



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

TÍTULO:

**DESARROLLO DE UN MODELO TÉRMICO PARA HORMIGÓN
MASIVO CON CEMENTO TIPO GU**

AUTOR:

Loor Torres, Xavier Emilio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Yépez Roca, Luis Octavio

Guayaquil, Ecuador

2015



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Xavier Emilio Loor Torres**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Luis Octavio, Yépez Roca

DIRECTOR DE LA CARRERA

Stefany Esther, Alcívar Bastidas

Guayaquil, a los 22 días del mes de Septiembre del año 2015



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Xavier Emilio Loor Torres**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **DESARROLLO DE UN MODELO TÉRMICO PARA HORMIGÓN MASIVO CON CEMENTO TIPO GU** previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 22 días del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR

Xavier Emilio, Loor Torres



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

AUTORIZACIÓN

Yo, Xavier Emilio Loor Torres

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **DESARROLLO DE UN MODELO TÉRMICO PARA HORMIGÓN MASIVO CON CEMENTO TIPO GU**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR

Xavier Emilio, Loor Torres

Agradecimientos.-

Principalmente a Dios, que ha guiado mis pasos y ha bendecido todos mis años de vida.

A mis padres, por su amor y constante esfuerzo día a día por darme una formación de calidad.

A mis compañeros, maestros, y a todos aquellos que han contribuido de alguna forma con mi formación profesional.

De manera especial agradezco al Ing. Luis Octavio Yépez, por ser mi guía en el desarrollo de este trabajo.

Dedicatoria.-

A mis padres, Xavier y Mariana, que nunca han dejado de brindarme su apoyo.



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

CALIFICACIÓN

Luis Octavio Yépez Roca

PROFESOR GUÍA O TUTOR

Índice

Resumen	10
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Introducción	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. El hormigón masivo en la construcción	12
2.1.1. Esfuerzos por comportamiento térmico y agrietamiento.-	16
2.2. Controles de temperatura	17
2.3. Registros en obras en el Ecuador	20
2.3.1. Machala Power.....	20
2.3.1.1. Curva Temperatura vs Tiempo (Machala Power)	25
2.3.2. Coca Codo Sinclair	25
2.3.2.1. Esquema de distribución de sensores de temperatura en bloque de prueba. 26	
2.3.2.2. Temperaturas obtenidas en bloque de prueba	27
2.4. Tipos de cemento.....	27
2.4.1. Cementos Portland (ASTM C150)	28
2.4.2. Cementos mezclados (ASTM 595)	28
2.5. Cemento tipo GU.....	30
2.5.1. Valores mínimos exigidos por la norma INEN 2380 (Moreno, 2011).....	32
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	33
3.1. Elaboración de modelo.....	33
3.1.1. Trabajos Preliminares.....	33
3.1.2. Construcción de masa de hormigón.-.....	38
3.2. Consideraciones para la elaboración del modelo.....	40
3.3. Generación de calor en hormigón masivo.....	41
3.4. Construcción de hoja de cálculo.....	43
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
4.1. Temperaturas obtenidas de mediciones	48
4.2. Curvas obtenidas de las mediciones.....	48

4.2.1. Curva temperatura vs tiempo obtenida de la prueba en sitio	49
4.3. Comparación de resultados.....	49
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	51
5.1. Curva "Temperatura vs. Tiempo" para cemento tipo GU	53
Bibliografía	53
Anexos	55
Tabla de temperaturas medidas en sitio	55

Resumen

Para la obtención del título de ingeniero civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se debe realizar un trabajo de investigación denominado “Trabajo de Titulación”. La presente investigación tiene como título “Desarrollo de un modelo térmico para hormigón masivo con cemento tipo GU”. Para efectos del estudio a realizar, se elaborará una prueba en el laboratorio de ingeniería de la Universidad Católica, el mismo que será detalladamente explicado durante el desarrollo del presente trabajo.

Este trabajo busca verificar curvas de temperatura con respecto al tiempo para predecir el comportamiento térmico de hormigones con cemento tipo GU. Durante el desarrollo de esta investigación se mostrarán gráficas que comparen resultados medidos in situ y valores esperados provenientes de un modelo térmico desarrollado en un programa de Microsoft Excel. Para ello, se explicará cómo se ha construido el modelo, como también las consideraciones que se han hecho para realizarlo.

El proceso de construcción del modelo también ha sido documentado dentro del desarrollo del trabajo, donde se podrán apreciar fotos del mismo.

Palabras Clave: hormigón, masivo, modelo, cemento, prueba, curvas, temperatura, tiempo.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

El comportamiento temperatura-tiempo ha sido estudiado en otras partes del mundo con cementos distintos al que existe en Guayaquil, y es básicamente eso lo que motiva a realizar este estudio: tener conocimiento del comportamiento térmico del hormigón utilizando cemento de uso general fabricado en la actualidad.

Es de mucha importancia tener conocimiento del comportamiento térmico que tendrá el hormigón a utilizarse en grandes obras donde el volumen de hormigón a fundir es considerable, ya que de esta manera se pueden tomar medidas para evitar problemas como la fisuración del hormigón.

1.2. Introducción

El hormigón es el material de construcción más empleado alrededor del mundo. Muy pocas son las construcciones en las cuales no interviene el hormigón. Este material consiste en la mezcla de varios componentes, tales como cemento, piedra, arena, aditivos varios y agua. Cada uno de estos componentes debe cumplir con diversas normas para satisfacer los requisitos de resistencia y durabilidad de las estructuras a construir.

Dentro de los requisitos que debe cumplir el hormigón existen regulaciones en cuanto al volumen del mismo que puede ser fundido sin tomar medidas especiales en cuanto a la generación de calor de hidratación proveniente de las reacciones químicas del agua con el cemento. En caso de que el volumen de hormigón sea suficiente como para requerir dichas medidas de control de temperatura, el hormigón será masivo (ACI 207.1R-96).

El código ACI 211.1R-91 considera que se trata de hormigón masivo cuando la dimensión mínima de la sección transversal del elemento sólido se aproxima o excede de 60 a 90 cm, como también cuando la cantidad de cemento excede 360 kg/m³. Es decir, mientras más cemento exista dentro la masa de hormigón, el calor de hidratación producido será mayor.

La importancia de este fenómeno principalmente recae en que en el transcurso de la disipación del calor de hidratación, la masa de hormigón masivo cuya temperatura no haya sido controlada sufrirá variaciones de volumen importantes que provoquen esfuerzos de tensión que fisuren el hormigón (ACI 207.1R-96).

Esta investigación tiene como objetivo verificar curvas de difusividad térmica para hormigones masivos empleando cemento de uso general (GU) fabricado actualmente en la localidad. Para ello, se va a proceder con la fundición de una masa de 1x1x1 m de hormigón con una cantidad de cemento cuidadosamente medida, la misma que será aislada térmicamente con el uso de poliestireno en todas sus caras

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. El hormigón masivo en la construcción

El diseño de estructuras de hormigón masivo pone especial énfasis en la durabilidad, economía, y comportamiento térmico; y es éste último aquel que lo distingue de los demás tipos de hormigón.

La resistencia del hormigón a los 28 días no será necesariamente la principal preocupación al diseñar hormigón masivo. Una de las razones fundamentales de esto es que los máximos esfuerzos en grandes obras, como por ejemplo presas, no aparecen sino hasta cumplir un año de construcción. El incremento de la

resistencia que se tendría a los 28 días sería considerable al cumplir un año de fundido, pudiendo variar entre 30% y 200% dependiendo de las cualidades de los materiales del hormigón.

El diseño y construcción de obras de gran envergadura en las que se utiliza hormigón en grandes cantidades, está principalmente influenciado por la topografía del sitio. Los estudios a realizarse tienen como objetivo realizar un diseño económico que cumpla con todos los requisitos de seguridad; y es finalmente la economía la que determinará el tipo de estructura que deberá construirse para satisfacer dichos requisitos.

Figura 1. *Hormigón masivo en presas.*



Debido a que la reacción del agua con el cemento es exotérmica, la temperatura crecerá dentro la gran masa de hormigón sin poder ser disipada con facilidad.

Como se mencionó anteriormente, el hormigón masivo requiere de medidas de prevención de formación de grietas debido a la gran producción de calor de hidratación durante su proceso de fraguado y a la dificultad de la disipación del mismo. Las variaciones de temperatura producirán a su vez variaciones de volumen en la masa de hormigón, provocando esfuerzos de tensión que fisurarán al hormigón si superan a la resistencia a tensión del mismo.

El hormigón que ha sido agrietado por sus variaciones de temperatura puede traer distintos problemas a una estructura como:

- sufrir pérdida de integridad estructural
- no poder comportarse como elemento monolítico
- reducir de vida útil de la estructura
- presentar filtraciones considerables (inadmisibles en obras como presas)

Para garantizar la seguridad, funcionalidad y economía de la construcción, es indispensable conocer el material con el que se está trabajando, y es por eso que deben ser estudiadas las propiedades de los hormigones a usarse. Las características más relevantes para los hormigones masivos son:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Módulo de elasticidad
- Relación de Poisson
- Cambio de volumen durante fraguado
- Incremento de temperatura adiabática
- Coeficiente de expansión térmica
- Calor específico
- Conductividad y difusividad térmica
- Permeabilidad
- Durabilidad

La resistencia a la compresión del hormigón masivo generalmente se diseña para los 90 días, y en varios casos para un año o más. La resistencia a la tracción está en función de la resistencia a la compresión, aunque la variación no sea lineal. Una ecuación que relaciona ambas resistencias es:

$$f_t = 0,32f'c^{2/3} \text{ (Unidades en MPa)}$$

Las resistencias antes mencionadas también son influenciadas por la velocidad de aplicación de las cargas; mientras más rápida es la aplicación existirá un incremento de las resistencias. Esto aplica, por ejemplo, para eventos sísmicos que pudieran presentarse, donde las resistencias podrían aumentar hasta el 30% en compresión y 50% en tracción.

El módulo de elasticidad del hormigón, que en no tiene variación lineal, es considerado por fines prácticos constante dentro del rango de esfuerzos que la masa de hormigón espera soportar; mientras que la relación de Poisson generalmente presenta valores entre 0,16 y 0,2.

Los cambios de volumen durante el fraguado ocurren por cambios en el contenido de humedad en la masa de hormigón, cambios de temperatura, reacciones químicas y por los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.

El coeficiente de expansión térmica es determinado principalmente por el tipo y cantidad de agregados gruesos.

Dentro de la masa de hormigón, el cemento genera calor de hidratación y la temperatura de la masa incrementará durante este período. En su etapa temprana de hidratación el hormigón se comporta relativamente elástico y se puede asumir que no presenta esfuerzos al estar a su temperatura máxima. Al comenzar el enfriamiento de la masa de hormigón, y al existir restricciones a una contracción térmica libre, aparecerán esfuerzos de tensión. En caso de que dichos esfuerzos de tensión sean mayores que la resistencia a la tensión de la masa de hormigón, se presentará agrietamiento en dicha masa.

Los esfuerzos de tensión son principalmente influenciados por los siguientes parámetros:

- Diferenciales térmicos
- Coeficiente de expansión térmica
- Módulo de elasticidad
- Relajación del hormigón
- Grado de restricción

Se busca reducir este problema controlando la temperatura máxima a la que llegaría el hormigón durante su proceso de hidratación.

En hormigones masivos, los esfuerzos producidos por temperatura pueden ser generados por dos distintas formas: por la disipación del calor generado por el cemento y por cambios periódicos en la temperatura ambiente.

Las propiedades térmicas del hormigón son: calor específico, conductividad y difusividad. Estas propiedades son principalmente influenciadas por la composición mineralógica de los agregados del hormigón.

2.1.1. Esfuerzos por comportamiento térmico y agrietamiento.-

El hormigón es un material de baja conductividad térmica, por lo que el calor generado se disipará lentamente en hormigones masivos, a diferencia de los hormigones en estructuras que no tengan gran volumen. En casos donde el volumen no sea considerable, el calor se disipará con facilidad. Como explicación a lo mencionado se puede decir que:

- Un muro de hormigón de 15 centímetros de espesor podría llegar a una temperatura estable en tan solo una hora y media.

