acerca de las prácticas para la construcción de presas. En el presente, la selección de la proporción de materiales para el concreto, permiten predecir estructuras durables, de adecuada resistencia e impermeabilidad con precisión.

3.3.3.2. Materiales y proporciones de mezcla.

Cemento:

Los siguientes tipos de cemento hidráulico son adecuados para su uso en elementos de hormigón masivo:

El cemento Tipo I y GU, no es recomendado para usarse por sí solos en concreto masivo sin otras medidas que ayuden a controlar los problemas de temperatura ocasionados por su considerable calor de hidratación.

El cemento Tipo II y MH, son adecuados para su uso en construcciones de hormigón masivo, debido a su moderado calor de hidratación, que es importante para controlar el agrietamiento. Las especificaciones para el cemento portland Tipo II, requiere que el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) no sea mayor al 8%. Opcionalmente el límite del 58% de la suma del C_3A y C_3S , o el límite de calor de hidratación de 70 cal/g equivalente a 290 kJ/kg a 7 días.

Cemento Tipo IV y LH, de bajo calor de hidratación, pueden ser utilizados cuando se deseé un desarrollo bajo de calor en estructuras de hormigón masivos. Estos no son comúnmente utilizados debido a la dificultad que existe para producirlos, y como razón principal, gracias a experiencias que muestran en la mayoría de obras de hormigón masivo en donde el desarrollo de temperatura es controlado satisfactoriamente utilizando otros métodos con otros tipos de cemento.

Puzolanas y escorias:

La puzolana generalmente está definida como un material silíceo que posee pequeño o nulo valor cementicio, pero que en presencia de agua y finamente dividida, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en condiciones normales de temperatura para formar compuestos que poseen propiedades cementicias. Las puzolanas están clasificadas de acuerdo a la norma ASTM C618.

Usando puzolanas en el concreto, particularmente del tipo naturales, se han detectado reducciones efectivas de la expansión del concreto conteniendo agregados reactivos. La cantidad de esta reducción varía de acuerdo a sus propiedades químicas, la finura y la cantidad que fue empleada.

De acuerdo con la investigación de Mather (1974), indica que para el interior del concreto masivo, donde las tensiones son moderadamente bajas, se puede utilizar cantidades elevadas de puzolana lo cual economiza el diseño cuando el requerimiento de resistencia se desea obtener en edades posteriores.

Aditivos Químicos:

Los aditivos químicos pueden proveer de importantes beneficios al concreto masivo en su estado plástico, logrando mejorar su trabajabilidad o reducir el contenido de agua en la mezcla, o inclusive ambos. Además, los aditivos químicos pueden ser usados para retardar el fraguado inicial, modificando la velocidad o capacidad de sangrado, reducen la segregación y disminuyen la pérdida del asentamiento.

Se pueden lograr importantes beneficios al concreto masivo en su estado endurecido, disminuyendo la evolución de calor durante el endurecimiento, incrementar su resistencia, disminuir el contenido de cemento, incrementar su durabilidad, reduciendo la permeabilidad y mejorar su resistencia a la abrasión o erosión.

Agregados:

El agregado fino a utilizarse debe estar compuesto de granos naturales, granos manufacturados obtenidos de la trituración de materiales de mayor tamaño, o una mezcla de los dos.

3.3.4. Requisitos de hormigón premezclado (INEN 1855-1, 2016)

La Norma Técnica de la Construcción del Instituto Ecuatoriano de Normalización, (NTE INEN) 1855-1:2016, establece las especificaciones para la fabricación y entrega al usuario, del hormigón premezclado en estado fresco y no endurecido.

La norma mencionada no contempla la colocación, compactación, curado o protección del hormigón después de entregado al usuario. La presenta, menciona los requisitos que deben cumplir los materiales utilizados para la fabricación del hormigón premezclado, siendo el cumplimiento de cada normativa nacional y/o internacional respectiva para todos los componentes del hormigón.

Uno de los criterios más considerados dentro de esta norma, es la tolerancia en el asentamiento del hormigón. Estos criterios están divididos de acuerdo a las condiciones siguientes:

- a) Cuando en las especificaciones del proyecto, esté especificado como “máximo” o “no exceder” de:

Tabla 14

Especificaciones del Proyecto "Máximo" o "No exceder"

Asentamiento Especificado	TOLERANCIAS
75 mm o menos	0 mm a 40 mm
Mayor que 75 mm	0 mm a 65 mm

Fuente: (INEN 1855-1, 2016)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

- b) Cuando se establece como un asentamiento nominal en las especificaciones del proyecto:

Tabla 15

Asentamiento Nominal

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

Fuente: (INEN 1855-1, 2016)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

c) Para hormigones autocompactantes en donde se especifique el flujo del asentamiento como especificación del proyecto:

Tabla 16
Flujo de Asentamiento

FLUJO DE ASENTAMIENTO ESPECIFICADO	TOLERANCIAS
550 mm o menos	±40 mm
Mayor que 550mm	±64 mm

Fuente: (INEN 1855-1, 2016)
Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

d) El hormigón debe permanecer trabajable dentro de un rango permisible de asentamiento por un período de 30 minutos. Contados a partir de la llegada del camión mezclador a la obra o después del ajuste del asentamiento inicial permitido, el que sea más tarde. Se excluyen de este requisito el primero y último 1/4 de m³ de la descarga. Si el usuario no está preparado para la descarga del hormigón del vehículo, el productor no será responsable de la limitación de asentamiento mínimo, después de que hayan transcurrido 30 minutos desde que el camión arriba al destino prescrito o de la hora de entrega requerida, lo que sea más tarde. (INEN 1855-1, 2016)

e) Si en obra al hormigón premezclado que cumpliendo los requerimientos especificados se le añade cualquier sustancia con el propósito de mejorar la calidad del hormigón, quien decida adicionar tal sustancia, sea este, el fabricante o su representante, el usuario o su representante, será el responsable de la modificación de la especificación y de las condiciones técnicas comprobadas con los ensayos correspondientes. (INEN 1855-1, 2016)

3.3.5. NORMA INEN 1576 (INEN 1576, 2011)

Esta norma establece los procedimientos para elaborar y curar cilindros y vigas, tomados de muestras representativas de hormigón fresco, utilizado en la construcción de una obra.

Compara los resultados de ensayo de los especímenes con curado normalizado o con otros resultados de ensayos de diversos métodos de ensayo en campo, verificar

el adecuado curado y protección del hormigón de la estructura, o determinar el tiempo requerido para la remoción de los puntales y encofrados.

El hormigón utilizado para moldear los especímenes debe ser muestreado después de que se hayan realizado en la obra, todos los ajustes a la dosificación de la mezcla, incluyendo la adición de agua de mezcla y los aditivos. Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. (INEN 1576, 2011)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología

“La metodología es la explicación de los mecanismos empleados para realizar o fundamentar el análisis de nuestra problemática de investigación. Por lo general, se trata del tercer capítulo de la tesis y es el resultado de la aplicación, sistemática y lógica, de los conceptos y fundamentos expuestos en el marco teórico. Es importante comprender que la metodología de la investigación es progresiva, por lo tanto, no es posible realizar el marco metodológico sin las fundamentaciones teóricas que van a justificar el estudio del tema elegido”. (NORMAS APA, 2019)

La metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación es del tipo cuantitativa, específicamente se determinará experimentalmente a través de sensores colocados en diferentes puntos del elemento para registrar su desarrollo de temperatura. Esta información será contrastada con el modelo matemático empleado por el software ConTemp™ para predecir la temperatura en hormigones masivos. De esta forma se establecerá la precisión del modelo.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Observación

“La observación es un elemento fundamental en cualquier proceso de investigación; donde se apoya el investigador para tener más datos. Gran parte del conocimiento que constituye la ciencia se ha logrado a través de la observación”. (Morán, 2014, pág. 35)

Este tipo de investigación necesito de la observación en base a las pruebas de campo que se realizaron en el momento de toma de muestra del hormigón, ya que con esto se pudo determinar, temperatura, condensación y el debido proceso de homogeneidad del hormigón para luego verificar con el sistema que se desea emplear

si se consiguió el resultado requerido, así mismo se verifico si después de esto hubieron fisuras que predeterminaban la situación del elemento a estudiar.

3.2.2. Experimentación

“En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular”. (NORMAS APA, 2019)

Este tipo de investigación se determinó en el proceso de intervención de las pruebas del hormigón donde se conoce cada procedimiento que se tuvo que realizar para conocer el resultado de un previo reconocimiento del elemento donde se colocarán los sensores el recorrido de los cables y donde reposarán los equipos mientras estos registras las lecturas.

3.3. Enfoque

El enfoque de la presente investigación es del tipo cuantitativo y cualitativo. Cuantitativo ya que mediante la misma, es posible determinar un valor medido con ayuda de los instrumentos y la técnica que se emplean.

3.3.1. Cuantitativo

La investigación cuantitativa es la recopilación, el procedimiento y el análisis de los datos de forma numérica sobre la variable previamente seleccionada. Esta investigación determina la relación entre las variables generalización y la objetividad de los resultados a través de la muestra la cual se hace referencia de una población. (Domínguez, 2017)

La información de tipo cuantitativa se dio en el momento de determinar el valor medido por los instrumentos instalados en la mezcla de hormigón que fue previamente seleccionada, estableciendo la relación con el programa a ejecutarse, para de esta forma determinar si es factible el ejecutar este tipo de dispositivos para conocer temperatura de la mezcla y si esto provoca las diferentes fisuras de una estructura elaborada con hormigón.

3.3.2. Cualitativo

“La investigación cualitativa es el estudio de las personas a partir de lo que dicen y hacen en el escenario socio-cultural, permite comprender el complejo mundo de las experiencias vividas, estudia las actividades, relaciones, asuntos, medios y materiales. Analizando con sumo detalle, una determinada situación o problema en particular”. (Souza, 2019)

La investigación cualitativa se presenta al elaborar un informe de todo lo que el procedimiento determino dentro de la zona de campo, como por ejemplo que tipo de procedimiento se utilizó para elaborar el hormigón, los tipos de aditivos y procesos que se deben implementar para realizar este material, etc.

3.4. Técnica e instrumentos

Para determinar la temperatura “in situ” del elemento en estudio, se requiere de los siguientes instrumentos:

- **Cables “termocuplas”.**

Es un sensor con 2 alambres de distinto material en su interior, unidos en un extremo, recubiertos por un material aislante. Cuando esta unión se enfría o se calienta, se producen impulsos pequeños de voltaje que es conducida por el cable. La termocupla empleada en esta investigación es del Tipo T.



Figura 10 Cables Termocuplas
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Es importante que, el extremo de la termocupla que va a ser colocada en el hormigón, los 2 alambres conductores se encuentren trenzados, esto para lograr que haya una buena lectura térmica.



Figura 11 Extremo de Cable Termocupla colocada en Hormigón
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Terminales.**

La función de estos es pasar la energía en voltios y transmitirla a un aparato electrónico. (Data Logger) para procesarla. Los terminales utilizados en esta investigación son del Tipo T.



Figura 12 Terminales
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Data Logger's**

Este dispositivo electrónico es el encargado de transformar mediante correlación, las lecturas en voltios, a energía térmica, logrando dar un resultado de temperatura. En algunos modelos, estos cuentan con una pantalla Led que permite monitorear el desarrollo de temperatura en tiempo real. Otros modelos no cuentan con esta.



