



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**CONTROL DE TEMPERATURA EN CONCRETOS, PARA
DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO YURA, AREQUIPA –
2017**

PRESENTADO POR EL BACHILLER
CARLOS ALONSO DAMIANI ZÚÑIGA

ASESOR:
MG. WUILBER MENDOZA APARICIO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AREQUIPA-PERÚ
2019

A todos los estudiosos e interesados del concreto, que ven este material como un factor fundamental en la calidad de las obras.

A mi familia, por su apoyo constante para el logro de mis metas personales y para dos personas muy especiales en mi vida: mi esposa Ana Iris Santa Cruz y a mi hija Isabella.

A Dios, por permitirme cumplir con las metas que voy trazando en la vida; a mis profesores de la Universidad Alas Peruanas que con su labor y esfuerzo contribuyeron en mi formación profesional; a la empresa Supermix S.A. Al ingeniero Carlos Guerra Cisneros, por el apoyo brindado al permitir el uso de sus laboratorios implementados con tecnología de última generación; finalmente, a mi padre, el ingeniero Carlos Damiani Lazo quien fue guía y coautor de la presente investigación.

RESUMEN

El concreto al momento de reaccionar cuando se mezcla con agua, genera una reacción química inicial; esta temperatura puede ser influenciada además por otros factores como las características particulares del tipo de cemento, la temperatura del ambiente, la temperatura de los agregados, el tamaño, tipo y función de la estructura y el grado de restricción interna y externa impuesta a la estructura, etc., esto toma importancia cuando se trata de concretos que su uso están destinados a obras de mucha envergadura generalmente de tipo hidráulica. Podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que este control de temperaturas no se le da la importancia debida y por lo general no siempre se realiza. Las altas temperaturas de calor de hidratación generan efectos perjudiciales para la calidad y durabilidad del concreto. La ciudad de Arequipa consume concreto premezclado; la empresa SUPERMIX S.A., quien es la mayor proveedora de este producto, elabora los pedidos de acuerdo al requerimiento del cliente y para este propósito emplea diferentes tipos de cementos y resistencias.

El trabajo de tesis, surge a iniciativa de la empresa privada y en convenio con la universidad; desarrolla esta investigación que tiene como objetivo establecer el comportamiento de tres tipos de cemento: Portland tipo 1, Puzolánico 1P y el cemento HE, nuestro punto de partida se basa en una publicación del ACI N° 112-M55 titulada: *“Método de Schmidt mejorado, para predecir el desarrollo de la temperatura en el hormigón en masa”* desarrollado por Christopher P. Bobko, Vahid Zanjani Zadeh, y Rudolf Serácino.

Hemos elaborado dos diseños de mezclas: $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$, con dos relaciones de agua/cemento de 0,45 y 0,33 y empleando para cada una, los cementos señalados en el párrafo anterior. Para una mayor confiabilidad, las mediciones se realizaron en 5 ensayos. Para nuestra investigación y a diferencia de la investigación de *Christopher P. Bobko, Vahid Zanjani Zadeh, y Rudolf*

Serácino (julio – agosto 2015) que realizan sus ensayos y mediciones para 144 horas, es decir 6 días; en nuestra investigación, los registros de temperatura se hicieron durante las primeras 24 horas ya que consideramos que es donde ocurre el mayor riesgo que el concreto sufra daño y hemos observado que los concretos en las primeras 6 horas tienen un comportamiento que va en incremento tal como se representa gráficamente. Pudimos observar que la mayor variabilidad se presentó en el diseño de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, siendo el comportamiento del concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ más constante.

También en esta investigación se considera la metodología de regresión lineal múltiple para obtener los modelos matemáticos con los datos encontrados en la experimentación; estos permiten interpretar el comportamiento de la temperatura del concreto en las primeras 24 horas iniciales.

El trabajo de investigación está comprendido en cuatro capítulos; el primer capítulo aborda el planteamiento del problema estableciendo la hipótesis y variables consideradas en la investigación, así como la metodología empleada. En el segundo capítulo, desarrollamos el marco referencial necesario para entender la presente investigación.

El tercer capítulo comprende el desarrollo experimental de la investigación, aquí se describe paso a paso la metodología aplicada mostrando mediante cuadros y algunas fotografías lo desarrollado; finalmente, en el cuarto capítulo se analizan los resultados obtenidos considerando las variables independientes, intervinientes y su influencia en las variables dependientes que son la temperatura y la resistencia alcanzada a los 28 días de edad del concreto.

Finalmente, podemos concluir que los resultados obtenidos en nuestra investigación en comparación con el *Método de Schmidt*, es válido para los diferentes tipos de cemento YURA y diseños de mezclas empleados, siendo el concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ el que menor variabilidad presentó en las primeras 6 horas iniciales.

Palabras Claves: *concreto, temperatura, química, cemento, agregados, hidráulica, hidratación, calidad, durabilidad, medición.*

ABSTRACT

The concrete when reacting when mixed with water, generates an initial chemical reaction, this temperature can also be influenced by other factors such as: the particular characteristics of the type of cement, the temperature of the environment, the temperature of the aggregates, the size, type, and function of the structure and the degree of internal and external restriction imposed on the structure, etc., this takes importance when it comes to concrete that its use is intended for large-scale works of a hydraulic nature, we can affirm without fear of making mistakes that this temperature control is not given due importance and usually is not always done. The high temperatures of heat of hydration generate harmful effects for the quality and durability of the concrete. The city of Arequipa consumes ready-mix concrete, the company SUPERMIX S.A., which is the largest supplier of this product, makes the orders according to the customer's requirement and for this purpose uses different types of cements and resistances.

The thesis work, arises at the initiative of the private company and in agreement with the university, develops this research that aims to establish the behavior of three types of cement: Portland type 1, Puzolánico 1P and cement HE, our starting point is based on an ACI publication No. 112-M55 entitled: "Improved Schmidt method, to predict the development of temperature in bulk concrete" developed by Christopher P. Bobko, Vahid Zanjani Zadeh, and Rudolf Serácino.

We have developed two designs of mixtures $f''c = 210 \text{ Kg / cm}^2$ and $f''c = 280 \text{ Kg / cm}^2$, with two water / cement ratios of: 0.45 and 0.33 and, for each one, the cements indicated in the previous paragraph. For greater reliability the measurements were made 5 trials. For our research and unlike the research of Christopher P. Bobko, Vahid Zanjani Zadeh, and Rudolf Serácino (July - August 2015) who perform their tests and measurements for 144 hours, that is 6 days, in our investigation the temperature records are they did during the first 24 hours since we consider that it is where the greatest risk of the concrete suffering damage occurs and we have observed that the concretes in the first 6 hours have a behavior that is increasing as it is represented graphically. We could observe that the greatest variability was presented in the design of $f''c = 210 \text{ Kg / cm}^2$, with concrete

behavior $f''c = 280 \text{ Kg / cm}^2$ more constant. Also in this research the methodology of multiple linear regression will be considered to obtain the mathematical models with the data found in the experimentation, these allow to interpret the behavior of the temperature of the concrete in the first 24 initial hours.