- Un muro de hormigón de 1,5 metros de espesor podría necesitar una semana para tener una temperatura estable.
- Un muro de hormigón de 15 metros de espesor, que podría compararse con el de una presa de arco, podría requerir dos años en alcanzar una temperatura estable.
- La presa Hoover, que cuenta con un muro de 152 metros de espesor, necesitaría aproximadamente 200 años en alcanzar una temperatura estable, si no se hubieran tomado medidas para contrarrestar las altas temperaturas.

Es decir, en estructuras angostas los diferenciales de temperatura no serán altos y por ello las mismas serían relativamente libres de fisuras térmicas; mientras que en estructuras de considerables volúmenes las temperaturas pueden llegar a crecer mucho y fisurarse como consecuencia de los esfuerzos térmicos producidos.

2.2. Controles de temperatura

Desde la década de los 40, se comenzaron los trabajos por reducir la máxima temperatura a la que llegaría el hormigón en su proceso de fraguado mediante el enfriamiento de los diferentes componentes del hormigón. De esta manera, se buscó contrarrestar las altas temperaturas que se producirían en el hormigón por efecto del calor de hidratación, generado por el cemento.

Como medida para controlar la temperatura, durante la construcción de la presa Norfolk en 1941, se reemplazó parte del agua de la mezcla del hormigón por hielo. Esta práctica permitió reducir la temperatura 5,6°C. Este fue el comienzo de una serie de medidas que comenzaron a tomarse desde aquel entonces para hormigones masivos. Posteriormente, no solo se utilizaba agua en estado sólido,

sino también se enfriaban los distintos agregados del hormigón con aire o agua fría. Recientemente, están utilizándose también métodos de enfriamiento de agregados como saturación de los mismos e inyecciones de nitrógeno líquido.

Figura 2. Presa Norfolk, Arkansas, E.E.U.U.



En la construcción de grandes presas de Estados Unidos, se ha convertido una práctica bastante común no permitir que la temperatura del hormigón no pase los 10°C al ser fundido en zonas donde el clima es muy cálido.

Los métodos de enfriamiento mencionados anteriormente no son los únicos empleados en Estados Unidos. Durante la construcción de la presa Hoover, en la que se utilizaron aproximadamente 3,4 millones de m³ de hormigón, se utilizaron conductos dentro de la masa de hormigón mediante los cuales se disipaba el calor. Estos conductos sirvieron en esta presa para pre-enfriar y post-enfriar. Durante la construcción, aproximadamente se fundían 8,000 m³ de hormigón al día.

Figura 3. Cañerías por las que pasaba agua fría, bajando la temperatura de la masa de hormigón para acelerar su fraguado.



De la misma manera, en la construcción de la presa Canyon, se logró mantener la temperatura del hormigón fresco por debajo de los 10°C, aun cuando se presentaban en el sector temperaturas por arriba de los 38°C. Esto se logró mediante en enfriamiento de los agregados y el uso de hielo en la mezcla del hormigón. El post-enfriado de esta presa fue mediante el uso de conductos de refrigeración y ayudaron a mantener la temperatura del hormigón endurecido bajo los 24°C.

En términos generales, los cuatro elementos fundamentales para el control de la temperatura dentro de la masa de hormigón se pueden clasificar como:

- Control de la cantidad de material cementante
- Pre-enfriamiento, el mismo que consiste en enfriar los distintos agregados del hormigón a prepararse

- Post-enfriamiento, el mismo que pretende reducir la temperatura dentro de la masa de hormigón a través de cañerías
- Buenas prácticas profesionales y una buena administración de la construcción.

Conocer el tamaño de la construcción a realizar hará que los ingenieros opten por la decisión más viable en cuanto a los controles a tomarse. Dependiendo de las limitaciones que existan en la obra pueden tomarse medidas como utilizar un tipo de cemento de bajo calor de hidratación que incluya puzolanas, reducir la cantidad de cemento controlando la gradación de los agregados rigurosamente, adicionar agregados enfriados o agua congelada, entre otros.

La práctica de reemplazar agua con pequeños pedazos de hielo para reducir la temperatura máxima esperada reduciría aproximadamente a 10°C el hormigón recién colado. Para sacar el máximo provecho de esta práctica, el agregado fino no debe tener un contenido de humedad mayor a 5%. De la misma manera, para sacar el máximo provecho a la baja temperatura del hormigón recién colado se debe proteger de las altas temperaturas que pudieran presentarse en el ambiente, ya que un diferencial térmico importante pudiera provocarse al enfriarse el ambiente y el hormigón sufriría fisuras superficiales.

En ambientes donde la temperatura puede ser un problema para el hormigón, a veces es necesario tomar medidas como fundir por las noches para aprovechar una temperatura más baja que la que se tendría fundiendo con luz solar.

2.3. Registros en obras en el Ecuador

2.3.1. Machala Power

Durante la construcción en la termoeléctrica Machala Power en Marzo del 2015, se tomaron lecturas de temperatura por aproximadamente 15 días. En una

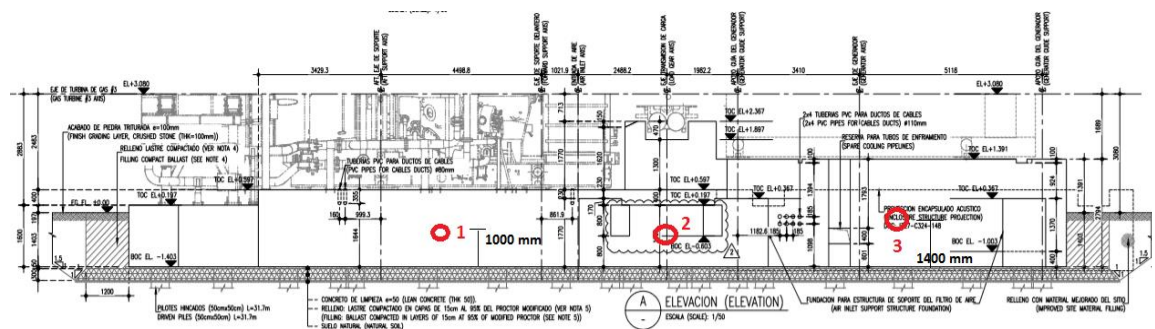
fundición de aproximadamente 400 m³ se registraron lecturas de temperaturas del orden de 75°C durante los tres, cuatro y cinco días posteriores a la fundición, decreciendo en los días posteriores.

Figura 4. Encofrado de estructura en Machala Power.



En el siguiente gráfico se puede observar la geometría de la losa de hormigón, la cual contó con tres termocuplas ubicadas como se indica con círculos rojos.

Figura 5. Geometría de losa fundida en Machala Power, en la que se usaron 385 m³ de hormigón.



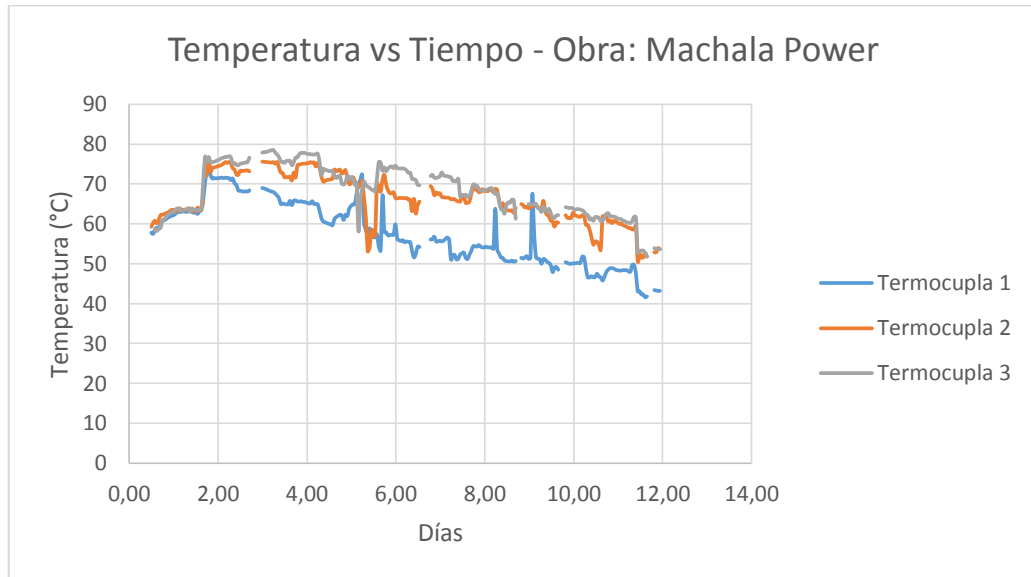
Las temperaturas en esta obra fueron medidas cada una hora. A continuación se presentan los siguientes datos sobre esta obra.

	Marzo 30 2015			Marzo 31 2015			Abril 1 2015		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
00h00				62,2	63,5	63	71,5	74,5	76
01h00				62,5	63	63,5	71,5	74,6	76,2
02h00				62,9	63,5	63,9	71,6	74,8	76,5
03h00				63	63,9	63,7	71,5	75,1	76,6
04h00				63	63,7	63,3	71,6	75,5	76,8
05h00				63,1	63,3	63,3	71,5	75,3	76,8
06h00				63,1	63,6	63,5	71,5	75,5	77
07h00				63	63,5	63,7	71	75,2	76,7
08h00				63,2	63,7	63,9	71,4	74	75,1
09h00				63,3	63,9	63	70,2	73,6	75,3
10h00				63	63,3	63,9	69,8	72,4	74,8
11h00				62,8	63,5	63,5	68,4	72,3	74,7
12h00	57,8	59,3		62,9	63,1	63,6	68,3	73,,3	75,1
13h00	57,5	60,3		62,5	64,1	63,5	68,2	73,3	75,2
14h00	58,7	60,8	58,6	63,2	63,5	63,6	68,1	73,3	75,3
15h00	59	60,1	58,2	63,4	63,5	63,7	68,2	73,4	75,4
16h00	59	61	58,8	65,8	65,8	70,1	68,1	73,4	75,5
17h00	59,9	62,2	59	70,15		76,8	68,4	73,2	76,6
18h00	60,7	62,3	60,9	73,4	72,1	75,5			
19h00	60,9	62,5	61,2	75,7	75,9	76,8			
20h00	61,2	62,7	61,8	72,3	73,2	75,5			
21h00	61,6	62,9	62,3	71,4	74	75,5			
22h00	61,8	63,2	62,6	71,5	74,2	75,6			
23h00	62	63,5	62,9	71,4	74,3	75,8			
	Abril 2 2015			Abril 3 2015			Abril 4 2015		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
00h00	69	75,6	77,9	65,3	75,2	77,6	64,5	70,2	71,8
01h00	68,9	75,6	78	65,2	75,2	77,5	64,9	71,7	71,2
02h00	68,7	75,5	78	65,1	75,5	77,5	65	70,8	69,8
03h00	68,5	75,5	78,2	65,7	75,3	77,4	67,7	70	70,2
04h00	68,3	75,4	78,3	65	75,4	77,4	69,9	69,2	58,1
05h00	68,1	75,4	78,5	65	74,4	77,5	71,1	69,9	66,2
06h00	68	75,5	78,5	64,9	75,3	77,6	72,3	70,7	68,7