Figura 13 Licencia software EasyLog
Tomada por: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

- **Software para programar los Data Logger's.**

Este software que es gratuito y de propiedad del fabricante de los Data Logger's que se utilizan en esta investigación, se llama EasyLog:

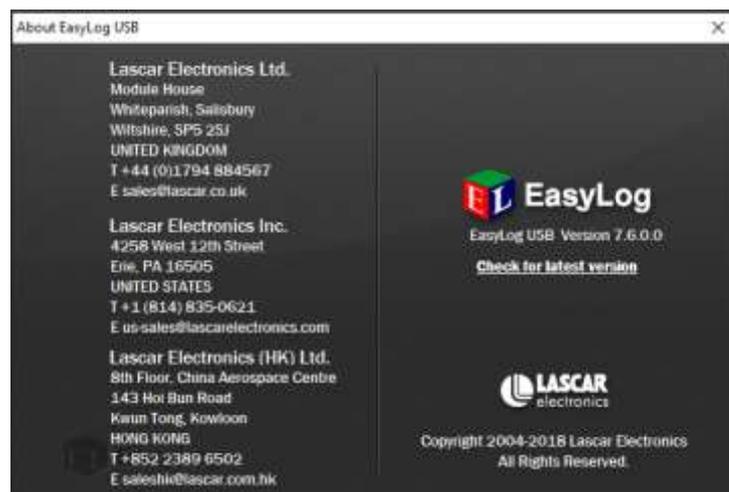


Figura 14 Licencia software EasyLog
Fuente: (Software EasyLog, 2019)



Figura 15 Pantalla principal del software

Fuente: (Software EasyLog, 2019)

A través de este software se logra extraer la información guardada por los dispositivos electrónicos, exportándola a archivos en formato .txt o .xlsx. También es posible programar los dispositivos de acuerdo a los tipos de cables y terminales que se utilicen en la medición.

La información ya almacenada puede ser visualizada mediante un gráfico muy simple de temperatura en función del tiempo.

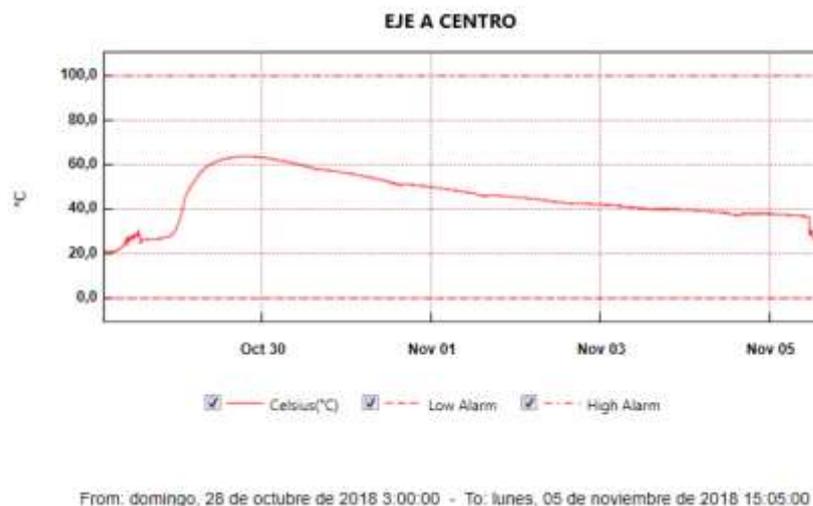


Figura 16 Data temperatura vs tiempo

Fuente: (Software EasyLog, 2019)

La técnica para la recolección de los datos “in situ” de temperatura del elemento

- **Reconocimiento del elemento.**

Se realiza un previo reconocimiento del elemento donde se colocarán los sensores, esto es necesario para tomar las medidas de seguridad correspondientes de manera que se coloquen los equipos sin que el personal a cargo de esta actividad sufra ninguna lesión. Además, también se establece el recorrido de los cables y donde reposarán los equipos mientras estos registras las lecturas, una correcta ubicación de los equipos permitirá el fácil acceso para el monitoreo de la temperatura, asegurando también que el recorrido establecido de los cables no interrumpirá el desarrollo normal de la fundición del elemento.

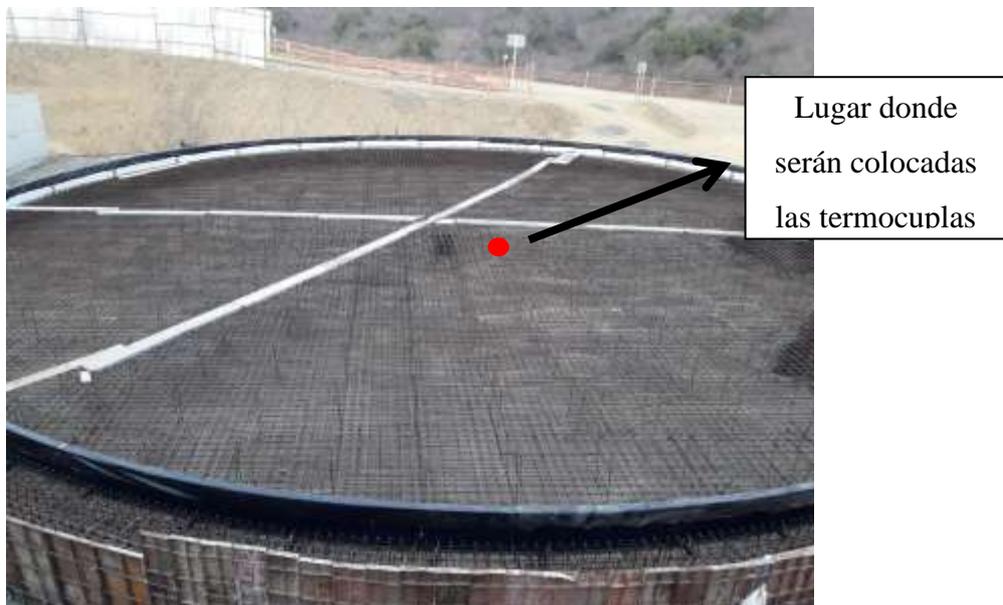


Figura 17 Reconocimiento del Elemento

Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Colocación de las termocuplas**

Para obtener la temperatura máxima del elemento, es necesario colocar los sensores en el centro de la estructura (centro de gravedad). En algunos casos cuando la geometría del elemento es considerable, también se pueden registrar valores de temperatura máxima en distancias alejadas del centro de la estructura.

Para evitar una pérdida de la información por posibles daños en los sensores o Data Logger's, es recomendable colocar al menos 2 sensores para el registro de la

temperatura máxima, permitiendo desplazarse en el plano XY, siempre manteniendo $h/2$.

Las termocuplas deben estar fijas a algún objeto estable, preferiblemente a una varilla, de manera que al momento de verter el concreto, estas no se desplacen y registren información en una posición diferente a la que fueron colocadas.



Figura 18 Colocación de las termocuplas
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

La temperatura ambiente se registra dejando un sensor en un lugar cercano al elemento hormigonado, esta temperatura del ambiente es la que experimentará la estructura en las caras que estén expuestas a la intemperie.



Figura 19 Termocupla para temperatura ambiente
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

En casos de lluvia con temperaturas bajas, se puede colocar un sensor en la cara superior expuesta del hormigón a una profundidad de no más de 5cm desde la superficie. Cabe recalcar que todo el procedimiento descrito en este literal se realiza previo a la fundición del elemento.

- **Verificación de las lecturas.**

Una vez instaladas las termocuplas, el día de la fundición, se activan los Data Logger's para empezar el registro de temperatura. Es necesario antes de dar por finalizada la correcta instalación, una breve revisión de las lecturas que se estén registrando hasta el momento, en caso de evidenciar lecturas que no corresponden a valores típicos en el hormigón, se pueden tomar acciones en el mismo instante como por ejemplo, cambio de los Data Logger's o ajustes de los terminales, de ser necesario para cualquiera de los 2 casos.



Figura 20 Verificación de lecturas
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Para realizar la predicción de la temperatura del elemento a través del modelo matemático, se utiliza los siguientes instrumentos:

- **Concreteira**

La concreteira realizará la mezcla a menor escala del diseño que se suministrará a escala industrial, al concreto obtenido se realizarán todos los ensayos en estado fresco y además, se tamizará una porción por la malla No. 4 para obtener una muestra de

mortero que será utilizada para obtener la huella de hidratación del mortero (fingerprint).



Figura 21 Concreteira
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Equipo Holcim Heat™**

Es un calorímetro en forma de una maleta como una caja, el cual se basa en un sistema de monitoreo semi-adiabático, este se denomina semi-adiabático debido a que todas sus caras se encuentran aisladas con poliestireno para retener la liberación de calor, y en su cara superior entra en contacto con el ambiente.

Esta herramienta permite obtener información calorimétrica, logrando así, estimar el tiempo de fraguado de pasta de cemento, mortero y hormigón.

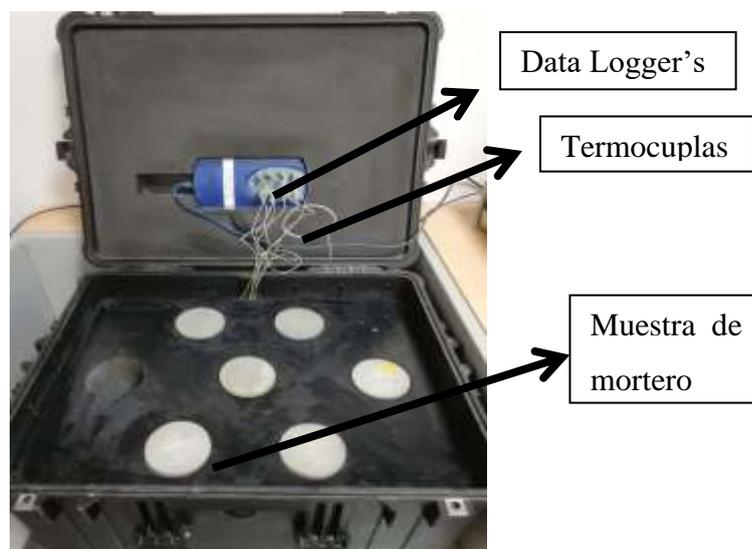


Figura 22 Equipo Holcim Heat™
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Software ConTemp™**

La patente de este software pertenece al Grupo LafargeHolcim, este programa ha sido desarrollado para el Grupo de Soporte de Holcim, Ltd. en el periodo 2012-2013 por la Universidad Técnica Checa de Praga. Se conoce que el campo de la temperatura y su gradiente térmico son solo una primera aproximación para mitigar el agrietamiento, por esta razón, se ha implementado una extensión mecánica agregando una parte mecánica.

La parte mecánica captura el arrastre, la contracción y el daño que ocurre durante la hidratación, más allá de eso, es capaz de predecir tensiones, deformaciones, orientación y ancho de las fisuras bajo algunos supuestos de las leyes constitutivas.

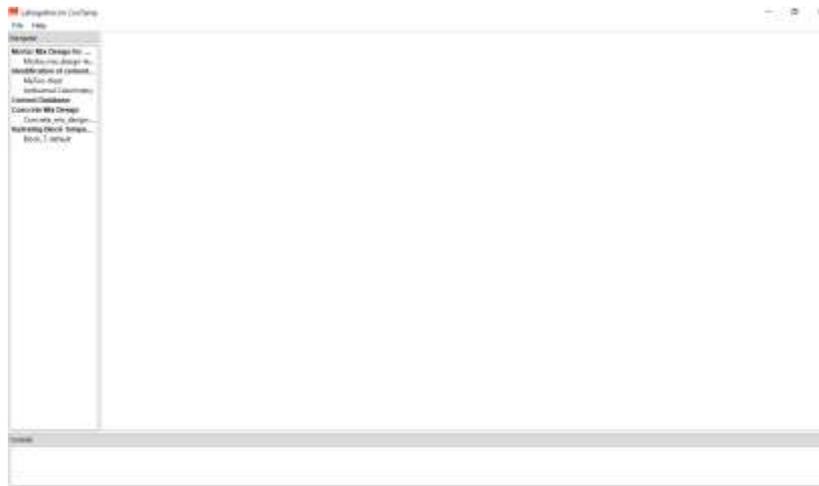


Figura 23 Pantalla de ingreso de información

Fuente: (Software ConTemp™, 2017)

Los objetivos principales de este software son los siguientes:

- Instrumentar la producción de bloques de concreto masivo mediante pruebas virtuales
- Prevenir temperaturas excesivos y altos gradientes térmicos en bloques de concreto masivos.
- Predicción de perfiles hidratación de bloques de concreto masivo con diferentes concretos, composiciones de cemento y condiciones de fronteras variables.