The research work is comprised in four chapters, the first chapter addresses the approach of the problem establishing the hypothesis and variables considered in the research, as well as the methodology used. In the second chapter we developed the referential framework necessary to understand the present investigation.

The third chapter includes the experimental development of the research, here is described step by step the applied methodology showing by pictures and some photographs the developed and finally the fourth chapter analyzes the results obtained considering the intervening independent variables and their influence on the dependent variables which are the temperature and resistance achieved at 28 days of age of the concrete.

Finally we can conclude that the results obtained in our research in comparison with the Schmidt Method, is valid for the different types of YURA cement and mixtures designs used, being the concrete $f''c = 280 \text{ Kg / cm}^2$ the lowest variability presented in the first 6 initial hours.

Keywords: *concrete, temperature, chemistry, cement, aggregates, hydraulics, hydration, quality, durability, measurement.*

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre fue un ser sedentario, la innovación constructiva para su comodidad, seguridad y desarrollo de la sociedad a evolucionado permanentemente con el único propósito de mejorar la calidad de vida, desde la época de las antiguas culturas más importantes como por ejemplo: Egipcia, Griega y Romana, en donde se emplearon las primeras pastas cementicias; el hombre se ha dedicado al estudio y perfeccionamiento de este producto, que hoy en día es el más importante empleado en la construcción de infraestructuras.

Los ingenieros de obras están muy familiarizados con la elaboración y el manejo de concretos normales para construcciones de edificaciones típicas, pero no podemos decir lo mismo, sobre el uso de concretos masivos que son poco utilizados en nuestra realidad y que, por lo general, se le vincula a la construcción de presas rígidas de concreto, siendo que este tipo de concreto y sus técnicas es de aplicación en otros tipos de elementos como, por ejemplo, grandes cimentaciones.

Es conocido que cualquier tipo de concreto hidráulico, es un material conformado por una mezcla de arena, grava, agua y cemento en proporciones adecuadas a las características que se desean de él tanto en su estado fresco como durante su endurecimiento y en toda su vida útil.

En la mezcla de concreto, el agua y el cemento, tienen una reacción química exotérmica, es decir, se produce calor (calor de hidratación) y consecuentemente, se eleva la temperatura del elemento fabricado. Si el elemento no tiene la facilidad de disipar ese calor, por ser de dimensiones “grandes”, esta mezcla puede alcanzar temperaturas que hagan cambiar su volumen, provocando tensiones y como resultado, agrietamientos, que dañan las características deseadas en el concreto. También, el diferencial de temperatura entre el interior del elemento y su superficie exterior es motivo de agrietamientos.

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo principal del presente trabajo es que el ingeniero de obra conozca de una forma sencilla y práctica lo que es el concreto masivo, su manejo y comportamiento tanto en estado fresco como endurecido, los cuidados que se deben de tener en el manejo de sus insumos, las técnicas de pre-enfriamiento de insumos y concreto, así como el posenfriamiento del concreto endurecido, contribuyendo a mejorar las prácticas comunes en la utilización de este tipo de concreto y por lo tanto, lograr estructuras de concreto masivo de mejor calidad en resistencia y durabilidad.

El trabajo de investigación es experimental; se realizó el monitoreo mediante el control de las temperaturas durante las primeras 24 horas iniciales del concreto; estos valores nos permitieron analizar el comportamiento. También se consideró la influencia de los componentes que intervienen en la mezcla: cemento, agregados y agua. Se tuvo como punto de partida la fórmula mejorada de *Schmidt*, la cual fue publicada por la Asociación de Concreto Internacional (ACI) y la información bibliográfica de la teoría desarrollada, así como los trabajos de investigación referidos al tema.

Esta investigación se desarrolla gracias al convenio entre la empresa privada SUPERMIX S.A. y la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Alas Peruanas, Filial – Arequipa. Los alcances que tiene la investigación son de establecer la correlación que existe en el control de la temperatura inicial, empleando diferentes tipos de cementos de la marca YURA S.A., además, dos diseños de mezclas diferentes para resistencias de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7. HIPÓTESIS	6
1.8. SISTEMA DE VARIABLES	6
1.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	7
CAPÍTULO II	9
MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	9
2.2 NUEVO MÉTODO DE SCHMIDT RELACIONADO CON LA EDAD DEL CONCRETO Y EL CALOR DE HIDRATACIÓN.....	13
2.3 CASO DE ESTUDIO (Bobko; Zadeh; Serácino, 2015).....	16
2.4 PREDICCIÓN VERSUS RESULTADOS EXPERIMENTALES	19
2.5 MARCO CONCEPTUAL.....	20
2.6 MARCO TEÓRICO	26
CAPÍTULO III	32
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.1 MATERIALES COMPONENTES	32
3.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	39
3.3. PROCEDIMIENTO DE MEZCLA.....	46
3.4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	47
3.5. REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO	47
CAPÍTULO IV	90
ANÁLISIS Y MODELACIÓN MATEMÁTICA.....	90
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
4.2. METODOLOGÍA PARA EL MODELO	103
4.3 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
CONCLUSIONES	166

RECOMENDACIONES	168
BIBLIOGRAFÍA	169
GALERÍA DE FOTOS	172

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la ciudad de Arequipa, por causa del crecimiento socio económico, el desarrollo y calidad de vida de la población, las obras civiles se han incrementado en los últimos años, ya sea de inversión pública o privada, por lo que el uso del concreto, se ha vuelto industrializado (premezclado o prefabricado) para grandes o pequeñas estructuras, lo cual demanda un control permanente de calidad.

En relación a la temperatura del concreto, el control que se tiene con este proceso químico es referencial porque los ingenieros de campo no le prestan el debido interés y no se realiza debido a que requiere de equipo especializado. Sin embargo, sabemos que esta reacción química puede producir altas temperaturas de calor de hidratación que generarían efectos perjudiciales para la calidad y durabilidad del concreto. La ciudad de Arequipa consume concreto premezclado y la empresa que lidera el mercado es SUPERMIX S.A., seguidas ECOCRET S.A.

y OPCON, para nuestra realidad la primera es la mayor proveedora de este producto, esta elabora los pedidos de acuerdo al requerimiento del cliente y para este propósito emplea diferentes tipos de cementos y resistencias. Por este motivo se debe considerar todas las posibles variables que intervienen para el control de las temperaturas iniciales como son: el diseño de mezclas por su relación agua/cemento, el tipo de cemento por su característica particular en sus componentes químicos que lo conforman y la temperatura ambiente, que influyen en la temperatura de los agregados y el agua componentes de la mezcla plástica y que traerán consigo una temperatura inicial que aportará al calor de hidratación inicial.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

DELIMITACIÓN ESPACIAL

Departamento Arequipa – Ciudad Arequipa – Perú.

DELIMITACIÓN SOCIAL

Por el cemento empleado de la marca YURA S.A., en sus diferentes tipos como son Tipo 1, 1P y HE, estos resultados podrán aplicarse en todas aquellas localidades donde se comercialice este producto y donde el clima sea parecido al de la ciudad de Arequipa.

Para concretos pre mezclados, debido a que la dosificación se realiza por peso y empleando aditivos.