07h00	67,6	75,1	77,9	63,2	74,1	75,4	60,2	66,5	70,6
08h00	67,1	75,5	77,4	61,4	71,8	72,3	58,5	61,6	69,8
09h00	66,5	74,2	76,8	60,6	70,6	73,8	57,1	53,18	69,3
10h00	65	72,9	75,6	60,4	70,8	73,5	58,9	54,1	69,1
11h00	65,1	72,8	75,6	60,2	71	73,5	56,8	58,5	68,6
12h00	65	71,7	75,3	60	71,1	73,2	56,7	58,1	68,5
13h00	64,9	71,8	75,8	59,9	71,2	73,3	56,6	56,9	68,2
14h00	64,9	71,7	75,8	59,7	71,4	73,3	57,4	70,2	71,5
15h00	65,8	71,8	75,8	61,2	73,6	72,1	54,3	69,2	75,5
16h00	64,7	70,9	74,7	61,7	73,2	71,5	53,3	68,1	75,4
17h00	65,8	72,9	75,5	62	73,4	71,9	67,2	71	73,3
18h00	65,9	71,6	76,6	62,3	73,6	72	58	72,3	74,2
19h00	65,6	74,7	76,7	62,1	72,7	70,1	57,9	69,8	73,2
20h00	65,6	74,9	77,5	61	72,9	69,9	57,1	68,4	73,9
21h000	65,7	75	77,8	62,3	73,5	70,4	57,2	67,7	74,3
22h00	65,5	75,1	77,8	62	71,4	72,1	57,3	67,7	74,4
23h00	65,5	75,1	77,8	63,8	70	71,3	57,3	67,9	74
	Abril 5 2015			Abril 6 2015			Abril 7 2015		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
00h00	59,9	66,5	74,6	55,8	67,7	71,9	54,1	68,2	68,3
01h00	56,2	66,4	74	55,6	66,8	72,9	54,3	68,4	68,5
02h00	55,9	66,5	73,9	55,8	66,7	72,2	54,1	68,2	68,7
03h00	55,7	66,5	73,9	56,2	66,6	72	54,1	68,6	68,9
04h00	55,9	66,5	73,9	56,6	66,6	72	54,1	68,8	69
05h00	55,4	66,4	73,8	56,1	66,5	71,8	53,8	67,9	68,3
06h00	55,6	66,5	73,4	51,1	66,2	71,7	63,8	68,8	67,5
07h00	55,5	66,1	72,8	52,2	66,2	70,8	53,6	68,5	67,7
08h00	55,4	66	72,8	52,2	66,2	70,8	52,6	65,9	65,8
09h00	53,2	63,2	71,3	51,1	65,8	70,7	51,6	64,1	63,8
10h00	51,6	66,3	71,2	51,3	65,7	71,3	51,5	65,2	63,4
11h00	52,5	62,6	71	52,3	65,6	66,8	50,8	63,7	62,6
12h00	54,3	64,7	69,8	52,6	66,7	67,3	50,7	63,5	64,8
13h00	54,2	65,6	69,7	52,8	66,9	67,2	50,6	63,4	65,4
14h00				51,5	65,3	67,3	50,6	63,3	65,3
15h00				51,2	65,3	66,8	50,8	63,4	66,1
16h00				52,3	65,6	66,9	50,5	62,8	65,9
17h00				53,2	67,5	68,3	50,7	64	61,3
18h00				54,4	68,8	69,9			
19h00	56,1	69,5	72	54,4	68,7	69,7			

20h00	56,2	68,8	72,3	54,3	68,5	69,6	51,5	65		
21h00	56,8	67,2	71,6	54,7	68	68,9	51,3	64,7		
22h00	55,6	67,9	71,5	54,3	68	68,3	51,6	64,1		
23h00	55,6	67,5	71,7	54,1	68,7	68,3	51,9	64,3		
	Abril 5 2015			Abril 6 2015			Abril 7 2015			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
00h00	51,2	63,9	65	50,1	62,8	63,9	48,4	60,4	61,4	
01h00	51,5	64,2	64,8	50,1	62,2	63,5	48,3	60	61,3	
02h00	67,5	64,5	64,9	50,2	62	63,7	48,3	60,1	61,2	
03h00	57,6	64,6	65	50,2	61,8	63,7	48,4	59,7	60,8	
04h00	51,6	64,6	65	50,2	61,8	63,6	48,4	59,5	60,7	
05h00	51,3	64,1	64	51,8	62,2	63,4	48,4	59,3	60,4	
06h00	51,1	64	63,8	51,6	62	63,1	48,1	59	60,3	
07h00	50	63,8	63	48,7	59,8	62,3	48	59	60,2	
08h00	51,2	65,8	64,3	46,6	59,7	62,2	49,7	58,6	60,7	
09h00	51	63,2	63,5	46,6	58,5	61,1	49,7	58,7	61,8	
10h00	50,5	62,3	63,1	46,9	56,7	61,4	47,6	59,5	61,7	
11h00	50,2	61,9	63,8	46,6	54,8	60,8	43,1	50,6	52,8	
12h00	49,6	60,8	62,7	46,7	55,6	61,7	43,1	52,5	53,2	
13h00	47,9	60,6	61,6	47,5	55,5	61,7	42,3	51,6	53,3	
14h00	49	59,3	61,5	46,8	54,7	61,5	42,3	51,6	53,3	
15h00	49,2	60,4	62,1	46,6	53,5	60,7	41,6	52,7	52,7	
16h00	48,5	60,3	62,2	45,8	61,9	60,8	41,8	51,8	51,8	
17h00				46,7	61,8	61,7				
18h00				47,9	61,9	62,5				
19h00				48,5	60,6	62,7				
20h00	50,4	62,2	64,2	48,9	60,9	62	43,4	52,9	53,9	
21h00	50,2	61,5	64,1	48,9	60,2	61,9	43,3	52,9	53,8	
22h00	50	61,5	64	48,8	60,8	61,8	43,2	53,9	53,8	
23h00	50	61,5	64	48,5	60,6	61,7	43,2	53,7	53,6	

Con estos datos se procedió a construir una curva de temperatura vs tiempo para una mejor apreciación del comportamiento térmico del hormigón en esta obra.

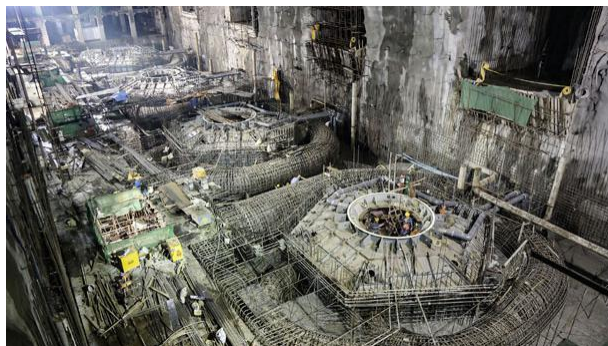


2.3.1.1. Curva Temperatura vs Tiempo (Machala Power)

2.3.2. Coca Codo Sinclair

Durante los procesos de construcción de la presa Coca Codo Sinclair, ubicada entre las provincias Napo y Pastaza del oriente ecuatoriano, se realizaron fundiciones por bloques de aproximadamente 3,000 m³ de hormigón.

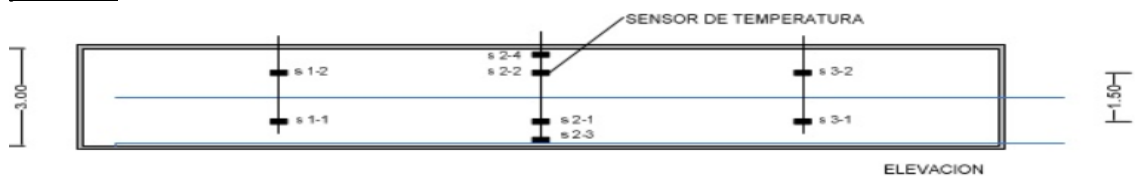
Figura 6. Construcción de Coca Codo Sinclair



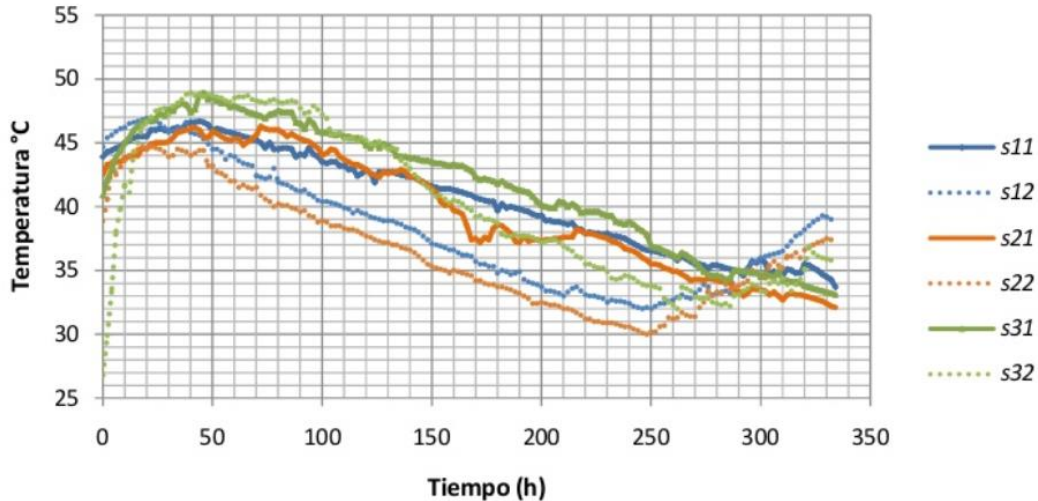
Con el fin de controlar la temperatura producida por la hidratación del cemento dentro de las masas de hormigón fundidas, se utilizó una mezcla con un contenido bajo de cemento, reemplazando parte del mismo con puzolanas. Así mismo, se utilizaron áridos gruesos de gran tamaño y un sistema para enfriar el agua de mezclado. Se utilizaron también tuberías de enfriamiento, enconfrado metálico para una rápida disipación del calor, curado con agua y se utilizó una manta protectora.

En la construcción de bloques de prueba instrumentados, se obtuvieron temperaturas inferiores a los 49°C. El diferencial de temperatura obtenido entre la superficie del bloque y el medio ambiente fue inferior a 5°C, por lo que se concluye que dio un buen resultado la manta protectora. En el núcleo de se obtuvieron temperaturas inferiores a los 15°C que fueron resultado de la disipación de calor mediante las tuberías de agua fría. Se registró un diferencial térmico de hasta 24°C en la parte superior del bloque de concreto durante las primeras 80 horas, lo que excedió de los 20°C que se había adoptado como máximo de diferencial térmico, pero no se observó agrietamiento del bloque.

2.3.2.1. Esquema de distribución de sensores de temperatura en bloque de prueba.



2.3.2.2. Temperaturas obtenidas en bloque de prueba



Datos de Coca Codo Sinclair obtenidos de:

<http://es.slideshare.net/mfvalarezo/aci-centro-y-sur-mexico>

(Valarezo, 2014)

2.4. Tipos de cemento

Dentro de los distintos tipos de cementos hidráulicos que podrían usarse para hormigones masivos se podrían dividir en dos familias: los cementos Portland y los cementos mezclados.

Los cementos Portland son alúmino-silicatos de calcio obtenidos por calentamiento de una mezcla de minerales molidos finamente, formados por piedra caliza y arcilla. El material obtenido del calentamiento a 1450 °C se denomina Clinker. Éste último es molido finamente y se adiciona un porcentaje de entre 2 y 3 puntos de yeso.

(Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional del Nordeste, s.f.)

2.4.1. Cementos Portland (ASTM C150)

- Tipo I: Utilizado en construcción general. No se recomienda su uso en hormigones masivos sin tomar medidas de control de temperatura, ya que desarrolla altas temperaturas.
- Tipo II: Cemento de moderado calor de hidratación, útil para fundiciones masivas. Requiere que se limite su composición a un 8% de aluminato tricálcico (C3A), el mismo que contribuye a desarrollar tempranamente altas temperaturas.
- Tipo IV: Cemento de bajo calor de hidratación, útil para fundiciones masivas. Se lo usa poco por dificultad de producción. Se limita al 7% de C3A, 35% C3S e impone un mínimo de 40% de C2S.
- Tipo V: Consiste en un cemento de alta resistencia a los sulfatos. Genera bajo calor de hidratación.

Los cementos mezclados son aquellos que cuentan en su composición con adiciones de distintos materiales, como por ejemplo puzolanas y escorias. La puzolana es un material silíceo o silíceo-aluminoso que de por sí no tiene propiedades de cemento, pero al reaccionar con hidróxido de calcio y el agua a temperaturas normales desarrolla propiedades cementicias. Las puzolanas están clasificadas según la norma ASTM C618.

2.4.2. Cementos mezclados (ASTM 595)

- Tipo IP: Es un tipo de cemento que incluye puzolanas finas. En términos de peso, la puzolana está entre 15% y 40% del cemento mezclado.
- Tipo P: Cemento con puzolanas finas también, pero su requerimiento de resistencia temprana es un poco menor. Su

contenido de puzolana también está en el mismo rango del cemento IP, pero tendiendo a ser mayor.

- Tipo I (PM): Cemento portland con un contenido de aproximadamente 15% de puzolanas. Sus características se acercan bastante al cemento tipo I.
- Tipo IS: Cemento portland mezclado con un porcentaje entre 25% y 75% de escoria
- Tipo I(SM): Cemento portland con un contenido de escorias del orden de 25%. Sus propiedades son similares a las del cemento tipo I.