- Identificación de la cinética de hidratación del dispositivo Holcim Heat™, o composiciones arbitrarias de calorimetría isotérmica de mortero o concreto
- Predicción del desarrollo de resistencia del concreto.
- Optimización de los perfiles de temperatura seleccionando la mezcla más adecuada.
- Definición intuitiva y eficiente de la geometría de un bloque prismático de hormigón armado.
- Elección múltiple de condiciones de frontera para cualquier superficie lateral del bloque que permita una descripción realista de la interacción del bloque con ambiente del entorno.
- Visualización y deformación de la figura y el campo de desplazamiento conducido principalmente por la dilatación térmica y contracción autógena.
- Identificación de las ubicaciones con potencial riesgo de agrietamiento utilizando un índice de grieta
- Representación ilustrativa de grietas por tracción proporcionando información sobre el ancho y profundidad de la grieta
- Desarrollo de la densidad del daño en el tiempo como promedio de todo el bloque analizado.
- Evolución de la resistencia a la tracción y el índice de agrietamiento, y resistencia residual luego del agrietamiento.

Los datos que este programa requiere para predecir las temperaturas desarrolladas por el elemento son las siguientes:

1. Diseño del concreto.
2. Curva de hidratación del mortero.
3. Diseño del mortero.
4. Calor de hidratación del cemento
5. Condiciones de frontera del elemento.
6. Temperatura de colocación del concreto.
7. Hora de fundición del elemento.
8. Temperatura del ambiente.

Como resultado se puede conocer la temperatura máxima y gradiente térmico máximo para, de ser necesario, tomar a tiempo las medidas de precaución pertinentes para contrarrestar estos efectos.

La técnica aplicada para determinar:

1. **Diseño de concreto.**

Se elabora el diseño de hormigón teórico de acuerdo a los procedimientos recomendados en el ACI 211 y ACI 207 teniendo lo siguiente:

Tabla 17
Diseño de Concreto

Diseño de concreto			
Materiales	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento Holcim Premium Tipo HE	380	2990	0,127
Piedra No. 67	675	2611	0,259
Piedra No. 78	228	2604	0,088
Arena de Rio	521	2685	0,194
Arena Unificada	341	2636	0,129
Agua	54	1000	0,054
Hielo	126	1000	0,126
Sikaplast 2001R	3,04	1050	0,003
Sikaplast 5012	6,08	1100	0,006
Aire			0,015
Volumen:			1,00

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

Una vez establecido el diseño teórico, en laboratorio se realiza una mezcla representativa a menor escala para mediante ensayos normados, evaluar las propiedades del hormigón en estado fresco. Estas son:

- **Asentamiento**

Norma:

NTE INEN 1578:2013 - Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.

Objetivo del ensayo:

Determinar el asentamiento o revenimiento de una muestra de hormigón fresco, tanto en campo como en laboratorio.

Descripción general del ensayo:

Se obtiene una muestra de hormigón fresco conforme a NTE INEN 1763. La muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de cono truncado y se compacta con una varilla. El molde se levanta permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original con respecto al centro desplazado de la superficie superior de hormigón luego de su deformación. Esta medida se reporta como el asentamiento del hormigón.

Equipos a utilizar:

- **Molde:** Metálico que no sea fácilmente atacado por la pasta de cemento. En forma de cono truncado con un espesor de no menos de 1,5 mm, con diámetros internos de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior y 300 mm de altura.
- **Base del molde:** Base metálica de superficie no absorbente recta y lisa, que permita una correcta sujeción del molde.

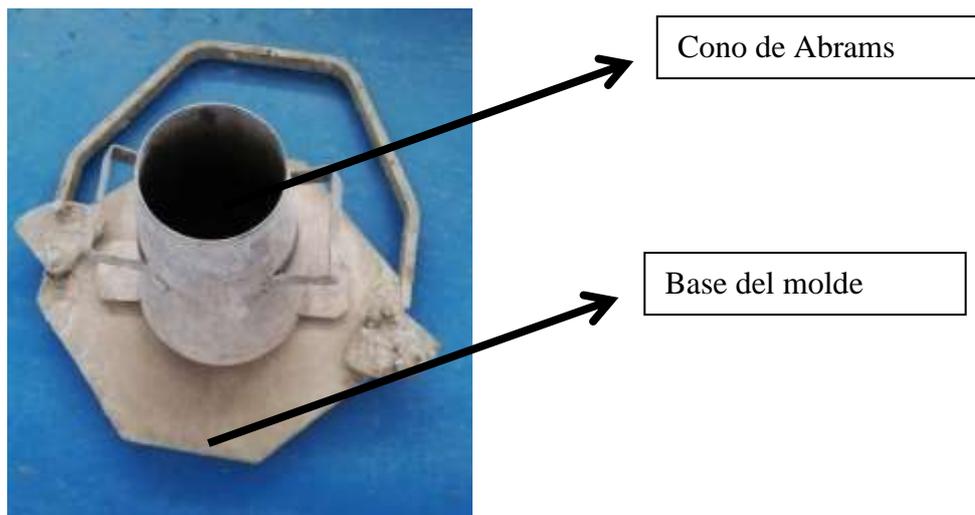


Figura 24 Cono de Abrams
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Varilla de compactación:** Varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo sus 2 extremos redondeados con punta semiesférica.
- **Instrumento de medida:** Regla metálica rígida o flexo metro, ambos marcados en incrementos de 5 mm o menos. La longitud debe ser mayor a 300 mm.
- **Cucharón:** De tamaño suficiente para obtener una muestra representativa del hormigón del que fue tomada la muestra, y que evite la segregación de la muestra contenida en el cucharón.

Procedimiento:

1. Humedecer ligeramente el molde y colocarlo en la placa base de manera que quede fijo.
2. Llenar el molde con la muestra de hormigón en 3 capas de aproximadamente igual volumen, distribuyendo uniformemente el hormigón dentro del molde. Compactar cada capa realizando 25 inserciones de la varilla de compactación. La primera capa no debe tocar el fondo del molde y las siguientes dos capas superiores deben penetrar la capa anterior en al menos 25 mm.
3. Una vez completada la compactación de la última capa, con un ligero excedente de hormigón, enrasar la superficie con la varilla de compactación realizando un movimiento de corte y rolado.
4. Limpiar los residuos de hormigón tanto en el exterior del molde como en la base metálica que sujeta al molde.
5. Levantar el molde metálico en un tiempo de $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ con un movimiento ascendente y vertical.

6. Colocar el molde invertido dentro de la base metálica sin mover la muestra de hormigón asentado y colocar la varilla de compactación en la superficie superior del molde invertido.
7. Inmediatamente con el instrumento de medida, determinar la medida del asentamiento midiendo la distancia que existe entre el centro desplazado de la superficie del hormigón y la parte baja de la varilla de compactación colocada en la superficie del molde.
8. Completar todo el ensayo en un tiempo menor a 2,5 minutos desde el inicio del llenado del molde con la muestra de hormigón.
9. Reportar la medida del asentamiento en milímetros con una aproximación de 5 mm.



Figura 25 Ensayo de asentamiento
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Peso Unitario**

Norma:

NTE INEN 1579:2013 - Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (Método gravimétrico)

Objetivo del ensayo:

Determinar la densidad del hormigón en estado fresco.

Descripción general del ensayo:

Se obtiene una muestra de hormigón fresco conforme a NTE INEN 1763. La misma es utilizada para llenar un molde de volumen conocido, el hormigón es compactado de acuerdo a la consistencia que este tenga, se pesa la masa que ocupa el recipiente. La relación que existe entre la masa del hormigón y el volumen del recipiente es conocida como la densidad del hormigón en estado fresco.

Equipos a utilizar:

- **Balanza:** Balanza o báscula que tenga una exactitud de 45 g o dentro del 0,3% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- **Recipiente de medición:** Conocido también como olla de Washington es un recipiente cilíndrico de acero o de otro metal apropiado no absorbente, la capacidad del molde utilizado es de 7 Litros, esta capacidad está dada de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, conforme a la siguiente tabla:
- **Placa de enrasado:** Una placa rectangular metálica con espesor de 6mm y con una longitud de al menos 50 mm mayor al diámetro del recipiente de medición.
- **Martillo:** Mazo con cabeza de goma con una masa de $600 \text{ g} \pm 200 \text{ g}$.
- **Cucharón:** De tamaño suficiente para obtener una muestra representativa del hormigón del que fue tomada la muestra, y que evite la segregación de la muestra contenida en el cucharón.
- **Varilla de compactación:** Una varilla de acero, recta y lisa, con un diámetro de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. La longitud de la varilla debe ser al menos 100 mm mayor que la profundidad que el recipiente de medición.

- **Procedimiento:**

1. Utilizando el cucharón, llenar el recipiente de medición con el hormigón muestreado hasta aproximadamente un tercio de la altura del recipiente para la primera capa.
2. Realizar 25 inserciones de la varilla de compactación en la primera capa, en forma de espiral desde las paredes interiores del recipiente llegando hasta el centro. La varilla debe penetrar al hormigón sin tocar el fondo del recipiente.
3. Golpear los lados del recipiente con el mazo de goma, dando de 10 a 15 golpes con una fuerza tal para cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande que hubiere sido atrapada.
4. Repetir el proceso de llenado, inserción de la varilla y golpes con el mazo de goma, esto hasta completar las 3 capas, procurando que en estas 2 capas superiores, la varilla penetre la capa anterior en al menos 25 mm.
5. Al terminar la compactación, un exceso óptimo de material se considera si el hormigón sobresale del molde aproximadamente 3 mm sobre la parte superior.
6. Presionar el hormigón con la placa en dos tercios de la superficie, retirar la placa con un movimiento de corte para terminar solamente el área que fue cubierta. A continuación, colocar la placa sobre los mismos dos tercios de la superficie y avanzar con una presión vertical y movimiento de corte hasta cubrir la totalidad de la superficie del recipiente. Inclinar la placa y realizar varias pasadas finales hasta tener una superficie y lisa.
7. Limpiar el exceso de hormigón del exterior del recipiente y determinar la masa del hormigón.

Tabla 18

Capacidad del recipiente de medición

Tamaño máximo nominal del árido grueso (mm)	Capacidad del recipiente de medición ^A	
	(L)	(m ³)
25,0	6	0,006
37,5	11	0,011
50,0	14	0,014
75,0	28	0,028
112,0	70	0,070
150,0	100	0,100

^A Se debe utilizar el tamaño indicado del recipiente para el ensayo del hormigón que contenga áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor señalado en esta tabla. El volumen real del recipiente de medición debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Fuente: (NTE INEN 1763, 2011)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

- **Cálculos:**

Calcular la masa neta del hormigón restando la masa del recipiente M_m , de la masa del recipiente lleno con hormigón M_c . Calcular la densidad, D , dividiendo la masa neta del hormigón para el volumen del recipiente, V_m , de la siguiente manera:

M_m : 3,832 kg

M_c : 20,142 kg

V_m : 0,007 m³

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} = \frac{20,142 \text{ kg} - 3,832 \text{ kg}}{0,007 \text{ m}^3} = 2330 \text{ Kg/m}^3$$



Figura 26 Ensayo de densidad del hormigón en estado fresco

Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Contenido de aire**

Norma:

ASTM C 231 – Método estándar para contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.

Objetivo del ensayo:

Determinar la cantidad de aire en el hormigón fresco recién mezclado, sin incluir el aire contenido en las partículas de agregados, mediante la observación del cambio de volumen de concreto provocados por un cambio de presión.

Descripción general del ensayo:

Se obtiene una muestra de hormigón fresco conforme a NTE INEN 1763. La misma es utilizada para llenar un molde de volumen conocido, el hormigón es compactado y su superficie es enrasada siguiendo el procedimiento descrito en NTE INEN 1579. Luego se inserta una tapa generando un cierre hermético, esta tapa es capaz de incorporar aire a presión a la mezcla, que luego es liberado registrando en un manómetro el porcentaje de aire en la mezcla de concreto fresco recién mezclado.

- **Equipos a utilizar:**
 - **Medidor de aire Tipo B:** Conocido también como olla de Washington es un recipiente cilíndrico de acero o de otro metal apropiado no absorbente, la capacidad del molde utilizado es de 7 Litros, esta capacidad está dada de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, conforme a la tabla X. El medidor está provisto de una tapa con una válvula principal, llaves de purga de agua, una manija para bombear, una válvula principal de aire, cuatro grapas y un manómetro.
 - **Placa de enrasado:** Una placa rectangular metálica con espesor de 6mm y con una longitud de al menos 50 mm mayor al diámetro del recipiente de medición.