DELIMITACIÓN TEMPORAL

La presente investigación corresponde al año 2017.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA PRINCIPAL

¿Cómo determinar los valores de la temperatura que se producen por la reacción química inicial del concreto y comparar estos resultados con el método de Schmidt, para determinar su validez y/o margen de error?

PROBLEMAS SECUNDARIOS

1. ¿Cómo establecer la incidencia de los diseños de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y 280 Kg/cm^2 (concretos de uso masivo en nuestro medio) versus la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial de fraguado del concreto?

2. ¿Cómo determinar la influencia debido a sus características químicas de composición del cemento YURA S.A. Tipo 1, Tipo 1P y Tipo HE en la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial de fraguado del concreto?

3. ¿Cómo establecer en qué medida puede afectar el clima de la zona del proyecto que incidirán en los otros componentes como es el agregado y el agua expuestos al medio ambiente en la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial de fraguado del concreto?

1.4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los valores de la temperatura que se producen por la reacción química inicial del concreto y comparar estos resultados con el método de Schmidt, para determinar su validez y/o margen de error.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Establecer la incidencia de los diseños de mezcla de $f'c=$ 210 kg/cm² y 280 Kg/cm² (concretos de uso masivo en nuestro medio) versus la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial (24 horas) de fraguado del concreto.

2.- Determinar la influencia debido a sus características químicas de composición del cemento YURA S.A. Tipo 1, Tipo 1P y Tipo HE en la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial (24 horas.) de fraguado del concreto.

3.- Establecer en qué medida puede afectar el clima de la zona del proyecto que incidirán en los otros componentes como es el agregado y el agua expuestos al medio ambiente en la temperatura por calor de hidratación que se genera en el tiempo inicial de fraguado del concreto.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La temperatura es un factor determinante para garantizar la calidad del concreto ya que este necesita tener condiciones mínimas para poder realizar el procedimiento químico que garanticen su calidad.

Son varios los factores que intervienen en la decisión que tendrá que tomar el ingeniero responsable de la obra en ejecución, de tal manera que se garantice la calidad y durabilidad del concreto, la posibilidad de agrietamiento por tensión térmica debe ser considerada tanto para la superficie como dentro de la masa.

Una de las influencias más fuertes para evitar el agrietamiento térmico es el control de la temperatura de colocación del concreto.

Esta investigación tiene como objetivo demostrar de manera experimental qué incidencias tienen los factores: relación de agua/cemento, tipo de cemento y clima en la determinación de la temperatura inicial generada por la reacción química inicial dentro de las primeras 24 horas de edad del concreto. Se sabe por las leyes de termodinámica y equilibrio de temperatura que debido a las dimensiones volumétricas de los elementos que conforman una mezcla, unos elementos seden calor, otros ganan calor. Al lograr una mezcla homogénea en un tiempo X, todos los componentes tendrán la misma temperatura y en el núcleo del elemento a vaciar, según su forma y dimensiones, se concentra la mayor temperatura. Esta tratará de encontrar un equilibrio y la única manera de perder calor será por transmisión del calor hacia las zonas de menor temperatura que se encuentran en las zonas más próximas y expuestas al medio ambiente. Este efecto origina las tensiones y fisuras que afectan la calidad y resistencias del concreto.

Los responsables de los vaciados deben conocer el comportamiento de los concretos teniendo en cuenta las variables para cada caso; la justificación e importancia de la investigación es proporcionar al ingeniero de obra los parámetros que deberá considerar para garantizar la calidad del concreto masivo, evitando que estos excesos de temperatura dañen la estructura interna del concreto por efecto de las tensiones internas.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- El material empleado es de la cantera “La Poderosa”
- El cemento será de la marca Yura, tipo 1, 1P y HE.
- Se empleará aditivos plastificantes y retardante de fragua
- Solo para la ciudad de Arequipa departamento de Arequipa.
- No considera el factor dimensional de los volúmenes de concretos que puedan resultar mayores al de los moldes empleados en los experimentos.

1.7. HIPÓTESIS

El diseño de mezcla y el tipo de cemento empleado, generan diferentes comportamientos en las temperaturas iniciales de fraguado.

1.8. SISTEMA DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE

- . El diseño de mezcla.
- . El tipo de Cemento YURA.

VARIABLE DEPENDIENTE

- . Temperatura del C° en las primeras 24 horas.
- . La resistencia del concreto f´c.

1.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables en relación a los tipos de cemento y su resistencia

TIPO DE CEMENTO YURA	Resistencia fc	Relación a/c	ENSAYOS (**)	
CEMENTO TIPO 1	210 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	• Control de temperatura.
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	
	280 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	
CEMENTO 1P	210 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	• Control de temperatura.
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	
	280 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	
CEMENTO TIPO HE	210 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	• Control de temperatura.
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	
	280 kg/cm ²	a/c = 0,45	Compresión 7 y 28 días	
		a/c = 0,33	Compresión 7 y 28 días	

1.10. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a presentar es de tipo descriptiva y experimental dado que se tomarán datos del comportamiento de las probetas de concreto y su posterior interpretación; también esta investigación tiene un carácter correlacional, por el hecho de que se contrasta los resultados con las muestras obtenidas y lineamientos de la normativa vigente.

1.11. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El método desarrollado es hipotético – deductivo, ya que la investigación propone las hipótesis como consecuencia de la realidad en la ciudad de Arequipa referida al tema del control de temperatura en los concretos elaborados con materiales propios de la localidad; éstas características generan el conjunto de datos que serán analizados relacionándolos con la teoría y las leyes físicas

existentes, para finalmente sacar conclusiones que se vinculen a nuestras variables dependientes. Se presentan los hitos más importantes:

- Diseño de mezcla de concreto.
- La cantidad de testigos para la comprobación serán cinco series para cada diseño y tipo de cemento según el cuadro de operación de variables para testigos cilíndricos y vigas rectangulares estándar.
- Mediciones de temperaturas dentro del laboratorio, empleando termocuplas para el registro durante las primeras 24 horas iniciales.
- Para cada sensor y por la ubicación dentro del testigo, se sacará la media y graficará en un cuadro de Excel, relacionando cada sensor dentro del concreto con el sensor del medio ambiente.
- Todos los resultados serán analizados en función del tipo de concreto y la resistencia del mismo.
- Como un aporte adicional, hemos planteado los modelos matemáticos mediante un análisis de regresión múltiple lineal que es un método para establecer la relación funcional entre dos variables.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 ESTADO DEL ARTE

El interés del control de temperatura en el concreto, surge a consecuencia de la construcción de grandes represas en los Estados Unidos de Norte América a inicios del siglo XX y por lo que era necesario para su construcción el vaciado de grandes volúmenes de concreto y de manera continua debían abastecer las cimentaciones y muros de los diques, a este proceso constructivo se le denominó **“concreto masivo”**.

Es así que podemos citar algunas de las obras como la represa de Arrowrock terminada en 1915 presa de arco-gravedad que en su tiempo fue la más alta del mundo con 107 m, construida por el US Bureau of Reclamation, o la represa de Big Dalton presa de arcos múltiples construida por el condado de Los Ángeles a fines de los años veinte.