El uso de puzolanas en hormigones masivos trae consigo ciertos beneficios, tales como: economizar la construcción, mejorar la trabajabilidad del hormigón, reducir el calor de hidratación generado y reducir el riesgo de daño por reacciones alkali-agregado o ataque de sulfatos. Así mismo, ciertas puzolanas pueden traer diversos problemas como mayor reducción del volumen al fraguar, reducción de durabilidad y una menor resistencia inicial. Es por esto que las puzolanas deben ser estudiadas antes de ser utilizadas en los cementos, y así comprobar que las reacciones de la misma con los agregados traigan consigo un comportamiento favorable.

Un hormigón de cemento portland puzolánico, de determinada resistencia a cierta edad, presentaría una menor resistencia temprana que la que tendría un hormigón de cemento portland de la misma edad y diseñado para la misma resistencia. El beneficio del cemento portland puzolánico es que por efecto de la puzolana el hormigón tiende a incrementar su resistencia por más tiempo.

El uso de escorias también puede traer varios beneficios, como por ejemplo reducir el calor generado debido a un proceso de hidratación más lenta, reducir la permeabilidad, mejorar trabajabilidad, mejorar la resistencia al ataque de

sulfatos y mejor control de expansión por reacciones de agregados. El uso de estas escorias se da en mayor porcentaje que el de las puzolanas para lograr un mismo resultado.

2.5. Cemento tipo GU

Según la compañía fabricante de cemento Holcim, los avances en los conocimientos ha logrado que la industria cementera sufra diversos cambios en sus procesos de fabricación en su intento por reducir la contaminación al ambiente, especialmente en cuanto a los gases emitidos a la atmósfera, siendo el más importante el dióxido de carbono.

Para regularizar la calidad del cemento, se emitió la NTE INEN 152, funcionando como un equivalente a la norma ASTM C150 que normaliza los cementos Portland puros de los tipos I al V.

Posteriormente, surge la norma NTE INEN 490, la que funcionó como equivalente a la norma ASTM-595, en la cual se incluyeron puzolanas en los cementos.

En la actualidad, la industria cementera cumple con la norma NTE INEN 2380. A diferencia de las anteriores normas, en las cuales se establecían límites en la composición química, esta nueva norma tiene como prioridad el desempeño de los cementos hidráulicos.

Dentro de los tipos de cemento que se fabrican bajo esta norma están:

- GU (uso general)
- HE (alta resistencia temprana)
- HS (alta resistencia a los sulfatos)
- MS (moderada resistencia a los sulfatos)
- MH (mediano calor de hidratación)

- LH (bajo calor de hidratación)

El cemento de uso general (GU) es aquel que puede ser usado en todo tipo de estructuras, donde no se requiera de alguna característica especial.

Figura 7. Presentación del cemento tipo GU de fabricante Holcim



Debido a que la norma no limita la composición química del cemento sino vela por el buen desempeño de los cementos hidráulicos, se pueden aprovechar productos reciclados y utilizar subproductos de otros materiales. En los cementos GU, como también en los HS y HE, se reemplaza una parte del clinker por puzolanas naturales.

La puzolana consiste en un material silicio o aluminio-silicio de origen volcánico con el que se fabricaba el cemento usado en épocas pasadas, y que hoy está siendo mezclado con el cemento, trayendo beneficios tales como:

- Mayor durabilidad del hormigón
- Menor necesidad de agua

- Mejor respuesta ante la exposición a sulfatos y cloruros
- Disminución del calor de hidratación
- Mejor resistencia a la abrasión

Requisitos Químicos		
La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.		
Requisitos Físicos		
	INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.038
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	222
Inicial, no más de, minutos	420	323
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3.0
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	8
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	31
Expansión en barras de mortero 14 días, % max.	0.02	0.006
NOTAS:		
1. La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el período indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden variar.		
2. La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior		
3. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.		
4. (ND) Resultado del ensayo no disponible para el período de análisis indicado.		

2.5.1. Valores mínimos exigidos por la norma INEN 2380 (Moreno, 2011)

Por políticas internas de la empresa Holcim, la composición del cemento no puede ser revelada. Sin embargo, al respetar estas normas se garantiza el buen desempeño de los hormigones compuestos por estos cementos.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Elaboración de modelo

3.1.1. Trabajos Preliminares

El comportamiento térmico del hormigón masivo será estudiado a través de un ensayo en el Centro de Investigación (CEINVES), de la Universidad Católica de Guayaquil. El mismo consistirá en la fundición de 1 m³ de hormigón, utilizando cemento tipo GU (cemento de uso general) y demás agregados. La excavación se realizó junto al CEINVES y el equipo de medición se ubicará dentro de dicho edificio.

Figura 8. Excavación de aproximadamente 3 m³ realizada con retroexcavadora
(Fuente: Autor)



El cubo de hormigón a construirse será térmicamente aislado mediante el uso de poliestireno de 20 cm de espesor en todas sus caras y será enterrado en su totalidad. El aislamiento hará que el cubo tenga un comportamiento similar al que tendría ese mismo cubo dentro de una gran masa de hormigón, como por ejemplo en la construcción de una presa. Las aristas del cubo serán de 1 metro, lo que significa que clasifica como hormigón masivo.

Figura 9. Bloques presentados en laboratorio. (Fuente: Autor)



Figura 10. Configuración de planchas de poliestireno en sitio. (Fuente: Autor)



El cubo de hormigón contará con tres cables-termocupla que quedarán embebidos en el mismo y que se ubicarán en la parte baja, central y superior, respectivamente. Un cuarto cable será utilizado para registrar la temperatura del ambiente, es decir, fuera del cubo, como medida de control. Se utilizaron tubos de PVC para instalaciones eléctricas para lograr pasar los cables J desde el cubo hasta el laboratorio.

Figura 11. Recorrido de cables desde el sitio de fundición hasta el interior del CEINVES (Fuente: Autor)



Los cables-termocupla son de tipo J y contienen en su interior dos diferentes tipos de cable, identificados mediante los colores blanco (positivo) y rojo (negativo). En un extremo del cable tipo J se procederá a pelar los cables y soldar con estaño los cables del conducto rojo con los cables del conducto blanco; mientras que en el otro extremo se pelarán los cables y, asegurando que no haya contacto entre ellos, se fijarán los cables del conducto rojo y del conducto blanco en dos distintas entradas del equipo de medición a utilizarse.

Figura 12. Configuración de cables tipo J (Fuente: Autor)



Los cables anteriormente mencionados serán tres y estarán colocados en la parte inferior, a media altura y en la parte superior del bloque, respectivamente. Serán fijados a partir de una varilla de acero.

Figura 13. Cables-termocuplas fijados a distintos niveles de la masa de hormigón. (Fuente: Autor)



El equipo a utilizarse será capaz de medir los voltios que se generaran a las distintas temperaturas en el extremo soldado y transformarlas a temperatura, mediante un proceso de calibración que se hará para cada uno de los cables J. El proceso de calibración del equipo consistió en realizar varias tomas de lectura para los diferentes cables, con su extremo sensible sumergido en agua a distintas

temperaturas en cada prueba. Una vez que se tomaban las lecturas se calculaban factores de corrección al comparar dichas lecturas con las que proporcionaba un termómetro de alta precisión. El máximo valor de error obtenido en la calibración final fue aproximadamente 2°C. El equipo también brinda la facilidad de poder ser programado para imprimir las lecturas de temperatura automáticamente a un intervalo de tiempo deseado.

Figura 14. Equipo de medición utilizado “Portable Data Logger”. (Fuente: Autor)



El hormigón a utilizarse será fundido utilizando concretera, conociendo exactamente la cantidad de cemento que va a utilizarse, mientras que la arena y piedra a emplear será la usada en construcción general. En construcciones, la calidad de los agregados es muy importante debido a que conforman un alto porcentaje de la masa de hormigón, pero al realizar este estudio el enfoque es especialmente en el desarrollo del calor de hidratación, provocado únicamente por la cantidad de cemento empleada.

3.1.2. Construcción de masa de hormigón.-

La masa de hormigón tuvo finalmente las siguientes dimensiones:

- 1m x 1m en planta
- 1,07 m de altura

Anteriormente se mencionó que un hormigón es masivo cuando su menor lado midiera entre 60 y 90 cm, por lo que clasifica, en cuanto a dimensiones, como masivo.

Con las dimensiones de la masa de hormigón se obtiene un volumen de hormigón de 1,07 m³.

La cantidad de cemento utilizada para dicho volumen fueron exactamente nueve sacos de cemento, de 50 kg cada uno; es decir, se emplearon 450 kg de cemento. Realizando la operación aritmética $450 \text{ kg}/1,07 \text{ m}^3$ se obtiene un contenido de cemento real igual a 420,56 kg/m³. Como se trató en la introducción, un hormigón se considera masivo cuando la cantidad de cemento excede 360 kg/m³, por lo que también cumple con este requisito.

En cuanto a los agregados del hormigón se emplearon dos parihuelas de 40x40x20 cm de arena y tres parihuelas similares de piedra, siendo cada una de ellas de 0,032 m³ por cada saco de cemento.

Se elaboró un hormigón de buena consistencia, el cual fue vibrado en tres capas.

Figura 15. Hormigón fresco al finalizar fundición. (Fuente: Autor)



Luego de fundida la masa de hormigón, se procedió a tapar la cara superior con poliestireno de igual espesor que el de las paredes (20 cm), y sellar los bordes con pedazos más pequeños del mismo material con el fin de reducir cualquier pérdida de calor que pudiera existir.

Figura 16. Masa de hormigón totalmente cubierta de poliestireno. (Fuente: Autor)



Desde el momento en que la tapa fue ubicada, comenzaron las mediciones de temperatura; las mismas que fueron tomadas en intervalos de 0,02 días (30 minutos) para la primera semana, momento en el cual la tapa fue retirada. Al retirar dicha tapa, la temperatura empezó a disiparse y las lecturas de temperatura empezaron a ser tomadas en intervalos de 0,2 días.

3.2. Consideraciones para la elaboración del modelo

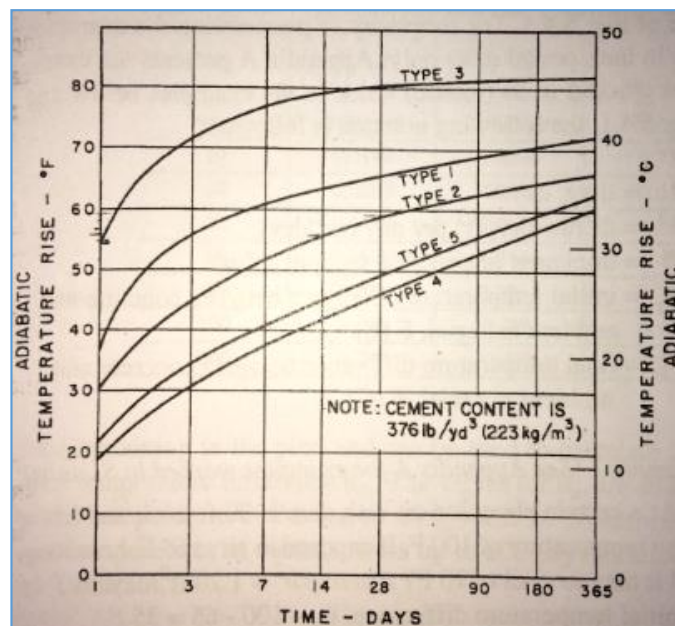
Para la elaboración del modelo térmico en Microsoft Excel se tomaron distintas consideraciones:

1. La masa de hormigón construida fue totalmente cubierta con planchas de poliestireno en todas sus caras durante los primeros siete días. Se ha asumido que durante este tiempo no existió ninguna pérdida de calor debido al aislamiento térmico, aunque en realidad sí existirá una pequeña pérdida al no ser perfectamente sellado en todas las uniones de dichas planchas; como también debido a la varilla que sostiene los cables, la misma que atraviesa la plancha inferior del bloque para permanecer fija durante la fundición.
2. Al séptimo día, en el cual la tapa fue retirada, se considera que la superficie del bloque de hormigón será la temperatura de equilibrio; que a su vez se considera como el promedio de temperaturas que se presentan en todo el día. Para este estudio se consideró como temperatura de equilibrio 28°C.
3. Las temperaturas serán calculadas por capas de igual espesor, en este caso de 16 centímetros cada una.