- **Martillo:** Mazo con cabeza de goma con una masa de $600 \text{ g} \pm 200 \text{ g}$.
- **Cucharón:** De tamaño suficiente para obtener una muestra representativa del hormigón del que fue tomada la muestra, y que evite la segregación de la muestra contenida en el cucharón.
- **Varilla de compactación:** Una varilla de acero, recta y lisa, con un diámetro de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. La longitud de la varilla debe ser al menos 100 mm mayor que la profundidad que el recipiente de medición.
- **Procedimiento:**
 1. Utilizando el cucharón, llenar el recipiente de medición con el hormigón muestreado hasta aproximadamente un tercio de la altura del recipiente para la primera capa.
 2. Realizar 25 inserciones de la varilla de compactación en la primera capa, en forma de espiral desde las paredes interiores del recipiente llegando hasta el centro. La varilla debe penetrar al hormigón sin tocar el fondo del recipiente.
 3. Golpear los lados del recipiente con el mazo de goma, dando de 10 a 15 golpes con una fuerza tal para cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande que hubiere sido atrapada.
 4. Repetir el proceso de llenado, inserción de la varilla y golpes con el mazo de goma, esto hasta completar las 3 capas, procurando que en estas 2 capas superiores, la varilla penetre la capa anterior en al menos 25 mm.
 5. Al terminar la compactación, un exceso óptimo de material se considera si el hormigón sobresale del molde aproximadamente 3 mm sobre la parte superior.
 6. Presionar el hormigón con la placa en dos tercios de la superficie, retirar la placa con un movimiento de corte para terminar solamente el área que fue cubierta. A

continuación, colocar la placa sobre los mismos dos tercios de la superficie y avanzar con una presión vertical y movimiento de corte hasta cubrir la totalidad de la superficie del recipiente. Inclinar la placa y realizar varias pasadas finales hasta tener una superficie y lisa.

7. Limpiar el exceso de hormigón del exterior del recipiente y con una esponja, limpiar el borde del molde de manera que ninguna partícula quede expuesta y esto impida un cierre correcto con la tapa en el siguiente paso.

8. Colocar de manera perpendicular y en un solo movimiento la tapa de la olla de Washington, humedeciendo ligeramente el neopreno de la tapa.

9. Presionarla ligeramente hacia el molde y luego sujetar las mordazas en forma de cruz de dos en dos.

10. Cerrar la válvula principal de aire y abrir las dos llaves de purga.

11. Inyectar agua con la jeringuilla a través de una de las llaves de purga hasta que salga por la otra llave de manera continua y sin presencia de burbujas. Luego cerrar ambas llaves de purga.

12. Bombear aire hasta la marca de calibración correspondiente del equipo, visualizada en el manómetro.

13. Una vez en la marca de calibración se libera el aire usando la válvula principal y al mismo tiempo golpear vigorosamente los lados del recipiente que contiene el hormigón usando el mazo de goma, seguido de inmediato de ligeros golpes con la yema del dedo en el manómetro sin soltar la válvula principal.

14. Registrar el porcentaje de aire reflejado en el manómetro con una precisión de 0.1%



Figura 27 Ensayo de contenido de aire del hormigón en estado fresco
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Temperatura del Hormigón:**

Objetivo del ensayo:

La medición de la temperatura del hormigón se realiza conforme a lo establecido en la NTE INEN 3119, donde establece que el método de ensayo trata sobre la determinación de la temperatura del hormigón en estado fresco

Norma:

NTE INEN 3119:2016 – Hormigón fresco de cemento hidráulico. Método para determinar la temperatura.

Objetivo del ensayo:

Determinar la temperatura del hormigón de cemento hidráulico en estado fresco.

Descripción general del ensayo:

Una muestra de hormigón es colocada en un recipiente adecuado, un dispositivo medidor de temperatura se sumerge en el hormigón durante un tiempo de 2 a 5 minutos. El valor registrado representa la temperatura del hormigón en estado fresco al tiempo del ensayo.

Equipos a utilizar:

- **Recipiente:** El recipiente debe ser lo suficientemente grande para que por lo menos 75 mm de hormigón cubran todas las direcciones del sensor del dispositivo medidor de temperatura.
- **Dispositivo medidor de temperatura:** Termómetro capaz de medir con exactitud la temperatura de la mezcla con una aproximación de $\pm 0,5$ °C dentro de un rango de 0 °C a 50 °C.

Procedimiento:

1. Colocar la muestra de hormigón en el recipiente.
2. Colocar el dispositivo medidor de temperatura en el hormigón, logrando que la muestra cubra al sensor con un mínimo de 75 mm en todas las direcciones.
3. Leer la temperatura registrada por el sensor luego de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

Reportar con una aproximación de 0,5 °C

- **Elaboración de probetas cilíndricas para la resistencia a la compresión simple.**

Norma:

NTE INEN 1576:2011 – Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.

Objetivo del ensayo:

Elaborar probetas cilíndricas y/o vigas de hormigón, a partir de una muestra representativa del hormigón en obra. Además del curado, protección y transporte de especímenes de hormigón, utilizado en la construcción de una obra.

Descripción general del ensayo:

En un molde cilíndrico o prismático se llena el hormigón previamente muestreado, siguiendo los procedimientos de compactación, curado, protección y transporte; para que posteriormente, estos sean evaluados de acuerdo a los requerimientos solicitados, siguiendo procedimientos conforme a las normativa aplicable. Los ensayos requeridos para determinar el cumplimiento de esta norma, deben ser realizados por un Técnico en Ensayos de Campo para el hormigón, ACI – Grado I o con un título certificado por una institución superior o equivalente.

Equipos a utilizar:

- **Moldes cilíndricos:** Elaborados de acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón de cemento portland o hidráulico. Los moldes deben cumplir con los requisitos de la norma *ASTM C 470 – Especificación estándar de moldes para el moldeo de cilindros verticales de hormigón para pruebas*. Los moldes usados son de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura.
- **Varilla de compactación:** Una varilla de acero, recta y lisa, con un diámetro de $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. (la varilla utilizada para este ensayo en esta investigación, aplica para el moldeo de probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura.
- **Martillo:** Mazo con cabeza de goma con una masa de $600 \text{ g} \pm 200 \text{ g}$.
- **Herramienta para el terminado:** Llana metálica

Procedimiento:

1. Los especímenes de ensayo deben estar en una superficie plana libre de vibraciones, los mismos deben previamente limpios y engrasados con un aceite vegetal en el interior.

2. Con el cucharón metálico, distribuir el hormigón moviéndolo por todo el perímetro del molde, el llenado se realiza en dos capas (para cilindros de 100 mm x 200 mm) de aproximadamente igual volumen, cada capa debe ser compactada con 25 inserciones de la varilla de compactación, en la primera capa, procurar no tocar el fondo del molde.
3. Posteriormente, con el mazo de goma, golpear las 4 caras exteriores del cilindro dando de 10 a 15 golpes.
4. En la siguiente capa superior, permitir que la varilla de compactación, penetre la capa anterior aproximadamente 25 mm, realizando el mismo número de inserciones de la varilla.
5. Finalmente, con el mazo de goma, golpear las 4 caras exteriores del cilindro dando de 10 a 15 golpes en la última capa.
6. Es necesario que se haya colocado la cantidad de hormigón necesaria, para que luego de terminado el llenado y compactación, el molde quede lleno con material.
7. Con la varilla de compactación realizar un movimiento de corte y rolado para quitar excedente de material.
8. Para finalizar, terminar el acabado con la llana metálica para obtener una superficie plana.

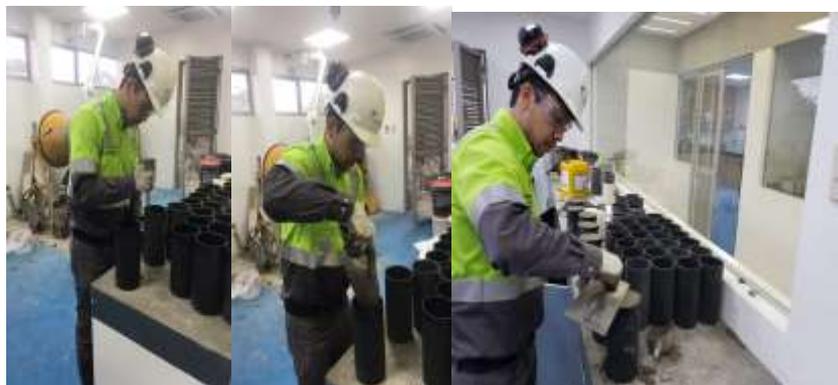


Figura 28 Elaboración de probetas cilíndricas

Tomada por: (Salvatierra, 2020)

- **Data Calorimétrica del mortero.**

El concreto recién mezclado, es tamizado por la malla No. 4, retirando todas las partículas mayores a 4,75 mm, teniendo como resultado un mortero que posee las mismas características del diseño original.



Figura 29 Tamizado en húmedo del concreto por la malla No. 4 (4,75 mm)
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Una vez que se tiene este mortero tamizado, se pesa 1300 g del mismo para ser moldeados en un recipiente de 77mm de diámetro y 152 mm de altura.



Figura 30 Muestra de mortero
Tomada por: (Salvatierra, 2020)

Este será introducido en el equipo Holcim Heat™, mismo que es capaz de registrar el desarrollo de temperatura del mortero como ya se detalló con anterioridad. El gráfico de temperatura en función del tiempo se muestra de la siguiente manera.

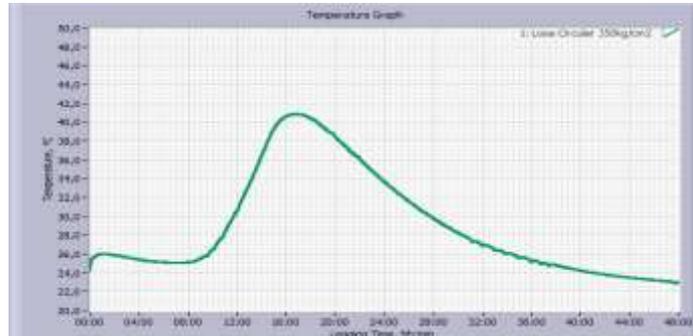


Figura 31 Gráfico de temperatura vs tiempo
Fuente: (Software Holcim Heat™, 2016)

Dependiendo de las características de fraguado que tenga el diseño de concreto, en la mayoría de los casos, transcurridas 48 horas desde la elaboración del concreto, se puede extraer la información calorimétrica del software, esta información se puede representar mediante una curva de Temperatura en función Tiempo.

- **Ingreso de datos en Software ConTemp™**

En esta sección se ingresa toda la siguiente información que requiere el software:

1. Diseño del mortero

Predefined mix design	Mass [kg]	Density [kg/m³]	Volume [l]
Portland cement + SCM	390.000	2990.000	127.090
Water	34.000	999.000	34.000
Ice	126.000	999.000	126.000
Admixtures	9.120	1000.000	9.121
Fine aggregate	862.000	2668.000	323.152
Coarse aggregate			
Insert mineral addition 1 Limestone	0.000	2700.000	0.000
Insert mineral addition 2 Insert fly ash heavy	0.000	2700.000	0.000
Air	0.010	1.200	0.008
Total - Concrete	1421.130	2188.400	633.963
Description			
Mix used in			

Notes: only green cells go to further calculation. Binder mass is normalized per 1 m³.