La presa Hoover, en los años treinta, marcó el inicio de prácticas como el posenfriamiento por medio de tuberías embebidas en el concreto y el uso de cemento de bajo calor de hidratación que se extendieron a todo el mundo. Los

primeros esfuerzos serios para pre-enfriar el concreto fueron durante la construcción de la presa Norfolk de 1941 a 1945 por el Corps of Engineers consistentes en introducir hielo triturado como agua de mezclado durante los meses de verano, para 1949 la combinación de pre-enfriamiento y posenfriamiento fue usada en la presa Glen Canyon donde en el verano se tenían temperaturas de hasta 38° C.

Por otro lado un factor que incide notablemente en la elevación de la temperatura del concreto es la cantidad de cemento en la mezcla, hasta los años treinta era la práctica común que se utilizara como mínimo 223 Kilogramos de cemento por metro cúbico de concreto en la construcción de presas, para la presa Hiwassee, terminada en 1940 el contenido de cemento fue de 167 Kg/m³, un inusual contenido para la época, pero al terminarse sin grietas por temperatura, inició la tendencia de reducir la cantidad de cemento que tenemos a la fecha, un ejemplo de estos bajos contenidos de cemento es la presa Prince Flat en California construida por el Corps of Engineers en 1954 con tan solo 140 Kg/m³ de cemento Tipo II ASTM.

El uso de adiciones puzolánicas como reemplazo de cemento, se da por primera vez en la presa Boneville (USA) en 1938 ya que en ensayos previos se demostró un incremento en el tiempo de trabajabilidad de la mezcla fresca y sobre todo la disminución del calor generado en esa ocasión se usó una relación 1:3 de puzolana pumítica – clinker. Para mediados de los años 40 era ya común el uso de aditivos, pero es en los 50 cuando se reconoce la importancia y beneficios de los reductores de agua, que permiten reducir la cantidad de cemento sin modificar la relación agua – cemento, y a su vez reducir la generación de calor.

Debido a que el concreto tiene una baja conductividad térmica, el calor generado en el interior de la estructura se disipa muy lentamente, a menos que se enfríe artificialmente.

El calor escapa del concreto a una velocidad que es inversamente proporcional al cuadrado de su menor dimensión, por ejemplo, un muro de espesor de 15 cm enfriándose por los dos lados llevaría 1.5 horas para disipar 95% de calor desarrollado. Un muro con espesor de 1.5 m llevaría una semana

entera para dispar la misma cantidad de calor. Si el espesor es de 15 m, lo que puede representar el espesor de una cortina de arco, se requerirán 2 años (ACI 207). (Candelas, 2008)

El método de Schmidt, publicado por primera vez en 1934 y aplicado al análisis del aumento térmico en concretos masivos en 1936, es un enfoque simplificado para resolver el problema de transferencia de calor en un cuerpo con una difusividad térmica uniforme. La implementación del método de Schmidt requiere asumir una discretización unidimensional de un elemento estructural. Típicamente, la dimensión mínima del elemento estructural se modela porque representa la dirección de los gradientes térmicos máximos. La longitud de cada elemento discreto y la difusividad térmica del material determinan el tamaño del paso del tiempo. Δt .

$$\Delta t = \frac{\Delta x^2}{2h^2} \quad (1)$$

Donde: Δx = distancia entre nodos;

h^2 = constante de difusión.

El método funciona determinando la nueva temperatura en un nodo en el momento actual como el promedio de la temperatura de los nodos vecinos en el paso de tiempo anterior, más cualquier aumento de temperatura asociado con el calor añadido al nodo durante el paso de tiempo. El siguiente componente del método de Schmidt es el modelado de la adición de calor a medida que la reacción de hidratación del concreto procede.

El ACI 207.2R-07 presenta gráficas de aumento de temperatura adiabático para concreto que contiene cemento de Tipos I, II, III y IV de (223 kg / m³). El ACI 207.2R-07 también sugiere escalar el aumento de temperatura basado en la cantidad de cemento y puzolanas realmente usadas en la mezcla de concreto. Se sugiere que la puzolana produce sólo aproximadamente el 50% del calor que el cemento que reemplaza, por lo que un contenido de cemento equivalente debe ser el peso real de cemento por metro cúbico más la mitad del peso de puzolana por metro cúbico. La proporción del contenido de cemento equivalente a la línea de base de 223 kg/m³ es el factor de escala para los datos de los gráficos de

aumento de temperatura. ACI 207.2R-07 señala que los gráficos proporcionados son típicos del cemento producido antes de 1960. Es probable que la temperatura suba mucho más rápidamente en cementos modernos que son mucho más finos (Blaine). Debido a que los gráficos adiabáticos de aumento de temperatura están obsoletos y no incluyen materiales puzolánicos, ACI 207.2R-07 recomienda que se realicen pruebas de temperatura adiabática en una muestra del hormigón para proporcionar una representación más precisa del aumento térmico anticipado.

El componente final del método de Schmidt implica el modelado de valores iniciales y condiciones de contorno. Las temperaturas de inicio y las condiciones del aire exterior pueden ser asumidas en función de las condiciones meteorológicas locales. Sin embargo, muchos elementos estructurales de concreto masivo están aislados para controlar sus temperaturas, el ACI 207.2R-07 proporciona una guía sobre cómo manejar el aislamiento en un ejemplo ilustrativo, donde el 50% de la pérdida de calor en el límite inferior se mantiene debido a los efectos aislantes del suelo. No se presentó ninguna justificación para esta estimación. Alternativamente, el aislamiento puede modelarse incluyendo nodos adicionales del concreto que tienen una resistencia térmica equivalente como el aislamiento. Un método de racionamiento para implementar aislamiento en el método de Schmidt requiere calcular el espesor equivalente de hormigón dado el espesor del aislamiento y su valor R. El valor R es una medida de la resistencia térmica del material a fluir a través de un espesor dado. Es el recíproco de la conductividad térmica y es dado por

$$R\text{-value} = L/k \quad (2)$$

Donde L es el grosor del material y k es su conductividad térmica. Al asumir el mismo valor R para el aislamiento y el hormigón, se puede encontrar el espesor de hormigón equivalente. (Bobko; Zadeh; Serácino, 2015)¹

¹ ACI Material Journal/July-August 2015

2.2 NUEVO MÉTODO DE SCHMIDT RELACIONADO CON LA EDAD DEL CONCRETO Y EL CALOR DE HIDRATACIÓN

(Traducción del ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55)

Dos inconvenientes principales para usar el método de Schmidt con el ACI 207.2R-07² que muestra las curvas de calor de hidratación.

En primer lugar, el aumento de temperatura adiabático no está actualizado porque se realizó para cementos de la época que tenían un Blaine muy grueso en comparación con la mayoría de los cementos modernos, y no incorporaba los efectos de las adiciones de puzolanas de uso común hoy en día y la consideración de aditivos químicos. Por lo que se espera que esta imprecisión por las condiciones de esa época, ahora nos permitan obtener predicciones globales con menores temperaturas.