3.3. Generación de calor en hormigón masivo

Dada la importancia del calor de hidratación generado y las consecuencias que podría traer consigo, el ACI 207.1R establece relaciones matemáticas para poder predecir el comportamiento térmico del hormigón, y así poder tomar las medidas respectivas para evitar el fisuramiento.

En la siguiente imagen se presentan curvas obtenidas para diferentes tipos de cemento, conociendo la cantidad de cemento empleado. En este caso, el contenido de cemento fue 223 kg/m³.



Curvas de incremento de temperatura en hormigones masivos. (ACI 207.1R-31, Fig 5.3.1)

Los valores de las curvas son resultados de varias pruebas realizadas para cada tipo de cemento.

Las curvas reflejan el incremento de temperatura para los distintos tipos de cemento, donde se puede apreciar que el cemento tipo III (de altas resistencias

tempranas) es el que más calor desarrolla y el cemento tipo IV (de bajo calor de hidratación) no sólo genera calor lentamente, sino también genera menor incremento total.

Esta investigación se basa en la verificación de esta curva para el caso del cemento de construcción general, tipo GU.

La inclusión de puzolanas en el cemento modifica notablemente la generación de calor de hidratación en el hormigón, especialmente en edades tempranas. Las puzolanas generan aproximadamente la mitad del calor que generaría la misma porción de cemento reemplazada. Este comportamiento podrá apreciarse en las gráficas posteriores, dado que el cemento GU cuenta con puzolanas en su composición.

La principal característica del hormigón que determina la capacidad del calor de fluir a través de él se conoce como difusividad térmica. Este parámetro viene dado por la siguiente ecuación:

$$h^2 = \frac{K}{C * \rho}$$

Donde:

h^2 = difusividad (m²/hora)

K= conductividad (kJ/m-hora-C)

C= calor específico (kJ/kg-C)

ρ = densidad del hormigón (kg/m³)

Existen varios métodos de aproximarse a las temperaturas esperadas. Este caso se basará en el método de Schmidt (Rawhouser 1945), que resulta más sencillo que otros métodos existentes y sus estimaciones son bastante aproximadas a la realidad.

Este método es basado en el teorema de que si un cuerpo de conocidas dimensiones es separado en capas de igual tamaño, la temperatura para un incremento dado al final de un intervalo de tiempo es igual al promedio de las temperaturas en las capas superiores o inferiores a dicho elemento al principio de dicho intervalo de tiempo. Dicho esto, la relación sería:

$$\Delta t = \frac{(\Delta x)^2}{2h^2}$$

Donde:

Δt = intervalo de tiempo

Δx = longitud del elemento

h^2 = constante de difusividad

Expresando matemáticamente, las temperaturas pueden calcularse mediante la ecuación:

$$T_{t_i, x_i} = \frac{T_{t_{i-1}, x_{i-1}} + T_{t_{i-1}, x_{i+1}}}{2} + \Delta Q_{generado}$$

“La temperatura en un tiempo y en un punto determinado es igual a la suma de la temperatura en el punto anterior en el tiempo anterior más la temperatura en el mismo tiempo anterior del punto siguiente dividida para dos, más el incremento de calor generado”

3.4. Construcción de hoja de cálculo

Para que el programa realice las operaciones matemáticas, fue necesario proporcionarle al mismo los datos necesarios sobre las condiciones en la cual se

llevó a cabo la fundición. Estas condiciones son: temperatura de colocación del hormigón, temperatura de equilibrio y cantidad real de cemento.

A continuación se explica cómo se ha configurado la hoja de cálculo con las ecuaciones mostradas anteriormente.

En el desarrollo del modelo se han considerado ocho capas numeradas del 0 al 7, siendo cero el fondo y 7 la superficie. Cada una de estas capas se ha considerado igual a 16 centímetros de espesor. Es decir, las temperaturas serían calculadas cada 16 centímetros.

Desde el momento de la fundición hasta los siete días de edad, el hormigón estuvo totalmente cubierto de poliestireno en todas sus caras. Para la realización del modelo se asumió que no existe pérdida de calor debido al aislamiento térmico. Por esta razón, las celdas anteriores al día siete presentan la siguiente configuración:

DIAS	0	0,2		
dC	0,0	19,1		
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1
	33	33	52,1	52,1

Como se puede apreciar en las dos primeras columnas de temperatura, al día cero se considera que la masa está a la temperatura de colocación.

El dC es el diferencial de temperatura, los cuales resultan de la resta entre las temperaturas promedio de las tres termocuplas instaladas a los 0,2 días y 0 días

de las mediciones que se han tomado y que se muestran tabuladas en los anexos. Es decir, la temperatura incrementó 19,1 °C desde la fundición hasta los 0,2 días.

Las dos primeras columnas de números bajo la línea azul muestran las temperaturas en las diferentes capas (que serán explicadas posteriormente) y son iguales a la temperatura de colocación al ser los primeros resultados. Las dos siguientes columnas muestran las temperaturas esperadas a los 0,2 días de edad, utilizando las dos ecuaciones presentadas anteriormente.

En este caso, la tercera columna contendrá la suma de las temperaturas en el tiempo anterior más el diferencial de temperatura. Es decir:

$$33 + 19,1 = 52,1$$

Donde la temperatura en el tiempo anterior es igual a 33 y el diferencial térmico es igual a 19,1.

En la cuarta columna se realiza un promedio entre las temperaturas en los puntos anteriores y posteriores al punto en cuestión., es decir:

$$\frac{52,1 + 52,1}{2} = 52,1$$

Cabe mencionar que en el primer valor de esa columna sólo se ha tomado el valor posterior y en el último valor de esa columna sólo se ha tomado el valor anterior y no los promedios, ya que al estar aislado térmicamente se considera que la temperatura se refleja. Habiendo explicado esto, los valores para la quinta y sexta columna correspondientes a los 0,4 días serían:

	0,2		0,4	
	19,1		5,5	
	52,1	52,1	57,6	57,6
	52,1	52,1	57,6	57,6
	52,1	52,1	57,6	57,6

52,1	52,1	57,6	57,6
52,1	52,1	57,6	57,6
52,1	52,1	57,6	57,6
52,1	52,1	57,6	57,6
52,1	52,1	57,6	57,6

$$52,1 + 5,5 = 57,6$$

$$\frac{57,6 + 57,6}{2} = 57,6$$

A medida que pasan los días, los diferenciales térmicos van decreciendo hasta que llegan a valores cercanos a cero. Una vez que finalizó el incremento de temperatura, se consideran cero los diferenciales térmicos hasta el final.

Una vez alcanzado el séptimo día se realizó la extracción de la tapa, es decir la cara superior quedó a la intemperie. Dentro del modelo se asumió que la temperatura en la cara superior a partir de aquel momento era igual a la temperatura de equilibrio, la misma que se definió igual a 28 grados, lo cual se mantendrá hasta el final del período de análisis. El diferencial térmico para ese momento se consideraría igual a cero.

	7	7,1
	0,0	
<hr/>		
	66,3	28,0
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3
	66,3	66,3

A medida que pasan los días, los valores de temperatura decrecerían hasta llegar a la temperatura de equilibrio. Para ilustrar mejor lo mencionado se mostrarán los valores obtenidos para los 10 días y 10,2 días.

	10		10,2	
	0,0		0,0	
	28,0	28,0	28,0	28,0
	36,0	35,5	35,5	35,5
	43,0	43,0	43,0	42,1
	50,0	48,7	48,7	48,7
	54,5	54,5	54,5	53,1
	59,0	57,5	57,5	57,5
	60,4	60,4	60,4	59,0
	61,9	60,4	60,4	60,4

Se puede apreciar cómo se disipa el calor desde la parte superior del bloque de hormigón hasta la parte inferior paulatinamente.

Una vez configurada la hoja de cálculo, se procede a utilizar una celda nueva para introducir una fórmula que encuentre el máximo valor de un rango de valores determinado. Este rango serán todas las temperaturas calculadas por el programa de Excel.

MAX TEMP. **66,3**

Temperatura máxima en °C obtenida por el programa de Excel

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Temperaturas obtenidas de mediciones

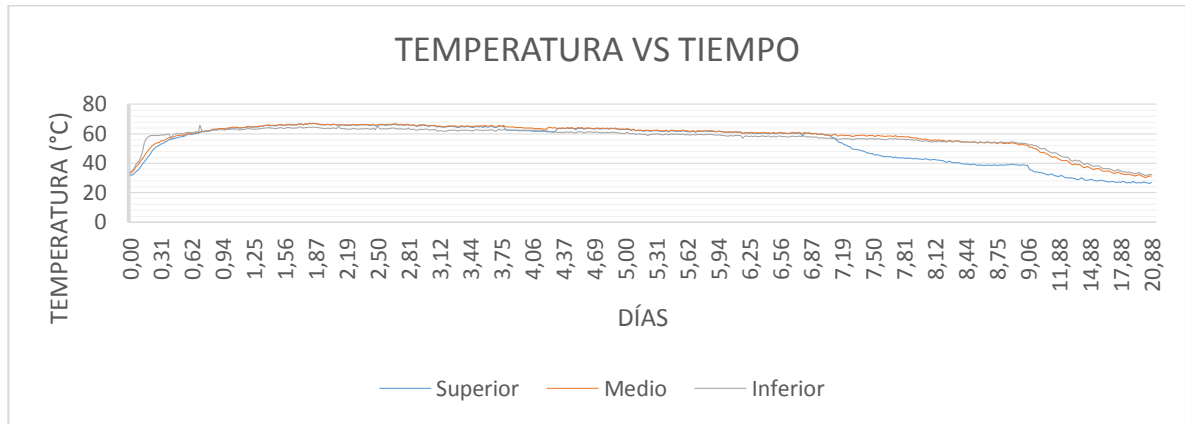
La tabla de temperaturas obtenidas constará en los anexos debido a la extensión de la misma. A continuación se muestran las curvas obtenidas de las mediciones.

Las termocuplas están identificadas como superior, medio e inferior. La termocupla inferior está ubicada en el fondo, haciendo contacto con el poliestireno. La termocupla media está a 50 centímetros distante del fondo y la termocupla superior está a 98 centímetros desde el fondo, aproximadamente.

La temperatura máxima alcanzada fue de 67,14 °C.

4.2. Curvas obtenidas de las mediciones

Partiendo de la tabla que se ha mostrado, se procede a construir curvas de temperatura en función del tiempo, la misma que será mostrada a continuación. En el eje de las “x” aparece el tiempo, en función de los días que tiene el hormigón desde su colocación; mientras que en el eje de las “y” se muestran las temperaturas obtenidas a los distintos tiempos de la prueba.



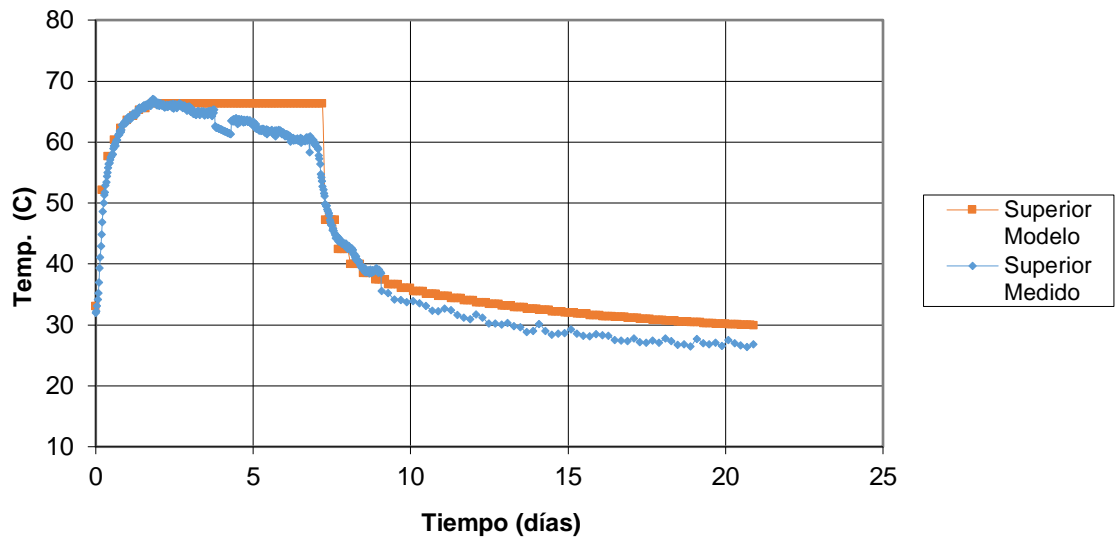
4.2.1. Curva temperatura vs tiempo obtenida de la prueba en sitio

Como se puede apreciar en la gráfica, la curva de color azul es la primera en decrecer. Esto se debe a que representa a la termocupla superior, que es la más cercana a la superficie libre de la masa de hormigón. Posteriormente, puede observarse que las demás curvas comienzan a decrecer más tarde, debido a que el hormigón sólo puede disipar la temperatura hacia la cara superior. Por esta razón, la curva correspondiente a la termocupla inferior es la última en decrecer.