Figura 32 Diseño de Mortero
Fuente: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

2. Curva de hidratación del mortero.

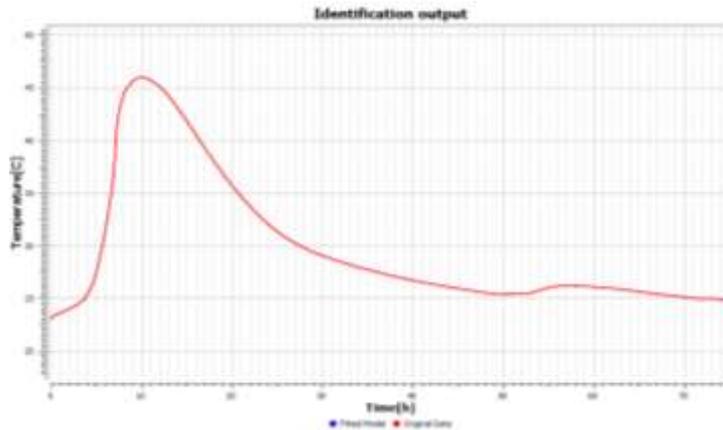


Figura 33 Data original del mortero en ConTemp™

Fuente: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

3. Diseño del concreto.

Predefined mix design	Mass [kg]	Density [kg/m ³]	Volume [m ³]
Portland cement = 1024	300.000	2990.000	127.090
Water	54.000	1000.000	54.000
Ice	126.000	1000.000	126.000
Admixtures	9.120	1083.000	8.421
Fine aggregate	662.000	2065.000	321.452
Coarse aggregate	903.000	2609.000	346.110
Insert mineral addition 1 [Inert fly ash heavy]	0.000	2400.000	0.000
Insert mineral addition 2 [Inert fly ash light]	0.000	1900.000	0.000
Air	0.038	1.300	18.500
Total - Concrete	2034.138	2550.960	1000.673

Figura 34 Diseño de concreto en ConTemp™

Fuente: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

4. Condiciones de frontera del elemento.

Se registra la información del coeficiente de conductividad térmica de los materiales que estén en contacto con el concreto, en caso de no contar con este valor, el programa puede tomar valores referenciales de acuerdo a tipos de materiales típicos utilizados como encofrados.

El tiempo en el que estos mismos materiales usados como encofrados, son removidos de la estructura.

La temperatura ambiente que está en contacto con los encofrados, esta puede ser fija o variable, por ejemplo si los encofrados experimentan la temperatura del ambiente, esta sería variable debido al cambio del clima y calor dependiendo de la hora del día

5. Temperatura de colocación del concreto, Hora de fundición del elemento, temperatura del ambiente.

Integration time step [h]	<input type="text" value="2.00"/>	Target time [h]	<input type="text" value="200.00"/>
Initial temperature [C]	<input type="text" value="28.00"/>	Time of casting [h]	<input type="text" value="13:00"/>
Number of cast layers	<input type="text" value="1"/>	Period between cast layers [h]	<input type="text" value="0.00"/>

Figura 35 Temperatura de colocación del concreto, Hora de fundición del elemento, temperatura del ambiente

Fuente: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

6. Dimensiones del elemento.

Block sizes dx, dy, dz [m]	<input type="text" value="25.000"/>	<input type="text" value="25.000"/>	<input type="text" value="1.000"/>
Elements on shortest edge	<input type="text" value="3"/>		

Figura 36 Dimensiones del elemento

Fuente: (Holcim Ecuador S.A, 2019)

3.5. Análisis de resultados

Resumen de resultados de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas moldeadas en laboratorio:

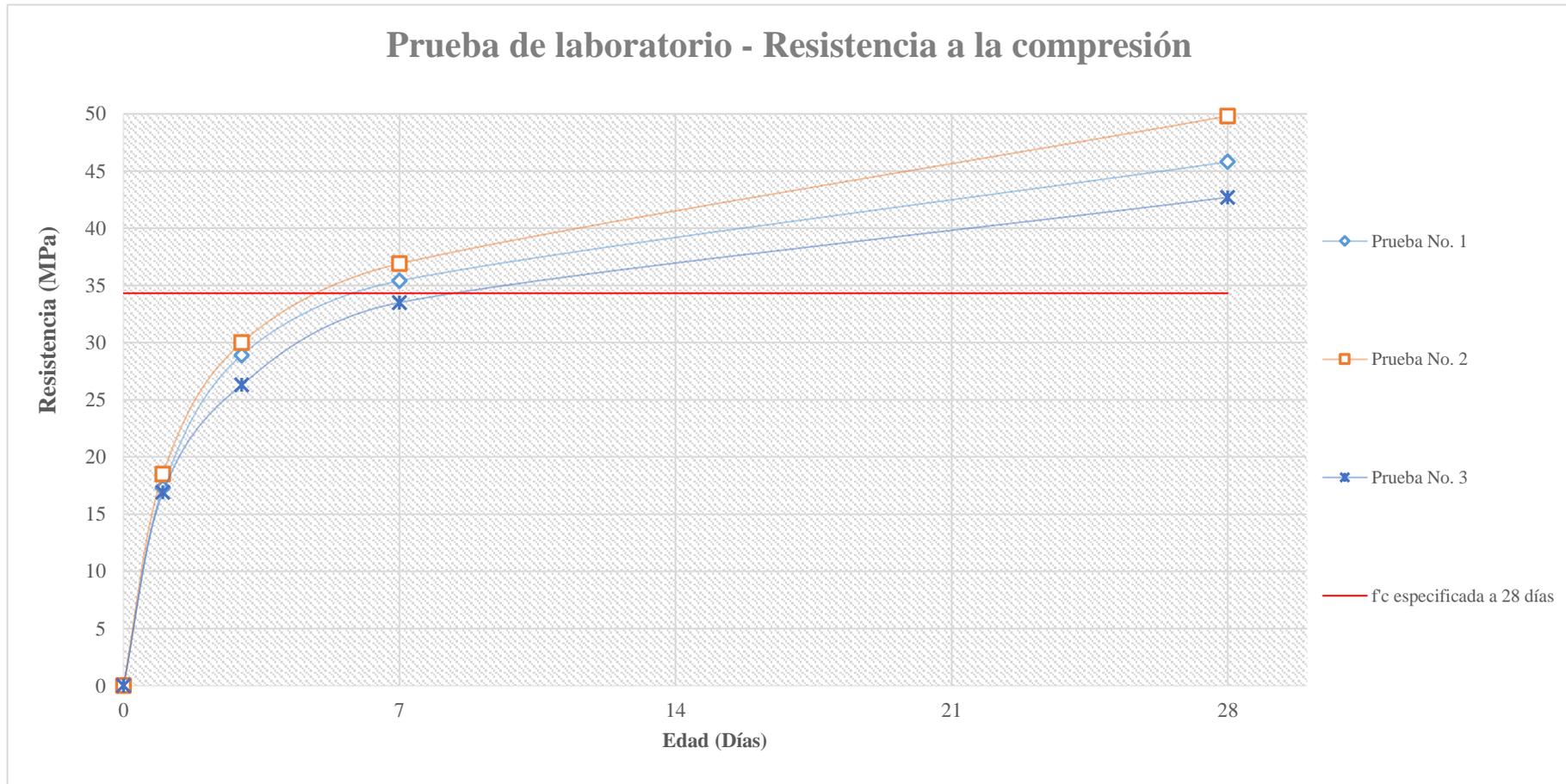


Figura 37 Prueba de Diagnostico-Resistencia de Compresión

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Ensayos en estado fresco y en estado endurecido de las muestras tomadas en laboratorio:

PRUEBA DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN:

$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PRUEBA N°:	1		
DISEÑO:	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ -19mm-13cm-28d		
FECHA:	lunes, 16 de julio de 2018		
METODO DE DISEÑO:	ACI 211		
REALIZADO POR:	Fernando Salvatierra		

CARACTERÍSTICAS EN HORMIGÓN FRESCO:

ASENTAMIENTO	150 mm		
TRABAJABILIDAD	Muy buena		
PESO UNITARIO	$m = 17,044 \text{ kg}$	$v = 0,007000 \text{ m}^3$	$d = 2.435 \text{ kg/m}^3$
PORCENTAJE DE AIRE	2,0%		
TEMPERATURA	23,5 °C		

REGISTRO DE RESISTENCIAS:

	1 DÍA		3 DÍAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
	Cil1	Cil2	Cil3	Cil4	Cil5	Cil6	Cil7	Cil8
Carga	122,4	121,8	204,5	203,3	251,5	247,9	325,2	321
Resist. (Mpa)	17,3		28,9		35,4		45,8	
Resist. (kg/cm²)	176,6		294,8		361,1		467,2	
% respecto a diseño	50,4%		84,2%		103,2%		133,5%	

Figura 38 Prueba de Laboratorio

Fuente: (Salvatierra, 2020)

PRUEBA DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN:

$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PRUEBA N° .:	2
DISEÑO:	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ -19mm-13cm-28d
FECHA:	miércoles, 18 de julio de 2018
METODO DE DISEÑO:	ACI 211
REALIZADO POR:	Fernando Salvatierra

CARACTERÍSTICAS EN HORMIGÓN FRESCO:

ASENTAMIENTO	130 mm		
TRABAJABILIDAD	Muybuena		
PESO UNITARIO	$m = 16,490 \text{ kg}$	$v = 0,007000 \text{ m}^3$	$d = 2.356 \text{ kg/m}^3$
PORCENTAJE DE AIRE	1,5%		
TEMPERATURA	24,5 °C		

REGISTRO DE RESISTENCIAS:

	1 DÍA		3 DÍAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
	Cil1	Cil2	Cil3	Cil4	Cil5	Cil6	Cil7	Cil8
Carga	129,4	131,6	213,4	209,8	261,1	259,5	356,3	346,3
Resist. (Mpa)	18,5		30,0		36,9		49,8	
Resist. (kg/cm2)	188,7		306,0		376,4		508,0	
% respecto a diseño	53,9%		87,4%		107,5%		145,1%	

Figura 39 Prueba de Laboratorio

Fuente: (Salvatierra, 2020)

PRUEBA DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN:

$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PRUEBA N° :	3
DISEÑO:	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ -19mm-13cm-28d
FECHA:	viernes, 20 de julio de 2018
METODO DE DISEÑO:	ACI 211
REALIZADO POR:	Fernando Salvatierra

CARACTERÍSTICAS EN HORMIGÓN FRESCO:

ASENTAMIENTO	140 mm		
TRABAJABILIDAD	Muy buena		
PESO UNITARIO	m= 16,120 kg	v= 0,007000 m ³	d= 2.303 kg/m ³
PORCENTAJE DE AIRE	1,2%		
TEMPERATURA	22,5 °C		

REGISTRO DE RESISTENCIAS:

	1 DÍA		3 DÍAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
	Cil1	Cil2	Cil3	Cil4	Cil5	Cil6	Cil7	Cil8
Carga	126,9	111,5	183,4	187,64	234,5	238,1	333,1	269,3
Resist. (Mpa)	16,9		26,3		33,5		42,7	
Resist. (kg/cm²)	172,4		268,3		341,7		435,5	
% respecto a diseño	49,3%		76,6%		97,6%		124,4%	

Figura 40 Prueba de Laboratorio

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista
NTE INEN 488 – ASTM C109

Muestra: Cemento Holcim Premium Tipo HE

Fecha: 25 Sep 2018

Procedencia: Planta Guayaquil de Cemento Holcim

Muestra	N°	Descripción	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Altura (mm)	Carga Leída (KN)	Resistencia Individual (MPa)	Resistencia Promedio (MPa)
1	1	Cemento Tipo HE	25/09/2018	28/09/2018	3	51,17	50,60	51,43	40,35	15,6	15,2
	2					51,09	51,36	50,42	41,10	15,7	
	3					51,10	51,00	51,12	37,76	14,5	
1	4	Cemento Tipo HE	25/09/2018	02/10/2018	7	49,35	51,91	51,20	65,86	25,7	25,8
	5					50,66	51,84	51,23	67,41	25,7	
	6					50,84	51,68	51,17	68,30	26,0	
1	7	Cemento Tipo HE	25/09/2018	23/10/2018	28	50,09	50,52	50,40	82,74	32,7	31,9
	8					49,66	50,51	51,49	79,25	31,6	
	9					49,80	50,10	51,04	78,39	31,4	
1	10	Cemento Tipo HE	25/09/2018	23/10/2018	28	51,03	50,76	49,93	111,10	42,9	41,5
	11					49,89	51,15	50,31	104,39	40,9	
	12					50,25	50,93	49,40	104,44	40,8	

Figura 41 Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Resultados de resistencia a la compresión simple de cilindros