En segundo lugar, el aumento de temperatura se presenta como una función del tiempo, a pesar de que se sabe que el incremento de la temperatura aumenta la velocidad de reacción, lo que aumenta la tasa de aumento de la temperatura³. Se espera que esta inexactitud para conducir a predicciones de temperatura más baja en el centro del elemento estructural de hormigón en masa. A su vez, se espera que la predicción de diferencia de temperatura sea menor que las diferencias reales.

Para mejorar las predicciones, se desarrolló una nueva aplicación del método Schmidt, incorporando el concepto equivalente entre la edad del concreto y el modelo empírico para el calor de hidratación, en función de la composición química del cemento y las

² ACI Committee 207, "Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete (ACI 207.2R-07)," American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, 2007, 32 pp

³ Schindler, A. K., "Effect of Temperature on Hydration of Cementitious Materials," ACI Materials Journal, V. 101, No. 1, Jan.-Feb. 2004, pp. 72-81.

proporciones del diseño de mezcla del concreto⁴. El modelo empírico describe la tasa de generación de calor por unidad de volumen, con coeficientes de parámetros definidos en unidades del Sistema Internacional.

$$Q_h(t_e) = H_u \cdot C_c \cdot \left(\frac{\tau}{t_e}\right)^\beta \cdot \left(\frac{\beta}{t_e}\right) \cdot \alpha_u \cdot e^{-\left[\frac{\tau}{t_e}\right]^\beta} \cdot e^{\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c}\right]} \quad (3)$$

Donde:

Q_h = Tasa de generación de calor por unidad de volumen (J/m³.h);

E_a = Energía aparente de activación (J / mol);

R = Constante universal de los gases (8,314 J / mol / K);

T_e = Tiempo equivalente (h);

H_u = Calor total disponible de reacción a 100% de hidratación (J / g);

C_c = Cantidad de material de cemento (kg/m³);

α_u = El último grado de hidratación;

τ = Parámetro de tiempo de hidratación (h);

β = Parámetro de la pendiente de hidratación;

T_r = Temperatura de referencia edad equivalente (K),

T_c = Temperatura del concreto (K)

La edad equivalente se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t_e = \sum_0^t e^{\frac{-E_a}{R} \left[\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_r}\right]} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Donde:

Δt = Intervalo de tiempo en horas (h);

T_c = Temperatura promedio del concreto en el intervalo de tiempo (K):

Las otras variables E_a , α_u , τ y β son expresiones empíricas y que están en función de la composición química del cemento y el diseño de mezcla, que están definidas por las siguientes expresiones:

⁴ Riding, K. A.; Poole, J. L.; Folliard, K. J.; Juenger, M. C. G.; and Schindler, A. K., "Modeling Hydration of Cementitious Systems," ACI Materials Journal, V. 109, No. 2, Mar.-Apr. 2012, pp. 225-234.

$$E_a = 41,230 + 1,416,000 \cdot \left[(p_{C_3A} + p_{C_4AF}) \cdot p_{cem} \cdot p_{SO_3} \cdot p_{cem} \right] - 347,000 \cdot p_{Na_2O_{eq}} - 19.8 \cdot \text{Blaine} + 29,600 \cdot p_{FA} \cdot p_{FA-CaO} + 16,200 \cdot p_{slag} - 51,600 \cdot p_{SF} - 3,090,000 \cdot WRRET - 345,000 \cdot ACCL \quad (5)$$

$$H_u = H_{cem} \cdot p_{cem} + 461 \cdot p_{slag} + 1800 \cdot p_{FA-CaO} \cdot p_{FA} + 330 \cdot p_{SF} \quad (6)$$

$$H_{cem} = 500 \cdot p_{C_3S} + 260 \cdot p_{C_3A} + 420 \cdot p_{C_4AF} + 624 \cdot p_{SO_3} + 1186 \cdot p_{FreeCa} + 850 \cdot p_{MgO} \quad (7)$$

$$\alpha_u = \frac{1.031 \cdot w/cm}{0.194 + w/cm} + \exp \left(\begin{array}{c} -0.0885 - 13.7 \cdot p_{C_4AF} \cdot p_{cem} \\ -283 \cdot p_{Na_2O_{eq}} \cdot p_{cem} \\ -9.90 \cdot p_{FA} \cdot p_{FA-CaO} \\ -339 \cdot WRRET - 95.4 \cdot PCHRWR \end{array} \right) \quad (8)$$

$$\tau = \exp \left(\begin{array}{c} 2.92 - 0.757 \cdot p_{C_3S} \cdot p_{cem} + 98.8 \cdot p_{Na_2O} \cdot p_{cem} + 1.44 \cdot p_{slag} \\ + 4.12 \cdot p_{FA} \cdot p_{FA-CaO} - 11.4 \cdot ACCL + 98.1 \cdot WRRET \end{array} \right) \quad (9)$$

Donde:

H_{cem} . = Calor total de Hidratación del Cemento

p_{cem} . = Peso total del cemento en relación con el peso de cemento.

p_{FA} = Peso de ceniza volante en relación con el peso de cemento.

p_{FA-CaO} = Porcentaje de masa de CaO en las cenizas volantes.

p_{slag} = Peso de escoria en relación con el peso de cemento.

p_{SF} = Peso del humo de sílice en relación con el peso del cemento.

Blaine = Finura del cemento (m^2/Kg)

La composición química del cemento Portland se identifica como:

p_{C_3S} = Porcentaje de contenido de Alita

p_{C_3A} = Porcentaje de contenido de Belita

p_{C_4AF} = Porcentaje de contenido de Celita

p_{SO_3} = Porcentaje de contenido de tri óxido de azufre.

p_{Na_2O} = Porcentaje de contenido de óxido de sodio.

$p_{Na_2O_{eq}}$ = Porcentaje de contenido de álcalis en porcentaje, relacionado con el óxido de sodio ($0.658 \times \%K_2O + \%Na_2O$)

p_{MgO} = Porcentaje de contenido de óxido de Magnesio.

$p_{FreeCaO}$ = Porcentaje de contenido de Cal libre.

Finalmente los aditivos químicos, cuyas dosificaciones se consideran, en donde WRRET es el porcentaje de sólidos en masa de

ASTM Tipo B y D reductor de agua / retardador por gramo de material de cemento, ACCL es el porcentaje de sólidos en masa de acelerador basado calcio-nitrato-ASTM Tipo C por gramo de material de cemento, LRWR es escribir la ASTM, una dosificación reductora de agua de rango bajo, MRWR es la dosis reductora de agua de gama media, PCHRWR es de alto intervalo de dosificación reductora de agua a base de carboxilato de la ASTM Tipo FNHRWR es el naftaleno- ASTM Tipo F o de melamina basado en un alto intervalo de dosificación reductora de agua.

Para implementar la edad equivalente y relacionarlo con el modelo empírico en el método de Schmidt, los cálculos se realizaron utilizando una hoja de cálculo, con cálculos de repetición en cada intervalo de tiempo Δt como se calcula por la ecuación. (1). En primer lugar, la temperatura media de los dos elementos vecinos se calcula como en la puesta en práctica tradicional del método de Schmidt. Entonces, en cada elemento discreto, la edad equivalente en el paso de tiempo actual se calcula basándose en la edad equivalente y la temperatura del paso de tiempo anterior. A continuación, el aumento de la temperatura generada durante el intervalo de tiempo se calcula para el uso de la tasa de generación de calor $Q(t_e)$ proporcionado por la ecuación (3), multiplicado por el intervalo de tiempo Δt y dividido por la capacidad térmica del concreto. Este aumento de temperatura se añade a la temperatura media de los nodos vecinos desde el paso de tiempo anterior, dando a la nueva temperatura.