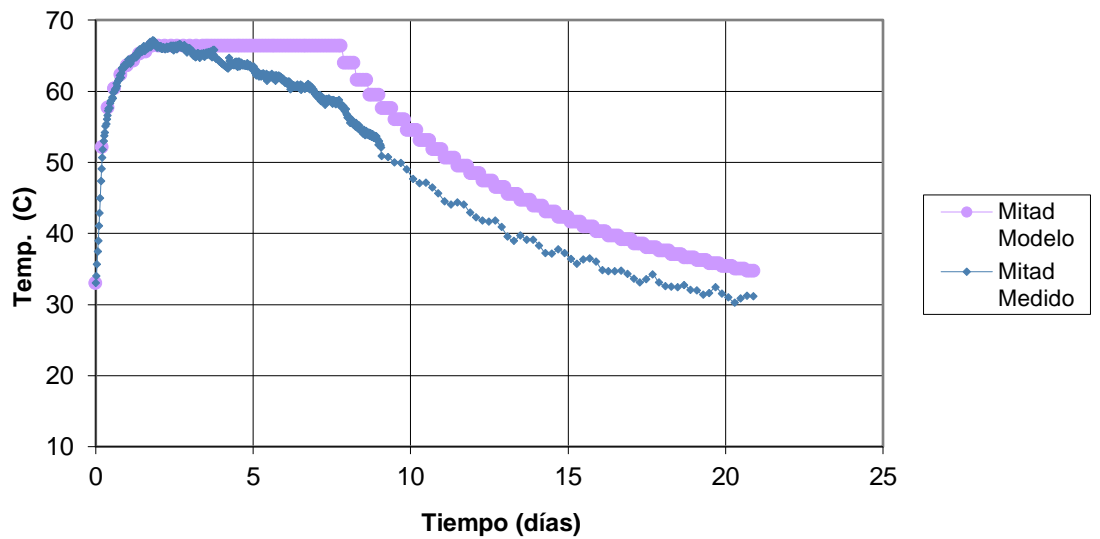
4.3. Comparación de resultados

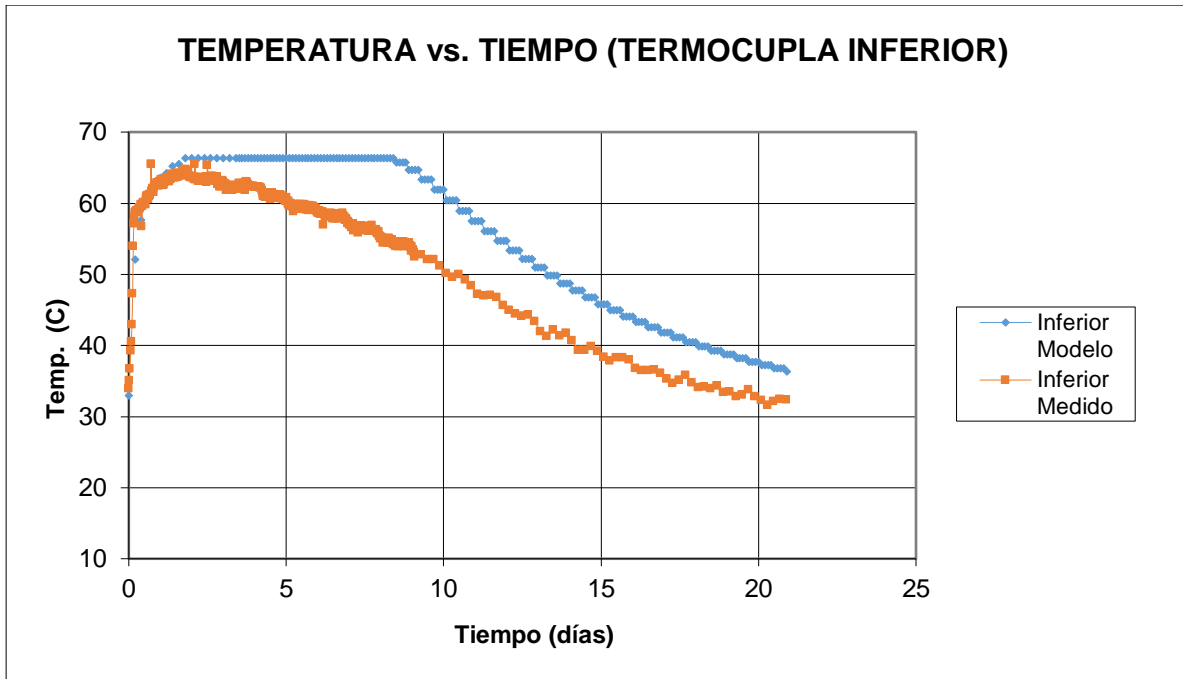
Una vez que el programa de Excel ha calculado las temperaturas esperadas y contando con las lecturas de temperatura obtenidas en sitio, se mostrarán las comparaciones de las curvas temperatura vs tiempo para cada una de las termocuplas coincidiendo con la altura a la que fueron ubicadas.

TEMPERATURA vs. TIEMPO (TERMOCUPLA SUPERIOR)



TEMPERATURA vs. TIEMPO (TERMOCUPLA INTERMEDIA)





Como puede observarse en las gráficas, las curvas proporcionadas por el modelo permanecen constantes en un intervalo de tiempo comprendido entre la temperatura máxima y el día 7, en que se retiró la plancha de poliestireno superior y comienza la disipación de la temperatura de manera muy notable; mientras que las curvas provenientes de las mediciones presentan pequeñas pérdidas en el intervalo anteriormente mencionado.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Como se ha podido demostrar a lo largo del desarrollo de esta investigación, 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.

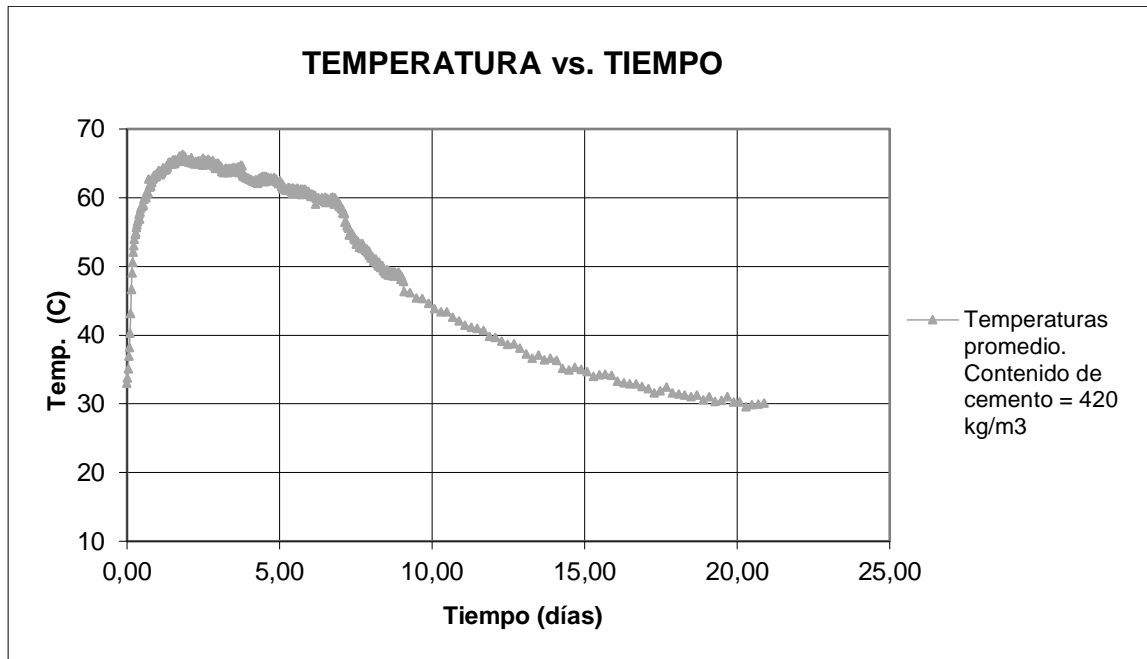
Con respecto a las curvas obtenidas de las mediciones y las curvas que han resultado del programa de Excel, se puede notar que son muy parecidas por lo que sí son representativas en cuanto al comportamiento térmico del hormigón, por lo que se considera correcto el análisis realizado.

Los gráficos comparativos muestran que, aunque haya una pequeña pérdida de calor en las mediciones in situ, los valores calculados en el programa son bastante cercanos a los medidos debido a las consideraciones que se han hecho para la configuración del programa de Excel.

Las curvas obtenidas en este estudio, para cemento tipo GU con un contenido de cemento igual a 420 kg/m³, servirán de base para estudios de comportamiento térmico que puedan realizarse en el futuro para diferentes contenidos de cemento, mediante factores de corrección y la consideraciones pertinentes al caso a estudiar.

Los modelos térmicos deben ser realizados lo más cercano posible a las condiciones reales en que se va a realizar la respectiva fundición, para lograr resultados representativos. En este caso, se trató de un hormigón aislado totalmente hasta los 7 días de edad y libre de disipar calor en los días posteriores en su cara superior.

5.1. Curva "Temperatura vs. Tiempo" para cemento tipo GU



Bibliografía

(s.f.). Obtenido de <http://www.aboutcivil.org/imagenes/mass-concrete-dam.jpg>

About Civil. (s.f.). Obtenido de Civil Engineering Portal of Lectures & Training Material :
<http://www.aboutcivil.org/imagenes/mass-concrete-dam.jpg>

ACI Manual of Concrete Practice. (1998).

Disensa. (s.f.). *Disensa*. Obtenido de Distribuidora Tungurahua Franquicia Disensa:
<http://www.distribuidoratunguragua.com/index.php/tienda-virtual/cemento>

Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional del Nordeste. (s.f.). Obtenido de
<http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>

Moreno, M. P. (2011). *Certificado de producto*. Latacunga: Holcim .

National-Geographic. (s.f.). *Megaestructuras: La presa Hoover*.

Prado, A. (2014). *Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, para el 2016*. Napo - Pastaza: Diario El Comercio.

Valarezo, M. (2014). *Instrumentación de bloques de concreto masivo para verificar el sistema de enfriamiento. Caso práctico*. ACI Sección Centro y Sur de México.