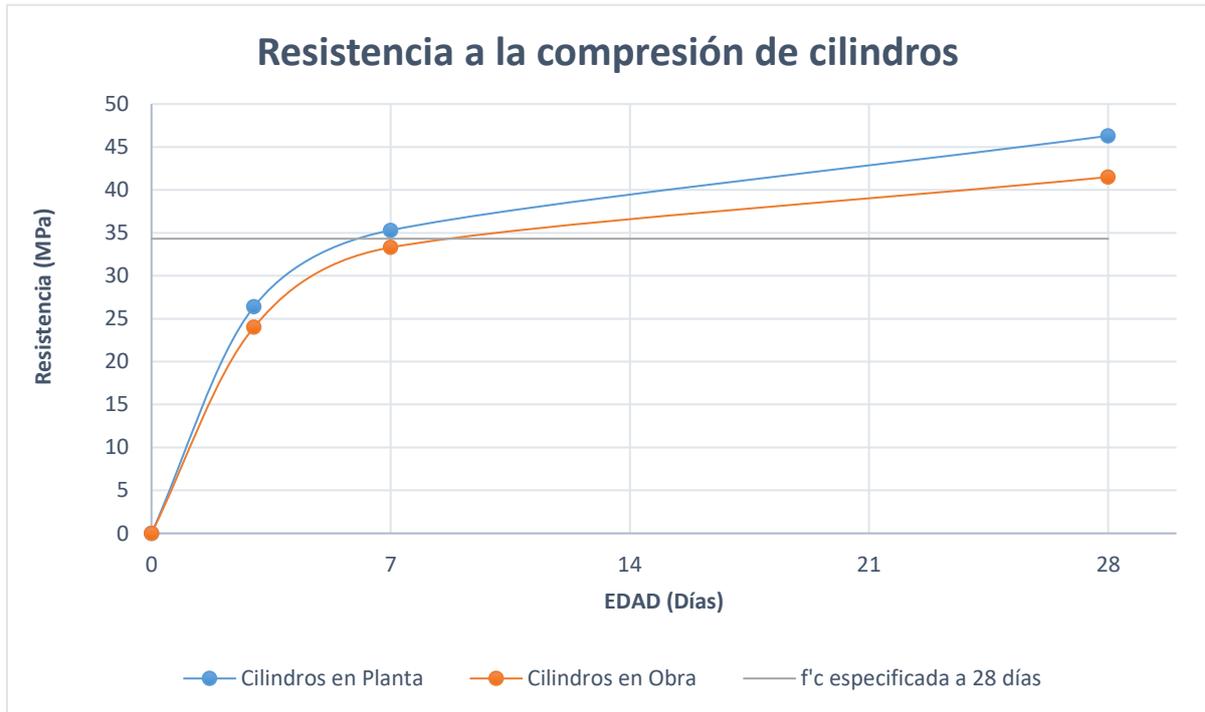


Figura 43 Resultados de resistencia a la compresión de cilindros tomados de camión mezclador

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Tabla 19

Resultados de resistencia a la compresión simple de cilindros

Cilindros de planta		Cilindros de obra	
Día	Resistencia (MPa)	Día	Resistencia (MPa)
0	0	0	0
3	26.4	3	24
7	35.3	7	33.3
28	46.3	28	41.5

Fuente: (Salvatierra, 2020)

Elaborado por: (Salvatierra, 2020)

CAPÍTULO IV

4. INFORME FINAL

Es posible predecir la temperatura que desarrollará un elemento de hormigón masivo con una precisión muy fiable, permitiendo así tomar las medidas de precaución necesarias para garantizar la durabilidad de las estructuras, o en su defecto, realizar un replanteamiento del diseño original, de manera que se obtengas resultados adecuados.

El ACI 310-10, establece de manera general que todo hormigón que sea considerado masivo, no debe exceder los 70 °C de temperatura.

Por otro lado, el Laboratorio Central des Ponts et Chaussées de Francia, antes de establecer un valor de temperatura máxima, clasifica a la estructura de hormigón masivo de acuerdo a su tipo de exposición y categoría.

La estructura analizada en esta investigación clasifica de la siguiente manera:

Categoría 2.- componentes de la mayoría de construcciones y estructuras de ingeniería.

Clase de exposición XH3.- En contacto con agua o inmerso

Esto demandaría un nivel de protección: Cs

En el que la temperatura máxima del elemento no debe exceder los 70 °C

- **Resultados obtenidos “in situ”**

En la presente investigación, se colocaron 2 Termocuplas Tipo T en el centro de la estructura analizada, teniendo los siguientes resultados:

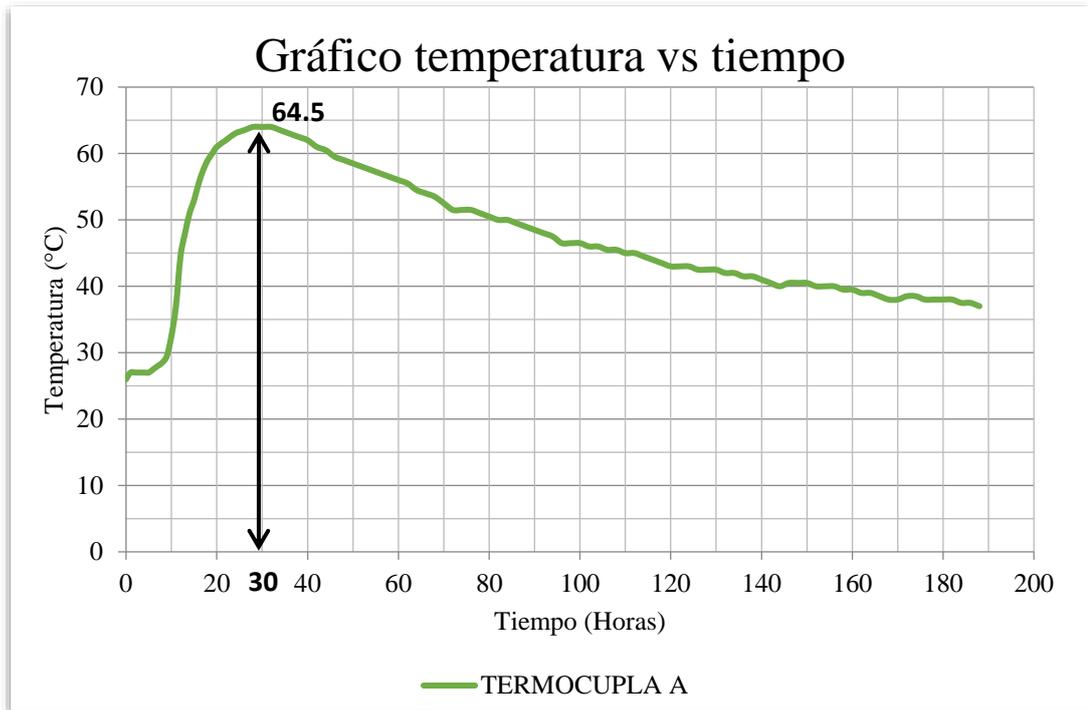


Figura 44 Grafico de Temperatura vs Tiempo Termocupla A

Fuente: (Salvatierra, 2020)

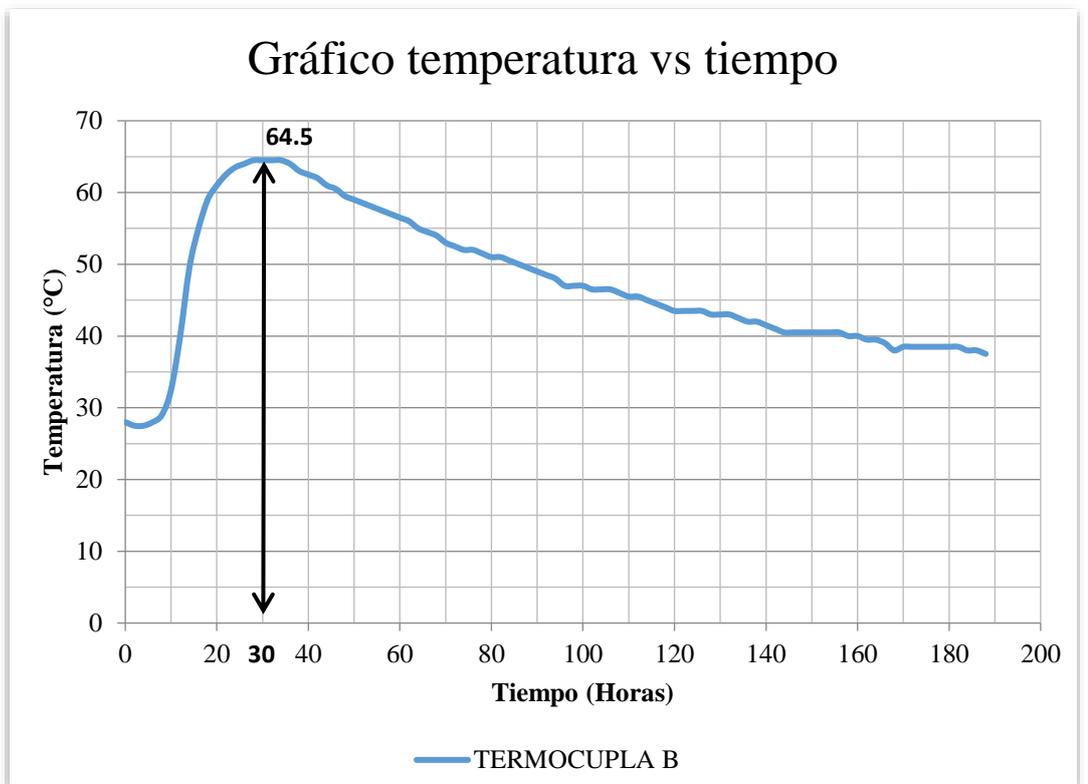


Figura 45 Grafico de Temperatura vs Tiempo Termocupla B

Fuente: (Salvatierra, 2020)

El resultado de la temperatura máxima en el elemento registrado por las dos termocuplas colocadas “in situ” es 64.5 °C, misma que es alcanzada a las 30 horas desde la fundición mismo.

Este resultado se encuentra por debajo del límite recomendado por **(ACI 310-10)** y por el **(Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – Francia)** de acuerdo a su clasificación y tipo de exposición, de esta manera se mitiga la formación de etringita diferida (DEF), patología causante de problemas de durabilidad en el hormigón y potenciales reducciones de su resistencia final.

- **Resultados obtenidos en software ConTemp**

El software ConTemp, desarrollado por la compañía LafargeHolcim, permite a través del ingreso de información previamente, determinar la temperatura máxima que desarrolla un elemento de hormigón masivo.

Es así que, el resultado que se obtenga por el software, será contrastado con la información obtenida “in situ”. La temperatura máxima modelada por el software es la siguiente:

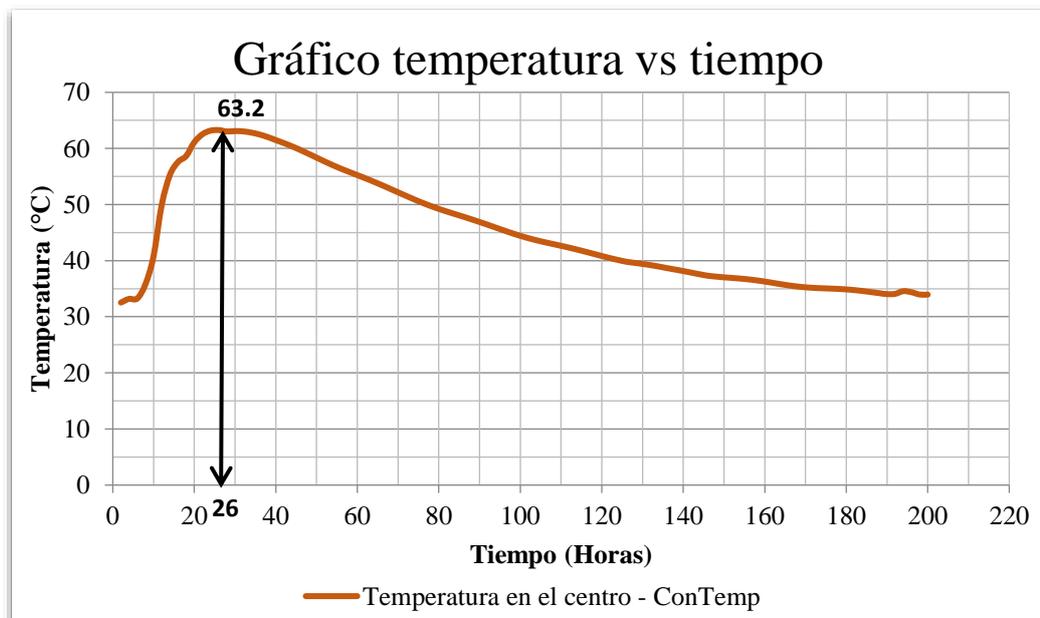


Figura 46 Gráfico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp

Fuente: (Salvatierra, 2020)

El resultado de la temperatura máxima en el elemento modelado por el software ConTemp es 63.2 °C, misma que es alcanzada a las 26 horas desde la fundición mismo.