2.3 CASO DE ESTUDIO (Bobko; Zadeh; Serácino, 2015)

(Traducción del ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55)

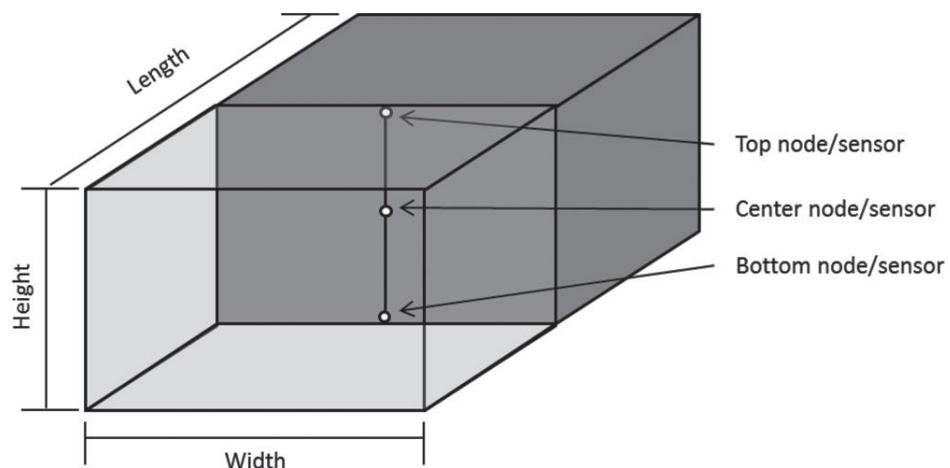
El desarrollo de la temperatura fue analizado por tres elementos estructurales de concreto masivo: un espécimen vaciado en el laboratorio y dos zapatas del puente de Sunset Beach y del puente Wilmhington bypass en Carolina del Norte. Se hicieron mediciones a una edad temprana dentro del bloque de concreto y mediante el modelo de elementos finitos se realizaron las predicciones de las temperaturas

en edad temprana para las tres estructuras. Estas fueron reportadas por Edwards. A.⁵ Las dimensiones del bloque y zapatas son las siguientes:

	ALTO (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)
Especimen	1,52	1,52	1,52
Puente Sunset Beach	1,83	23,8	8,23
Puente Wilmhington bypass	4,50	28,40	18,60

Fuente: ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55

La orientación general de los bloques y las ubicaciones de los sensores de temperatura y importantes nodos de cálculo se ubicaron como se representan en la figura N° 1.



Fuente: ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55

La dimensión más corta de cada elemento estructural fue considerada para el modelado con el método de Schmidt, ya que se espera que genere los mayores gradientes de temperatura. El experimento de bloques de hormigón en masa era sin aislar, a excepción de cualquier posible efecto de aislamiento de las formas de madera contrachapada, que fue descuidada en los análisis el método de Schmidt. Las zapatas del puente de Sunset Beach y del puente de

⁵ Edwards, A., "Early Age Thermal Cracking of Mass Concrete Footings on Bridges in Coastal Environments," MS thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2013, 278 pp.

Bypass Wilmington fueron aisladas con mantas gruesas de 19 mm), las proporciones de mezcla de concreto fueron las siguientes:

	Especimen de laboratorio y Puente de Sunset Beach en (Kg/m ³)	Puente Wilmington Bypass en (Kg/m ³)
Cemento Tipo I / II	266	309
Clase F cenizas volantes	123	123
El humo de sílice	21	0
Agua	153	154
Arena	708	679
Piedra	1068	926

Fuente: ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55

Además, se consideran los valores que están relacionados con las características químicas del cemento.

Value	Mass concrete block experiment and Sunset Beach Bridge	Wilmington Bypass Bridge
<i>P_{C3S}</i>	0.61	0.60
<i>P_{C2S}</i>	0.12	0.13
<i>P_{C3A}</i>	0.07	0.06
<i>P_{CAAF}</i>	0.11	0.11
<i>P_{SO3}</i>	0.028	0.027
<i>P_{FreeCa}</i>	0.009	0.009
<i>P_{MgO}</i>	0.013	0.017
<i>P_{Na2Oeq}</i>	0.0047	0.0043
<i>P_{Na2O}</i>	0.001	0.001
<i>P_{FA-CaO}</i>	0.01	0.01
Blaine	400.6 m ³ /kg	371.5 m ³ /kg
ACCL	0	0
LRWL	0	0
MRWR	0.0065	0.0065
NHRWR	0	0
PCHRWR	0.00345	0.00345
WRRET	0	0

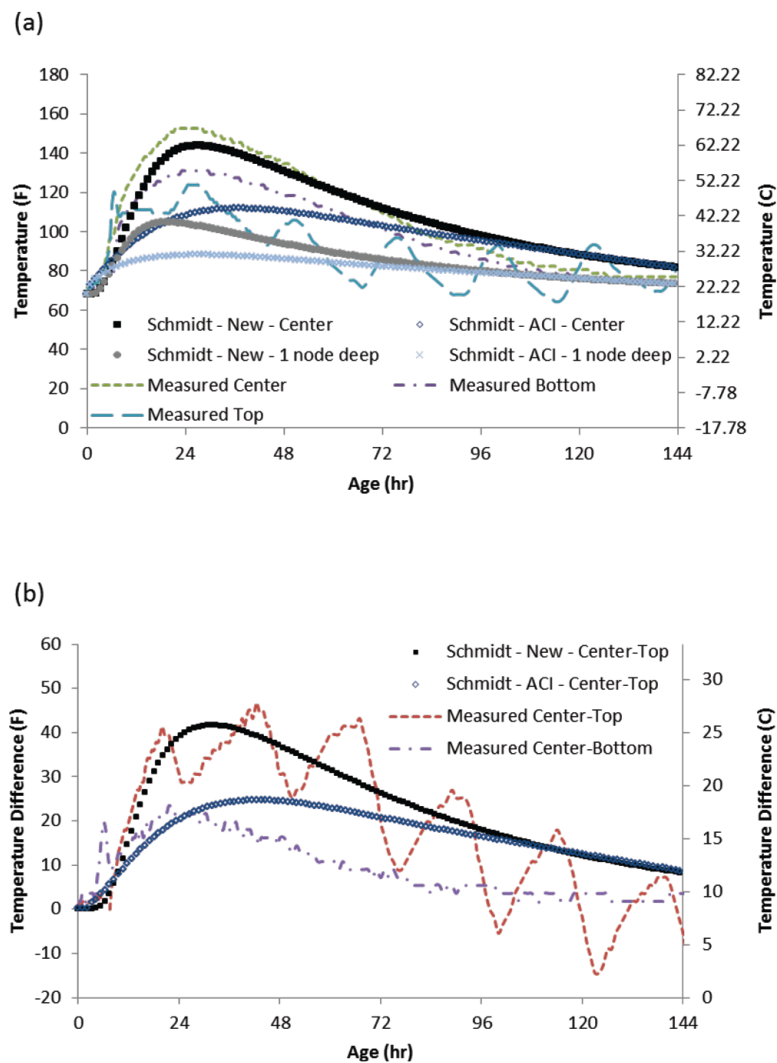
Fuente: ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55