Wikimedia. (s.f.). Obtenido de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Norfolk_Dam,_Arkansas.jpg

Anexos

Tabla de temperaturas medidas en sitio

FECHA	HORA	DIAS	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR
MIÉRCOLES 22 JULIO	14:10	0,00	32	33,06	33,92
	14:40	0,02	32,23	34,05	35,06
	15:10	0,04	33,08	35,64	36,68
	15:40	0,06	34,19	37,5	39,24
	16:10	0,08	35,19	38,97	40,57
	16:40	0,10	36,99	41,08	42,97
	17:10	0,12	39,37	42,84	47,31
	17:40	0,15	41,11	44,95	53,98
	18:10	0,17	42,91	47,34	57,1
	18:40	0,19	44,81	49,07	58,06
	19:10	0,21	46,84	50,69	58,72
	19:40	0,23	48,6	51,83	58,74
	20:10	0,25	50,01	52,96	58,92
	20:40	0,27	51,33	53,73	58,94
	21:10	0,29	51,78	54,23	58,7
	21:40	0,31	52,86	55,07	59,05
	JUEVES 23 JULIO	22:10	0,33	53,46	55,36
22:40		0,35	54,35	56,09	59,21
23:10		0,37	54,97	56,57	59,38
23:40		0,40	55,8	57,25	59,79
0:10		0,42	56,4	57,6	56,77
0:40		0,44	56,57	57,64	59,63
1:10		0,46	57,14	58,3	60,06
1:40		0,48	57,54	58,64	60,12
2:10		0,50	57,66	58,7	59,96
2:40		0,52	58,1	59,13	60,15
3:10		0,54	57,95	58,99	59,86
3:40		0,56	58,97	59,83	60,62
4:10		0,58	59,4	59,92	60,99
4:40	0,60	59,73	60,25	61,08	
5:10	0,62	59,38	60,23	60,56	
5:40	0,65	60,04	60,46	60,99	

	6:10	0,67	60,35	61,1	61,26
	6:40	0,69	60,33	60,75	61,12
	7:10	0,71	61,12	61,51	65,55
	7:40	0,73	61,26	61,68	61,7
	8:10	0,75	61,22	61,62	61,78
	8:40	0,77	61,8	62,22	62,05
	9:10	0,79	61,62	61,93	61,55
	9:40	0,81	62,03	62,53	62,24
	10:10	0,83	62,75	63,27	62,5
	10:40	0,85	62,75	63,02	62,51
	11:10	0,87	62,79	63,29	62,55
	11:40	0,90	63,21	63,62	62,92
	12:10	0,92	63,21	63,7	62,81
	12:40	0,94	63,4	63,66	62,82
	13:10	0,96	63,06	63,52	62,48
	13:40	0,98	63,6	63,89	63,06
	14:10	1,00	63,75	64	62,98
	14:40	1,02	63,99	64,1	63,11
	15:10	1,04	64,06	64,45	63,33
	15:40	1,06	63,97	64,28	63
	16:10	1,08	64,14	64,49	63,17
	16:40	1,10	63,73	63,91	62,53
	17:10	1,12	63,91	64,18	62,63
	17:40	1,15	64,16	64,3	62,9
	18:10	1,17	64,26	64,55	63,02
	18:40	1,19	64,68	64,84	63,58
	19:10	1,21	64,47	64,82	63,42
	19:40	1,23	64,43	64,68	63,15
	20:10	1,25	64,49	64,74	63,15
	20:40	1,27	64,78	64,95	63,27
	21:10	1,29	64,49	64,8	63,02
	21:40	1,31	64,99	65,38	63,62
	22:10	1,33	64,89	65,05	63,37
	22:40	1,35	65,38	65,71	64
	23:10	1,37	65,59	65,69	63,93
	23:40	1,40	65,69	65,9	64,1
	0:10	1,42	65,38	65,63	63,71
	0:40	1,44	65,55	65,82	63,97
	1:10	1,46	65,48	65,53	63,64

VIERNES 24 JULIO	1:40	1,48	65,46	65,57	63,58
	2:10	1,50	65,88	66,08	64,06
	2:40	1,52	66,06	66,37	64,26
	3:10	1,54	65,63	65,98	63,95
	3:40	1,56	65,57	65,69	63,64
	4:10	1,58	66,08	66,25	64,14
	4:40	1,60	66,02	66,33	64,1
	5:10	1,62	66,17	66,21	63,79
	5:40	1,65	65,98	66,04	63,95
	6:10	1,67	65,94	66,08	64
	6:40	1,69	65,92	66,19	63,97
	7:10	1,71	66,38	66,69	64,51
	7:40	1,73	66,64	66,93	64,53
	8:10	1,75	65,96	66,21	63,93
	8:40	1,77	66,6	66,68	64,41
	9:10	1,79	66,48	66,58	64,26
	9:40	1,81	67,06	67,14	64,76
	10:10	1,83	66,68	66,87	64,39
	10:40	1,85	66,97	67,08	64,66
	11:10	1,87	66,85	66,91	64,39
	11:40	1,90	66,68	66,81	64,47
	12:10	1,92	66,21	66,42	63,81
	12:40	1,94	66,21	66,35	63,77
	13:10	1,96	66	66,13	63,64
	13:40	1,98	66,17	66,27	63,7
	14:10	2,00	66,46	66,31	63,81
	14:40	2,02	65,96	66,09	63,54
	15:10	2,04	66,19	66,33	63,73
	15:40	2,06	66,37	66,37	63,75
	16:10	2,08	66,02	65,96	63,37
16:40	2,10	66,04	66,09	65,5	
17:10	2,12	66,02	65,98	63,35	
17:40	2,15	66,19	66,21	63,64	
18:10	2,17	66,11	66,15	63,54	
18:40	2,19	65,69	65,94	63,33	
19:10	2,21	65,79	65,92	63,27	
19:40	2,23	65,77	65,98	63,15	
20:10	2,25	66,09	66,27	63,58	
20:40	2,27	65,94	66,23	63,52	

	21:10	2,29	65,8	66	63,23
	21:40	2,31	66,02	66,15	63,29
	22:10	2,33	66,15	66,27	63,64
	22:40	2,35	65,96	66,15	63,31
	23:10	2,37	66,09	66,31	63,35
	23:40	2,40	66,17	66,44	63,48
SABADO 25 JULIO	0:10	2,42	65,69	65,98	63,31
	0:40	2,44	65,69	65,96	63,17
	1:10	2,46	66,27	66,46	63,75
	1:40	2,48	65,46	65,75	62,94
	2:10	2,50	65,77	66,11	65,39
	2:40	2,52	66,19	66,44	63,68
	3:10	2,54	66,02	66,38	63,27
	3:40	2,56	66,11	66,4	63,62
	4:10	2,58	65,55	65,88	63,13
	4:40	2,60	66,15	66,48	63,68
	5:10	2,62	66	66,4	63,66
	5:40	2,65	66,21	66,52	63,83
	6:10	2,67	66,4	66,66	63,77
	6:40	2,69	66,21	66,6	63,56
	7:10	2,71	65,88	66,09	63,19
	7:40	2,73	66,08	66,38	63,35
	8:10	2,75	65,92	66,33	63,27
	8:40	2,77	65,63	66,08	63,13
	9:10	2,79	65,98	66,33	63,15
	9:40	2,81	66,06	66,48	63,71
	10:10	2,83	65,61	65,84	62,67
	10:40	2,85	65,82	66,06	63,21
	11:10	2,87	65,55	65,73	62,75
	11:40	2,90	65,13	65,42	62,32
	12:10	2,92	65,79	66,13	62,94
	12:40	2,94	65,46	65,94	63,04
	13:10	2,96	65,88	66,08	62,9
	13:40	2,98	65,8	66,08	63,23
14:10	3,00	65,51	65,82	63,04	
14:40	3,02	65,01	65,49	62,34	
15:10	3,04	65,63	65,82	62,82	
15:40	3,06	65,34	65,63	62,75	
16:10	3,08	65,28	65,57	62,71	

	16:40	3,10	64,59	65,03	61,86
	17:10	3,12	64,91	65,22	62,17
	17:40	3,15	64,62	64,99	62,05
	18:10	3,17	64,51	64,74	61,82
	18:40	3,19	64,47	64,82	61,88
	19:10	3,21	64,91	65,19	62,15
	19:40	3,23	65,07	65,36	62,53
	20:10	3,25	64,95	65,3	62,42
	20:40	3,27	65,07	65,28	62,53
	21:10	3,29	64,76	65,17	62,38
	21:40	3,31	64,41	64,7	61,84
	22:10	3,33	64,76	65,26	62,42
	22:40	3,35	65,07	65,32	62,48
	23:10	3,37	64,78	65,09	62,34
23:40	3,40	64,88	65,19	62,3	
DOMINGO 26 JULIO	0:10	3,42	65,05	65,38	62,48
	0:40	3,44	64,72	64,93	62,15
	1:10	3,46	64,37	64,82	61,99
	1:40	3,48	64,68	65,05	62,26
	2:10	3,50	65,01	65,44	62,81
	2:40	3,52	64,74	65,17	62,32
	3:10	3,54	64,88	65,3	62,44
	3:40	3,56	64,41	65,17	62,13
	4:10	3,58	65,05	65,53	62,57
	4:40	3,60	64,66	65,24	62,28
	5:10	3,62	64,66	65,09	62,26
	5:40	3,65	65,17	65,57	62,79
	6:10	3,67	64,62	65,19	62,44
	6:40	3,69	64,3	64,78	61,82
	7:10	3,71	64,72	65,05	62,38
	7:40	3,73	65,32	65,84	63,04
	8:10	3,75	64,8	65,13	62,42
	8:40	3,77	65,32	65,79	62,98
	9:10	3,79	62,63	64,8	62,63
	9:40	3,81	62,46	64,64	62,51
10:10	3,83	62,36	64,55	62,42	
10:40	3,85	62,36	64,53	62,4	
11:10	3,87	62,31	64,45	62,39	
11:40	3,90	62,26	64,37	62,38	

	12:10	3,92	62,21	64,29	62,37
	12:40	3,94	62,16	64,21	62,36
	13:10	3,96	62,11	64,13	62,35
	13:40	3,98	62,06	64,05	62,34
	14:10	4,00	62,01	63,97	62,33
	14:40	4,02	61,96	63,89	62,32
	15:10	4,04	61,91	63,81	62,31
	15:40	4,06	61,86	63,73	62,3
	16:10	4,08	61,81	63,65	62,29
	16:40	4,10	61,76	63,57	62,28
	17:10	4,12	61,71	63,49	62,27
	17:40	4,15	61,66	63,41	62,26
	18:10	4,17	61,61	63,33	62,25
	18:40	4,19	61,56	63,25	62,24
	19:10	4,21	61,51	63,17	62,17
	19:40	4,23	61,46	64,68	61,88
	20:10	4,25	61,41	64,26	61,53
	20:40	4,27	61,36	63,87	61,04
	21:10	4,29	61,31	64,08	61,39
	21:40	4,31	63,48	63,66	60,93
	22:10	4,33	63,54	63,83	61,01
	22:40	4,35	63,4	63,71	60,85
	23:10	4,37	63,71	63,93	61,14
	23:40	4,40	63,4	63,68	60,97
LUNES 27 JULIO	0:10	4,42	63,77	64,08	61,37
	0:40	4,44	63,54	63,71	60,91
	1:10	4,46	63,93	64,16	61,39
	1:40	4,48	63,37	63,58	60,77
	2:10	4,50	62,96	63,4	60,58
	2:40	4,52	63,79	64,16	61,51
	3:10	4,54	63,54	64	61,2
	3:40	4,56	63,77	64,2	61,47
	4:10	4,58	63,19	63,48	60,7
	4:40	4,60	63,56	63,85	61,06
	5:10	4,62	63,73	63,99	61,24
	5:40	4,65	63,46	63,85	61,2
	6:10	4,67	63,37	63,66	60,99
	6:40	4,69	63,25	63,66	60,83
7:10	4,71	63,62	63,77	61,18	

	7:40	4,73	63,58	63,79	60,97
	8:10	4,75	63,31	63,6	60,77
	8:40	4,77	63,54	63,71	60,89
	9:10	4,79	63,46	63,56	60,72
	9:40	4,81	63,7	63,93	61,16
	10:10	4,83	63,27	63,48	60,68
	10:40	4,85	63,48	63,71	61,06
	11:10	4,87	63,46	63,66	60,91
	11:40	4,90	63,54	63,71	60,99
	12:10	4,92	63,17	63,35	60,6
	12:40	4,94	63,06	63,33	60,56
	13:10	4,96	62,88	63,1	60,44
	13:40	4,98	63	63,04	60,37
	14:10	5,00	62,88	63,08	60,31
	14:40	5,02	63,27	63,5	60,83
	15:10	5,04	62,81	63,02	60,37
	15:40	5,06	62,38	62,53	59,92
	16:10	5,08	62,92	63,04	60,31
	16:40	5,10	62,17	62,21	59,59
	17:10	5,12	62,32	62,51	59,84
	17:40	5,15	62,22	62,53	59,98
	18:10	5,17	62,17	62,42	59,71
	18:40	5,19	61,88	62,09	59,52
	19:10	5,21	61,93	62,42	59,71
	19:40	5,23	62,11	62,42	58,83
	20:10	5,25	61,82	62,07	59,52
	20:40	5,27	61,93	62,19	59,57
	21:10	5,29	62,21	62,48	59,84
	21:40	5,31	62,17	62,51	59,81
	22:10	5,33	62,05	62,34	59,84
	22:40	5,35	61,8	62,11	59,63
	23:10	5,37	61,57	61,9	59,3
	23:40	5,40	61,64	62,01	59,44
MARTES 28 JULIO	0:10	5,42	62,11	62,42	59,79
	0:40	5,44	61,32	61,49	59,15
	1:10	5,46	62,03	62,32	59,83
	1:40	5,48	61,95	62,26	59,59
	2:10	5,50	61,72	62,15	59,53
	2:40	5,52	61,82	62,24	59,83