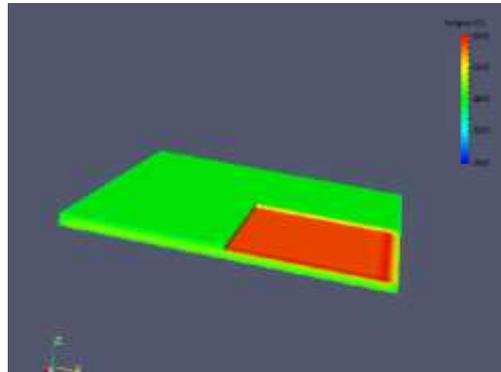


Figura 47 Temperatura vs Tiempo Temperatura en el centro

Fuente: (Software ConTemp™, 2017)

- **Comparativo**

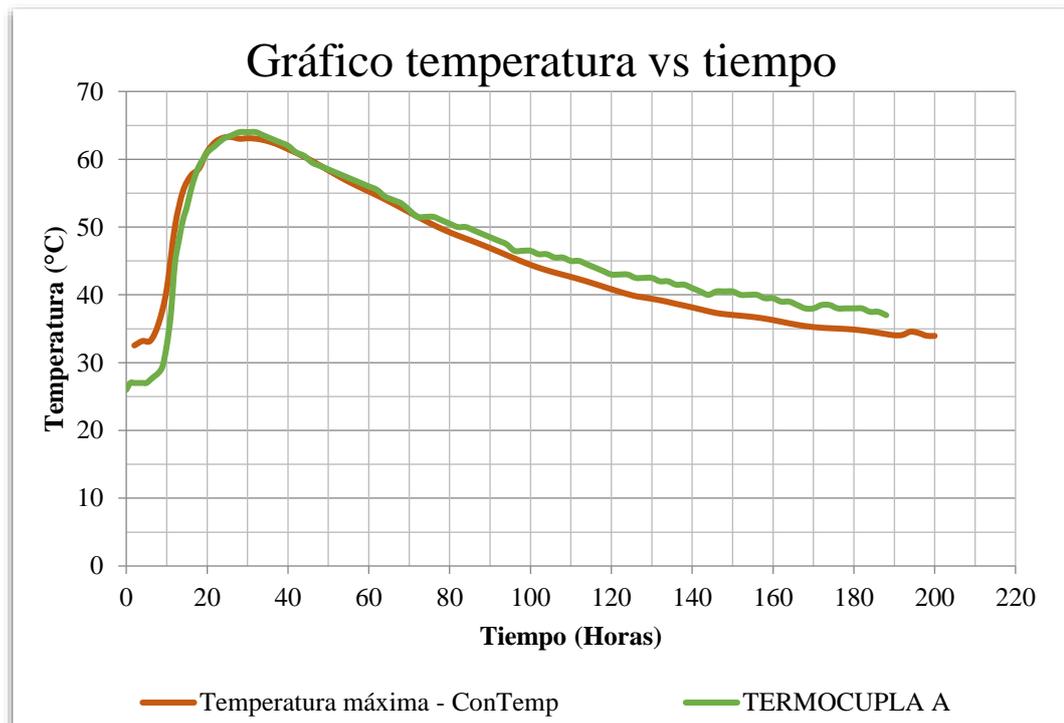


Figura 48 Grafico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp-Termocupla A

Fuente: (Salvatierra, 2020)

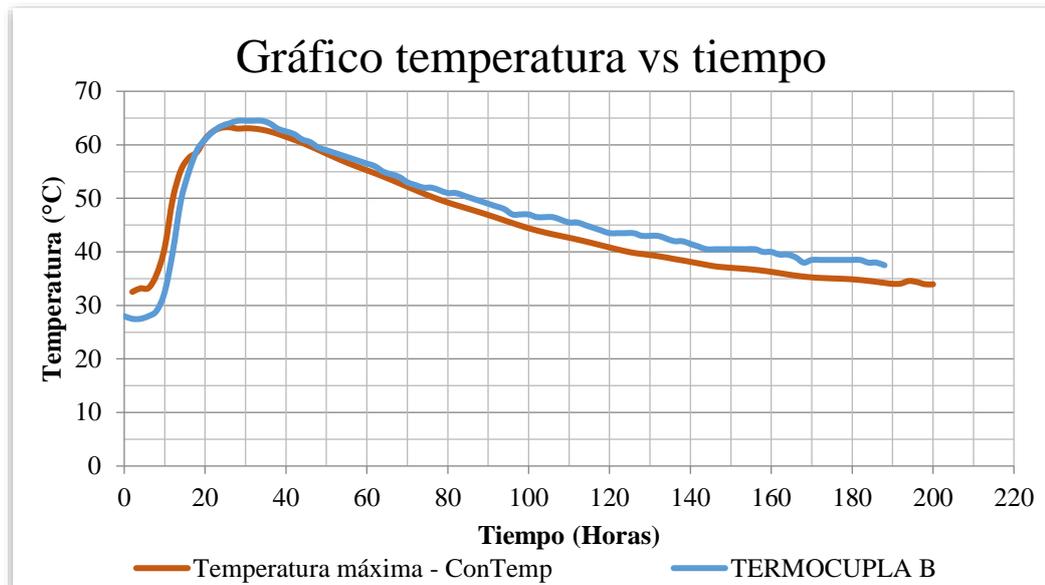


Figura 49 Grafico de Temperatura vs Tiempo Temperatura en el Centro-ConTemp-Termocupla B
Fuente: (Salvatierra, 2020)

El comparativo ilustrado en los gráficos que anteceden, pretende mostrar de manera más práctica, el comportamiento térmico de la estructura de hormigón, visto desde su medición con sensores y además, utilizando el modelo teórico para la predicción del desarrollo de temperatura para estructuras de hormigón masivo

De manera general, se evidencia que los datos reales obtenidos en sitio contrastado con el software utilizado, tienen un comportamiento muy cercano.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos, y que se muestran en la figura 48 y figura 49, se demuestra que utilizando los instrumentos, técnicas empleadas en esta investigación, es posible determinar el comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, en donde se demostró, que los modelos térmicos son de mucha utilidad en obras donde se utilice hormigón en grandes cantidades, debido a que pueden conocerse los problemas que podrían presentarse por los altos diferenciales térmicos generados en el proceso de hidratación del cemento.

El diseño de hormigón que se elaboró para la fundición de este elemento, fue adecuado para garantizar que la temperatura máxima del concreto no exceda los límites recomendados por las normativas internacionales como es el ACI y el LCPC de Francia. Se comprueba que la hipótesis del modelo teórico a través del software empleado para la predicción de la temperatura de un hormigón en condiciones de obra, permite tener una estimación muy cercana comparado con el desarrollo real de la estructura teniendo solo en este elemento evaluado un error del 2.0%.

Se pudo determinar el desarrollo de temperatura mediante sensores en una estructura de hormigón masivo, confirmando los datos de las pruebas procesadas, mediante la elaboración de un diseño de hormigón con valores por debajo de los límites recomendados para la temperatura máxima.

Se compara la efectividad del modelo teórico empleado para la predicción del comportamiento térmico en estructuras de hormigón masivo. Al analizar las curvas obtenidas de las mediciones y las curvas que han resultado del programa de Excel, se puede notar que son muy parecidas por lo que sí son definidas en cuanto al comportamiento térmico del hormigón, y se considera como un correcto análisis realizado.

Se determina, mediante modelos térmico, el predecir la temperatura que se desarrollará en un objeto elaborado con hormigón masivo, para dar información con una precisión muy fiable, permitiendo así tomar las medidas de precaución necesarias,

garantizando la durabilidad de las estructuras, o realizar un replanteamiento del diseño original, de manera que se obtengas resultados adecuados.

Este tipo de análisis desarrolla una gran oportunidad para las empresas que requieran de este modelo térmico ya que podrían conocer el tipo de hormigón que se debería usar para diferentes estructuras y como debe estar conformado el mismo. Es indispensable esta investigación para futuros proyectos que busquen modelos térmicos para conocer la temperatura del hormigón masivo una vez que está expuesto al ambiente.

Con este tipo de aportes tecnológicos se busca que en un futuro las estructuras elaboradas a base de hormigón masivo, ya no sufran las respectivas fisuras por el tiempo de calor que soportan, ya que desarrolla el hormigón en un elemento masivo, de manera que de ser necesario, se tomen a tiempo las medidas de prevención necesarias que permitan disminuir el calor generado producto de la hidratación del cemento, mediante este software contrastándolo con datos reales obtenidos mediante sensores colocados en el elemento, ya que de esta forma se pudo comprobar la efectividad del análisis efectuado por la herramienta.

RECOMENDACIONES

Los modelos térmicos deben ser realizados lo más cercano posible a las condiciones reales en que se va a establecer la respectiva fundición, para lograr resultados particulares. Se trató de un hormigón aislado totalmente hasta los 10 días de edad y libre de disipar calor en los días posteriores en su cara superior

Los resultados alcanzados por medio de la evaluación de métodos y el trabajo experimental se convienen con lo mencionado en la teoría, en donde se compara con el campo de la temperatura y su gradiente térmico.

El contenido de cemento es un factor que incide directamente en la magnitud del desarrollo de temperatura en el núcleo, y la magnitud del desarrollo del diferencial de temperatura en el elemento. Sin embargo, no influye en tiempos a los que se alcanza la temperatura máxima en el núcleo y al que se alcanza diferencial de temperatura en el elemento.

La parte mecánica captura el arrastre, la contracción y el daño que ocurre durante la hidratación, es capaz de predecir tensiones, deformaciones, orientación y ancho de las fisuras bajo algunos supuestos. Los resultados coinciden con resultados de la evaluación de métodos predictivos, en relación a la influencia del contenido de cemento en la totalidad de los parámetros estudiados.