La propiedad térmica del concreto se supone constante para todos los diseños de mezcla de concreto y todas las edades. La conductividad de concreto se asumió en 12,8 Btu/2,21 W/m.K y la cantidad de calor del concreto se asumió en 0,18 Btu/0,75 J/g.K, mientras que la conductividad de las mantas aislantes se asumió en 0,42 Btu/0,072 W/m.K

2.4 PREDICCIÓN VERSUS RESULTADOS EXPERIMENTALES

(Traducción del ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55)

En la figura 2a, se muestra una comparación entre las predicciones del método Schmidt y las mediciones de temperatura realizadas en el experimento de bloques de concreto masivo. Las predicciones en el nodo central y las mediciones en el centro del bloque se comparan. La nueva predicción método Schmidt con las ecuaciones empíricas para el calor de hidratación dio una buena predicción para la temperatura central, mientras que el método Schmidt utilizando las curvas de calor de hidratación ACI sub predijo la temperatura durante los primeros 4 días. Figura 2a - 2b.



Fuente: ACI MATERIALS JOURNAL – Title No. 112-M55

La Figura 2b, muestra una comparación entre las predicciones de diferencia de temperatura utilizando el método de Schmidt y las diferencias de temperatura medidos. Recordemos que las diferencias de temperatura son responsables de los gradientes térmicos que pueden resultar en la edad temprana craqueo térmico, y las diferencias de temperatura son típicamente limitadas a 35 ° F (19,4 ° C).

Las diferencias de las mediciones de temperaturas entre el centro y la parte superior y el centro y la parte inferior se presentan debido a las diferentes condiciones de contorno en el experimento. Para las predicciones del método Schmidt, se utilizó la temperatura de un nodo de profundidad desde la parte superior y la parte inferior como base para las comparaciones. La diferencia de temperatura centro-top medido oscila con la luz del sol alrededor de la nueva predicción método Schmidt con las ecuaciones empíricas para el calor de hidratación. La diferencia de temperatura centro de fondo medido fue menor debido a la influencia de la temperatura del suelo. La predicción método Schmidt utilizando las curvas de ACI calor de hidratación predijo una diferencia de temperatura mucho más baja.

2.5 MARCO CONCEPTUAL

NECESIDAD DE CONTROLAR LA TEMPERATURA

Si el cemento y puzolanas no generasen calor mientras el concreto se endurece, habrá poca necesidad de controlar la temperatura. En la mayoría de los casos esta generación de calor y la elevación de temperatura, ocurrirán rápidamente dando como resultado el endurecimiento del concreto mientras se expande. Además, junto con el aumento de rigidez se da una continua elevación de la temperatura por varios días, estas circunstancias pueden ser poco importantes si:

- a. La máxima temperatura puede ser limitada a un valor cercano a su temperatura final al enfriarse.
- b. Se mantiene la misma temperatura en todo el volumen incluyendo superficies expuestas.

REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

Se considera la especificación del requerimiento de resistencia más allá de los 28 días. Concretos con una resistencia temprana mayor de la necesaria después de los 28 días, necesitará una excesiva cantidad de cemento, además de introducir calor adicional al concreto agravando el problema del control de la temperatura.

Donde las grietas, incluidas aquellas producidas por la tensión por temperatura, permiten la entrada del agua, y la corrosión del refuerzo, la oxidación y/o la congelación y deshielo, se puede producir la caída del recubrimiento o provocar otra acción destructiva. El programa de construcción, la relación estimada de la colocación y la época del año, deben ser considerados por el diseñador. La temperatura más alta (pico), ocurrirá en el concreto colocado durante los meses calientes del verano; de igual forma al término del verano o inicio del otoño se alcanzará un gran pico de temperatura, y probablemente estará expuesto a una abrupta caída de la temperatura del aire. La colocación del concreto en invierno estará expuesta a una severa condición de baja temperatura.

DIMENSIONES DE LAS ESTRUCTURAS

Cuando la dimensión más pequeña de un elemento de concreto no es muy grande, la evolución del calor en la mezcla es baja y el calor de hidratación puede ser disipado con facilidad por las dos superficies (la cimbra no aísla) la máxima temperatura no será muy elevada. Sin embargo, en todo caso la elevación de temperatura es necesaria con

el fin de crear un gradiente de temperatura (diferencia) para conducir el calor a la superficie. La tabla 2 muestra las máximas temperaturas alcanzadas típicamente en muros. Una losa de cimentación puede ser considerada como un muro de gran dimensión con una cara expuesta, por lo que la pérdida de calor se dará solo por la superficie expuesta.

Tabla 2
Elevación de la temperatura en muros. (ACI 207.4R 93)

Ancho del muro (m)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	3.0	Infinito
Elevación máxima de la temperatura (°C)	1.2	3.2	4.9	6.6	8.1	12.8	16.7

Cemento de moderado calor Tipo II
 Temperatura de colocación igual a la temperatura ambiente
 Expuesto por los dos lados
 Difusión térmica: 0.093 m²/día
 Elevación de la temperatura: °C por 100 Kg de cemento por metro cúbico de concreto
 ACI 207.4R 93

Para este caso la tabla 2 muestra las máximas temperaturas esperadas, las cuales no son substancialmente más altas que las del muro vertical. Sin embargo, la máxima ocurre a edades tardías y sobre una gran parte del concreto. Deberá existir un balance de las fuerzas estáticas de compresión y tensión, los esfuerzos en la parte central son pequeños y esencialmente uniformes, mientras que en el lado expuesto los esfuerzos de tensión son muy altos.

Tabla 3
Elevación de temperatura en losas. (ACI 207 4R 93)

Ancho de la losa (m)	0.9	1.5	3.0	4.6	6.1	7.6	Infinito
Elevación máxima de la temperatura (°C)	5.6	8.7	13.1	15.0	16.7	16.2	16.7

Cemento de moderado calor Tipo II
 Temperatura de colocación igual a la temperatura ambiente
 Expuesta solo la cara superior
 Difusión térmica: 0.093 m²/día
 Elevación de la temperatura: °C por 100 Kg de cemento por metro cúbico de concreto
 ACI 207.4R 93

La protección al concreto masivo puede hacerse con sencillas precauciones y ayudándose por condiciones climáticas favorables, logrando un concreto sin grietas. Lo anterior se ejemplifica con una gran base de concreto reforzado construida en Gran Bretaña de 480 m² de área, 2.5 m de espesor y con un contenido de cemento de 418 kg/m³, fue colocado como una sola unidad. La máxima temperatura alcanzada del concreto fue de 65° C, con la superficie inferior protegida con triplay de 19 mm y la superficie de arriba por una capa de plástico sobre una capa de 25 mm de arena. El triplay y la arena fueron removidos a los 7 días, las superficies estuvieron expuestas al ambiente de enero con su temperatura y humedad.