3:10	5,54	61,8	62,11	59,53
3:40	5,56	61,84	62,17	59,52
4:10	5,58	62,01	62,42	59,81
4:40	5,60	61,57	61,95	59,3
5:10	5,62	61,53	61,9	59,48
5:40	5,65	61,28	61,74	59,07
6:10	5,67	61,43	61,76	59,34
6:40	5,69	61,93	62,22	59,65
7:10	5,71	60,97	61,47	59,03
7:40	5,73	61,8	62,21	59,61
8:10	5,75	61,88	62,21	59,69
8:40	5,77	61,62	61,82	59,38
9:10	5,79	61,8	61,95	59,36
9:40	5,81	62,03	62,21	59,61
10:10	5,83	61,7	61,9	59,4
10:40	5,85	61,88	62,11	59,57
11:10	5,87	61,76	61,97	59,46
11:40	5,90	61,57	61,68	59,11
12:10	5,92	61,33	61,53	59,05
12:40	5,94	61,66	61,86	59,32
13:10	5,96	61,59	61,72	59,3
13:40	5,98	61,33	61,43	58,88
14:10	6,00	61,3	61,37	58,8
14:40	6,02	60,97	61,16	58,63
15:10	6,04	61,02	61,22	58,63
15:40	6,06	61,3	61,39	58,92
16:10	6,08	60,93	61,04	58,45
16:40	6,10	61,18	61,28	58,64
17:10	6,12	61,08	61,37	58,8
17:40	6,15	61,01	61,16	58,74
18:10	6,17	60,95	61,22	58,76
18:40	6,19	60,1	60,29	56,96
19:10	6,21	60,68	60,81	58,45
19:40	6,23	60,46	60,75	58,34
20:10	6,25	60,43	60,62	58,2
20:40	6,27	60,72	60,87	58,39
21:10	6,29	60,27	60,58	58,2
21:40	6,31	60,52	60,79	58,34
22:10	6,33	60,35	60,62	58,18

	22:40	6,35	60,37	60,56	58,1
	23:10	6,37	60,43	60,75	58,34
	23:40	6,40	60,58	60,95	58,59
MIERCOLES 29 JULIO	0:10	6,42	60,27	60,58	58,26
	0:40	6,44	60,33	60,66	58,37
	1:10	6,46	60,37	60,7	58,3
	1:40	6,48	60,19	60,43	57,91
	2:10	6,50	60,7	60,95	58,55
	2:40	6,52	59,88	60,23	57,77
	3:10	6,54	60,48	60,73	58,43
	3:40	6,56	60,52	60,83	58,47
	4:10	6,58	60,35	60,54	58,14
	4:40	6,60	60,31	60,56	58,18
	5:10	6,62	60,21	60,41	58,03
	5:40	6,65	60,12	60,33	57,81
	6:10	6,67	60,15	60,41	58,03
	6:40	6,69	60,75	60,83	58,49
	7:10	6,71	60,39	60,52	58,16
	7:40	6,73	60,21	60,48	58,05
	8:10	6,75	60,79	61,01	58,41
	8:40	6,77	60,39	60,56	58,16
	9:10	6,79	58,35	60,29	58,63
	9:40	6,81	60,93	60,81	58,3
	10:10	6,83	60,31	60,25	57,87
	10:40	6,85	60,54	60,56	58,1
	11:10	6,87	60,08	60,1	57,68
	11:40	6,90	60,12	60,08	57,68
	12:10	6,92	60,35	60,31	57,83
	12:40	6,94	60,02	60,02	57,62
	13:10	6,96	59,53	59,63	57,19
	13:40	6,98	59,77	59,75	57,43
	14:10	7,00	59,4	59,5	57,17
	14:40	7,02	59,26	59,32	56,96
	15:10	7,04	59,15	59,28	56,94
	15:40	7,06	58,88	59,26	56,94
16:10	7,08	57,83	58,97	56,59	
16:40	7,10	57,23	59,42	57,15	
17:10	7,12	56,38	59,48	57,15	
17:40	7,15	54,7	58,59	56,17	

	18:10	7,17	54,19	58,88	56,46
	18:40	7,19	53,63	59,01	56,79
	19:10	7,21	52,69	58,78	56,52
	19:40	7,23	52,2	58,92	56,61
	20:10	7,25	51,56	58,9	56,57
	20:40	7,27	51,12	58,95	56,61
	21:10	7,29	49,82	58,1	55,86
	21:40	7,31	49,49	58,47	56,21
	22:10	7,33	49,55	58,9	56,67
	22:40	7,35	48,93	58,68	56,52
	23:10	7,37	48,68	58,8	56,61
	23:40	7,40	48,31	59,03	56,83
JUEVES 30 JULIO	0:10	7,42	47,87	58,78	56,65
	0:40	7,44	47,19	58,61	56,44
	1:10	7,46	46,86	58,72	56,57
	1:40	7,48	46,44	58,68	56,48
	2:10	7,50	46,36	58,8	56,65
	2:40	7,52	45,53	58,26	56,11
	3:10	7,54	45,8	58,72	56,63
	3:40	7,56	45,49	58,74	56,71
	4:10	7,58	45,04	58,59	56,46
	4:40	7,60	44,79	58,51	56,44
	5:10	7,62	44,21	58,14	56,07
	5:40	7,65	44,64	58,61	56,46
	6:10	7,67	44,52	58,63	56,67
	6:40	7,69	44,35	58,63	56,75
	7:10	7,71	43,71	58,14	56,17
	7:40	7,73	44,27	58,78	56,92
	8:10	7,75	43,67	58,18	56,26
	8:40	7,77	43,67	58,26	56,26
	9:10	7,79	43,49	57,99	56,15
	9:40	7,81	43,53	57,99	56,23
	10:10	7,83	43,28	57,66	56,09
	10:40	7,85	43,53	57,95	56,32
	11:10	7,87	43,22	57,54	55,9
	11:40	7,90	43,16	57,54	56,05
12:10	7,92	43,05	57,19	55,7	
12:40	7,94	43,34	57,46	56,03	
13:10	7,96	42,76	56,81	55,43	

	13:40	7,98	42,8	56,65	55,36
	14:10	8,00	42,49	56,32	54,99
	14:40	8,02	42,76	56,4	55,26
	15:10	8,04	42,91	56,4	55,2
	15:40	8,06	42,62	56,07	54,97
	16:10	8,08	42,27	55,55	54,45
	16:40	8,10	42,43	55,68	54,66
	17:10	8,12	42,55	55,9	54,95
	17:40	8,15	42,08	55,51	54,5
	18:10	8,17	42,35	55,88	55,03
	18:40	8,19	41,64	55,3	54,5
	19:10	8,21	41,64	55,43	54,74
	19:40	8,23	41,13	55,16	54,41
	20:10	8,25	40,82	55,01	54,43
	20:40	8,27	41,29	55,55	55,07
	21:10	8,29	40,63	55,03	54,5
	21:40	8,31	40,38	54,83	54,41
	22:10	8,33	40,49	55,03	54,7
	22:40	8,35	40,46	55,14	54,68
	23:10	8,37	40,4	55,16	54,85
	23:40	8,40	39,74	54,47	54,23
VIERNES 31 JULIO	0:10	8,42	39,66	54,54	54,35
	0:40	8,44	39,45	54,31	54,21
	1:10	8,46	39,49	54,35	54,31
	1:40	8,48	39,06	54,04	53,96
	2:10	8,50	39,39	54,41	54,31
	2:40	8,52	39,43	54,54	54,56
	3:10	8,54	39,06	54,25	54,41
	3:40	8,56	38,64	53,85	53,88
	4:10	8,58	39,1	54,43	54,56
	4:40	8,60	38,7	54	54,18
	5:10	8,62	38,6	53,87	54,06
	5:40	8,65	38,68	53,98	54,31
	6:10	8,67	38,97	54,16	54,47
	6:40	8,69	38,42	53,71	54,06
	7:10	8,71	38,62	53,77	54,14
	7:40	8,73	39,04	54,1	54,54
8:10	8,75	38,52	53,56	53,87	
8:40	8,77	38,64	53,63	54,06	

	9:10	8,79	39	53,98	54,47
	9:40	8,81	38,7	53,56	54,12
	10:10	8,83	38,75	53,46	54,06
	10:40	8,85	38,95	53,73	54,29
	11:10	8,87	38,99	53,52	54,25
	11:40	8,90	39,18	53,69	54,37
	12:10	8,92	39,37	53,67	54,39
	12:40	8,94	39,06	53,27	54,08
	13:10	8,96	39	53,01	53,83
	13:40	8,98	38,56	52,49	53,3
	14:10	9,00	39,08	52,98	53,88
	14:40	9,02	38,75	52,57	53,48
	15:10	9,04	38,62	52,39	53,32
	15:40	9,06	38,42	52,12	53,07
	16:10	9,08	35,6	50,9	52,49
20:57	9,28	35,21	50,75	52,74	
SABADO 1 AGOSTO	1:45	9,48	34,17	50,03	52,12
	6:33	9,68	34,07	49,92	52,1
	11:21	9,88	33,74	48,99	51,18
	16:09	10,08	33,88	47,65	50,15
	20:57	10,28	33,59	47,09	49,61
DOMINGO 2 AGOSTO	1:45	10,48	33,14	47,13	49,98
	6:33	10,68	32,33	46,47	49,22
	11:21	10,88	32,23	45,62	48,43
	16:09	11,08	32,7	44,54	47,2
	20:57	11,28	32,41	44,07	47,02
LUNES 3 AGOSTO	1:45	11,48	31,65	44,33	47,09
	6:33	11,68	31,23	44,07	46,78
	11:21	11,88	30,96	42,97	45,64
	16:09	12,08	31,73	42,29	45
	20:57	12,28	31,21	41,79	44,48
MARTES 4 AGOSTO	1:45	12,48	30,22	41,66	44,15
	6:33	12,68	30,2	41,83	44,33
	11:21	12,88	30,05	40,88	43,38
	16:09	13,08	30,32	39,57	41,98
	20:57	13,28	29,76	38,93	41,29
MIERCOLES 5 AGOSTO	1:45	13,48	29,58	39,72	42,16
	6:33	13,68	28,81	39,1	41,38
	11:21	13,88	29,02	39,14	41,75

	16:09	14,08	30,12	38,31	40,69
	20:57	14,28	29	37,22	39,37
JUEVES 6 AGOSTO	1:45	14,48	28,4	37,13	39,35
	6:33	14,68	28,57	37,73	39,84
	11:21	14,88	28,63	37,21	39,22
	16:09	15,08	29,29	36,41	38,39
	20:57	15,28	28,54	35,72	37,82
VIERNES 7 AGOSTO	1:45	15,48	28,23	36,35	38,27
	6:33	15,68	28,11	36,49	38,31
	11:21	15,88	28,46	36,02	37,96
	16:09	16,08	28,34	34,83	36,8
	20:57	16,28	28,21	34,67	36,49
SABADO 8 AGOSTO	1:45	16,48	27,55	34,69	36,47
	6:33	16,68	27,39	34,79	36,55
	11:21	16,88	27,34	34,3	36,12
	16:09	17,08	27,8	33,61	35,27
	20:57	17,28	27,18	33,08	34,69
DOMINGO 9 AGOSTO	1:45	17,48	27,09	33,59	35,15
	6:33	17,68	27,39	34,24	35,83
	11:21	17,88	27,07	33,1	34,77
	16:09	18,08	27,78	32,6	34,11
	20:57	18,28	27,38	32,54	34,13
LUNES 10 AGOSTO	1:45	18,48	26,74	32,44	33,95
	6:33	18,68	26,83	32,77	34,3
	11:21	18,88	26,45	32,08	33,41
	16:09	19,08	27,67	31,98	33,51
	20:57	19,28	27,01	31,36	32,79
MARTES 11 AGOSTO	1:45	19,48	26,79	31,65	33,06
	6:33	19,68	27,07	32,41	33,82
	11:21	19,88	26,54	31,55	32,81
	16:09	20,08	27,53	30,99	32,31
	20:57	20,28	27,01	30,3	31,61
MIERCOLES 12 AGOSTO	1:45	20,48	26,68	30,84	32,15
	6:33	20,68	26,37	31,25	32,43
	11:21	20,88	26,83	31,19	32,33