A través de los resultados obtenidos se busca que los profesionales que interesen por este tema sigan evaluando otros mecanismos tecnológicos que le ayuden a mejorar la observación térmica del hormigón masivo para que las estructuras estén bien equilibrada, y sin ningún problema

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aci 232.2r. (2018). Resistencia de concreto.
- Aci 207.1r-05. (2006). Guide to mass concrete.
- Aci 211.1-97. (1997). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete. Michigan.
- Aguero, r. R., korzenowski, c., aguirre, j. R., filho, a. C., filho, l. C., & mallmann, c. S. (2019). Estudio experimental de mezclas de concreto para producir uhpc usando materiales brasileños sustentables.
- Astm c33. (2011). Agregados (arena y grava).
- Astm c494. (2017). Standar especification for chemical admixtures for concrete.
- Belizario, g., & huaquisto, s. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento.
- Benavides, j. (2016). Diseño de hormigón autocompactante para estructuras de agua potable y alcantarillado.
- Cabrera, p. (2017). Agregados de la cantera jubones y su influencia en la resistencia del hormigon, empleado en la construcción de obras civiles.
- Croppi, j. I., & lazzaroni, c. I. (2014). Modelo de elementos finitos para el análisis térmico de estructuras hormigonadas por etapas. Researchgate, 51-58.
- Diaz, s. (2017). Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (arlita) en sustitución parcial del agregado grueso. Ambato.
- Dominguez, j., & nuñez, j. (2016). Modificación de propiedades en morteros de cemento portland por adición de hidroxipoli-indol.
- Domínguez, y. (2017). Cubana de salud publica.
- Fernandez, s. (2016). Corrosion de armadura de hormigon armado en ambiente marino aereo. Madrid.
- Holcim ecuador s.a. (2019). Equipo de medición de temperatura data logger. Guayaquil.
- Holcim premium™. (2015). Cemento hidráulico tipo he de alta resistencia inicial.
- Inec. (12 de diciembre de 2011). Instituto nacional de estadísticas y censos. Obtenido de encuesta de estratificación del nivel socioeconómico:

- http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=112&itemid=90
- Inec. (28 de julio de 2015). Instituto nacional de estadísticas y censos. Obtenido de ecuador en cifras: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/infografias/asi_esguayaquil_cifra_a_cifra.pdf
- Inen 1576. (2011). Elaboracion de probetas de hormigon en obra. Quito.
- Inen 1855-1. (2016). Hormigones. Hormigón. Premezclado requisitos. Quito.
- Inen 1855-1. (2016). Normativa tecnica de la construccion - especificaciones para fabricacion.
- Inen 2380. (2011). Cemento hidraulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos . Quito: instituto ecuatoriano de normalizacion.
- Instituto ecuatoriano de normalizacion. (2015). Hormigones.hormigón premezclado. Requisitos.
- Kosmatka, s., kerkhoff, b., panarese, w., & tanesi, j. (2016). Diseño y control de mezclas de concreto.
- Lafarge. (2014). Delayed ettringite formaton - intertal sulfate attack. Lyon.
- Lafarge building better cities . (2014). A white paper on delayed ettringite formation internal sulfate attack.
- Lafuente, y. (2017). Estudio de la influencia de los distintos parámetros de entrada en el análisis termo-químico-mecánico de estructuras de hormigón en masa. Barcelona.
- Lascar electronics inc. (2018). Easylog. Estados unidos.
- Loor, x. E. (2015). Desarrollo de un modelo térmico para hormigón masivo con cemento tipo gu. Guayaquil: universidad catolica de santiago de guayaquil.
- Morán, k. (2014). Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7626/1/tesis%20fomentar%20la%20practica%20de%20valores.pdf>
- Moreno, m. (2015). Estudio tecnico economico para la obtencion de cemento hidraulico a partm del cemento portland y la cascara de arroz. Peru.
- Nec. (2014). Estructuras de hormigón armado. Quito.
- Normas apa. (2019). Obtenido de normas apa: <http://normasapa.net/marco-metodologico-tesis/>
- Nte inen 1763. (2011). Recipiente de medicion.

- Ortiz, j. A. (2008). Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado. Barcelona.
- Portland cement association. (2016). Design and control of concrete mixtures (vol. 14 th edition). Illinois, united states.
- Salvatierra, f. (2020). “comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, a partir de un modelo teórico”. Guayaquil.
- Silva, r. (2017). Análisis térmico por el método de elementos finitos.
- Software contemp™. (2017). Pantalla de ingreso de informacion.
- Software easylog. (2019). Licencia software easylog.
- Software holcim heat™. (2016). Grafico de temperatura vs tiempo.
- Souza, n. (2019). ¿qué es y cómo hacer una investigación cualitativa?
- Torres, c. (2017). El concreto masivo.
- Zeña, m. A. (2015). Estudio termodinámico teórico-práctico sobre el comportamiento de vaciados de concreto masivo a mas de 4 700 m.s.n.m en la sierra de Perú. Lima.

ANEXOS

Anexo 1 Herramientas, Equipos y Materiales





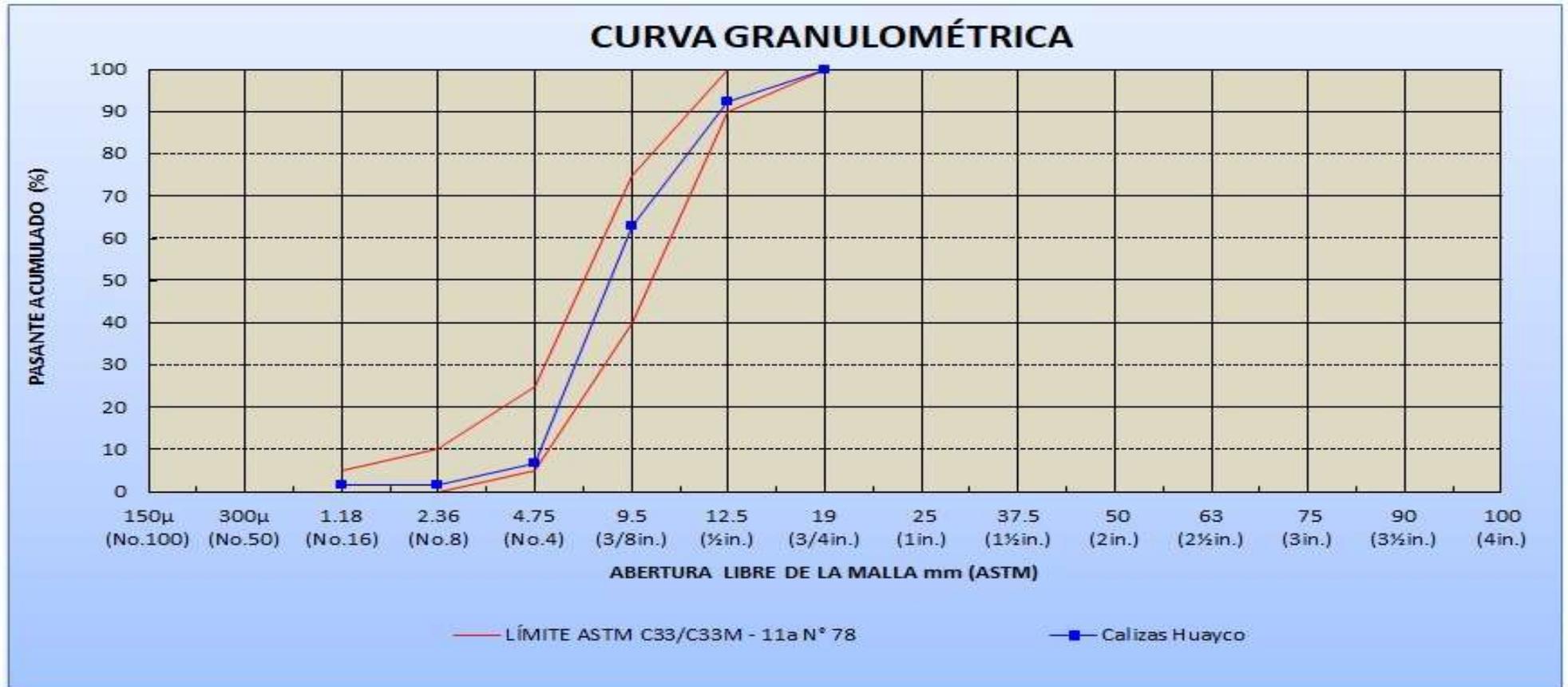
Anexo 2 Control y Monitoreo de obra







Anexo 3 Análisis Granulométricos de los agregados



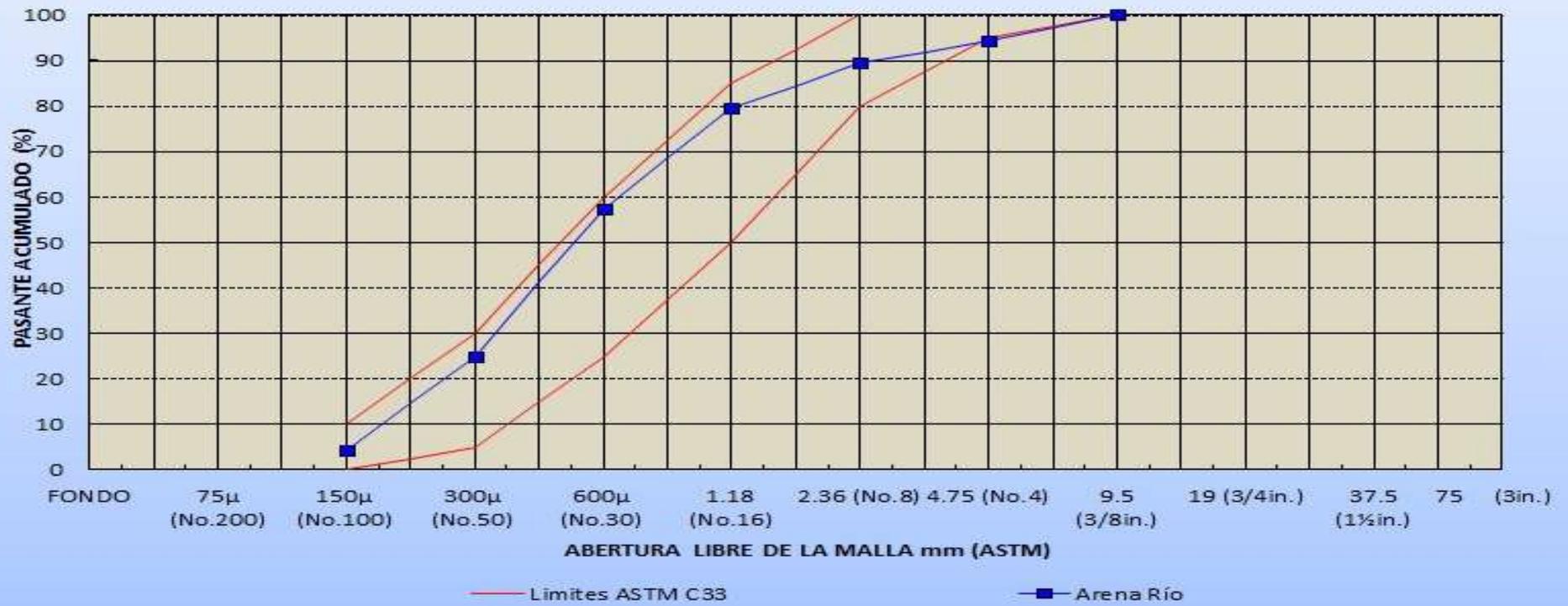
Fuente: (Salvatierra, 2020)

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: (Salvatierra, 2020)

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: (Salvatierra, 2020)



Manufacturer's Authorization

WHEREAS Lascar Electronics Inc, an established and reputable manufacturer of all types of data loggers for remote monitoring and data collection having factories located at:

Lascar Electronics (HK) Ltd, 8th Floor China Aerospace Centre, 143 Hoi Bun Road, Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong

Sales Tel: +852 2389 6502 / Sales Email: saleshk@lascar.com.hk

Lascar Electronics Ltd UK, Module House, Whiteparish, Wiltshire SP5 2SJ United Kingdom

Sales Tel: +44 (0)1794 884567 / Sales Email: sales@lascar.co.uk / Skype: lascaruk

Hereby, authorizes Fernando Salvatierra to use the EL-USB-TC-LCD for the Degree project prior to obtaining the title of civil engineer. We hereby extend our standard manufacturer's warranty for the goods offered for supply by the above firm against this invitation to use our data loggers for a temperature of mass-concrete for a research study.

02/10/2020

Phone: (814) 835-0621 Ext. 106

Fax: (814) 838-8141

4258 West 12th Street

Erie, PA 16505

www.lascarelectronics.com

richard.randall@lascarelectronics.com

Richard Randall - Technical Sales Rep



Fuente: (Salvatierra, 2020)

Elaborado por: Fernando Xavier Salvatierra Cedeño



HOLCIM ECUADOR S.A
Km. 7 1/2 Vía a la Costa
Cajalite: 09-01-04243
Guayaquil, Ecuador

Tel.: (593-4) 370 9000
Fax: (593-4) 287 3482

Guayaquil, 02 de Diciembre del 2019

CERTIFICADO

Certifico que el Sr. **Fernando Xavier Salvatierra Cedeño**, portador de la cedula de ciudadanía No. **0930119235**, ha desarrollado su proyecto de titulación "Comportamiento térmico de una estructura de hormigón masivo, a partir de un modelo teórico" previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, contando con el permiso de uso de nuestras instalaciones y laboratorio del **Centro de Innovación Holcim (CIH)**, ubicado en la planta de hormigones de San Eduardo – Av. Barcelona y José Rodríguez Bonín,

Extiendo el presente certificado para que el interesado pueda uso del mismo como estime conveniente

Atentamente,

Ing. Cristian Velasco Ochoa MSc.
Jefe de Concreto
Centro de Innovación Holcim

)