RESTRICCIONES

No se desarrollarán tensiones o deformaciones si el volumen o longitud cambian asociados con el decrecimiento de la temperatura del concreto en masa o el elemento puede acomodarse libremente. Cuando estas contracciones potenciales, entre cualquier estructura de concreto masivo y su base firme, por ejemplo de roca, entre elementos estructurales contiguos, o internamente un elemento de concreto se encuentra restringido, ocurrirán totalmente o en parte las tensiones y las deformaciones aparecerán. Si el concreto puede moverse libremente no se presentarán problemas en la contracción si por el contrario el movimiento está restringido, las tensiones y contracciones se presentarán. Bases flexibles causarán menos restricción.

GENERACIÓN DE CALOR

Los requerimientos de resistencia, durabilidad y las características de los agregados disponibles, en gran parte dictan el contenido de cemento de la mezcla usado para un empleo particular. Las opciones que se tienen para buscar limitar la generación de calor incluyen:

- a. Uso de cemento, con característica especial de bajo calor de hidratación.
- b. Uso de cementos hidráulicos 1P.
- c. Reducción del contenido de cemento como resultado del uso de material puzolánico como ceniza volante o puzolana natural, para lograr una reducción máxima de la producción de temperatura sin sacrificar el desarrollo de resistencia a largo plazo.

Estas opciones, pueden ser seleccionadas para minimizar el calor generado. Sin embargo, la baja en la producción de calor, se contrapone con una lenta ganancia de resistencia, lo que requiere una edad mayor de diseño. En algunos casos las necesidades en la construcción, como la de obtener resistencias tempranas para permitir un rápido desencofrado, el uso continuo de los encofrados y la preparación de las juntas, puede no permitir una reducción del cemento (y la correspondiente baja en la generación de calor).

CLIMA

Como regla general, cuando no se toman precauciones especiales, la temperatura de colocación del concreto, será muy poco por arriba de la temperatura ambiente del aire. La temperatura final estable en el interior de la estructura de concreto masivo, será aproximadamente del promedio anual de la temperatura del aire de acuerdo a su localización geográfica.

La temperatura extrema experimentada por el concreto en su interior, está determinada por la temperatura en el colado, más la elevación de la temperatura adiabática, menos el calor perdido al aire y menos la temperatura estable final. Los procedimientos están disponibles para determinar la temperatura neta obtenida en los vaciados masivos.

Generalmente, a menor temperatura del concreto cuando pasa del estado plástico al endurecido, menor será la tendencia a agrietarse. En estructuras masivas, cuando la temperatura de colocación está a 6 °C por debajo del promedio de la temperatura del aire, resultará en una baja de alrededor de 3 °C de la máxima temperatura que el concreto alcanzará.

Cuando esta temperatura inicial de concreto excede los 32°C, se incrementa por la reacción exotérmica y afectará las condiciones físicas del mismo, de ahí la importancia de tomar en cuenta estos factores que podrían ser influyentes en los valores alcanzados en las primeras 24 horas de edad de nuestro concreto.

Tabla 4
Tiempo de fraguado del concreto

Tiempo de Fraguado del Concreto a Diferentes Temperaturas	
Temperatura	Tiempo de Fraguado Aproximado
38 °C (100 °F)	1 2/3 horas
32 °C (90 °F)	2 2/3 horas
27 °C (80 °F)	4 horas
21 °C (70 °F)	6 horas
16 °C (60 °F)	8 horas
10 °C (50 °F)	11 horas
4 °C (40 °F)	14 horas
-1 °C (30 °F)	19 horas
-7 °C (20 °F)	No fragua -el concreto se congelará

Fuente: "Concrete Construction", Marzo 1990

2.6 MARCO TEÓRICO

EL CONCRETO

La estructura interna del concreto endurecido, que consiste en el aglomerante, estructura básica o matriz constituida por pasta de cemento y agua que aglutina a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, establece un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas inertes y sus características propias.

Una conclusión inmediata que se desprende de lo mencionado, es que la estructura del concreto no es homogénea, y en consecuencia no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones (Pasquel C.,1996)⁶.

AGREGADOS

Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente.

Ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen total, las calidades de estos tienen una importancia primordial en el producto final

La denominación del agregado como inerte es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante siendo en algunos casos tan importantes como el cemento

⁶ Topics del Tecnología del Concreto/Segunda Edición-1996.

para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc. (Pasquel C, 1996)⁶.

AGUA

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- i. Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- ii. Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- iii. Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacios para desarrollarse. (Pasquel C., 1996)⁶.

El agua de mezcla debe cumplir con las siguientes características físicas: incolora, inodora y desabrida, es decir, potable.

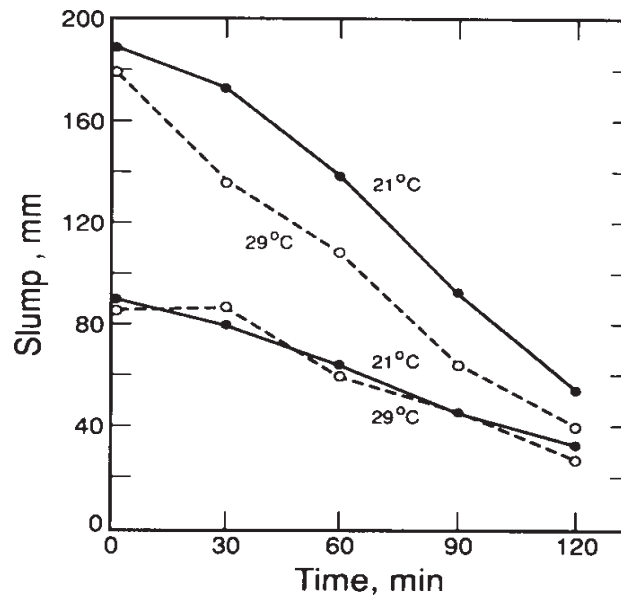
TEMPERATURA

La mezcla de hormigón fresco se endurece con el tiempo y esto se refleja en una caída reducida. En consecuencia, este fenómeno se conoce como 'pérdida de asentamiento'. Como ya se ha mencionado, esta reducción de la caída es causada principalmente por la hidratación del cemento, la evaporación de parte del agua de mezcla y la posible absorción de agua por los agregados, pueden constituir razones adicionales que contribuyen a la pérdida.

La formación de los productos de hidratación elimina un poco de agua libre de la mezcla fresca, debido a las reacciones de hidratación (es decir, aproximadamente el 23% del cemento hidratado en peso), y en parte debido a la absorción física sobre la superficie de los productos de hidratación resultantes (es decir, algunos 15% del cemento hidratado en peso). Nuevamente, más agua puede eliminarse por evaporación, y la disminución resultante en la cantidad de agua

libre reduce su efecto lubricante. La fricción entre el cemento y agregados de partículas se incrementa, y la mezcla se vuelve menos fluida.

Figura 1
Efecto de la temperatura y asentamiento inicial en la pérdida de asentamiento del hormigón



El comportamiento térmico del concreto fresco se ve reflejado en el asentamiento (slump) con el transcurrir del tiempo y esto a su vez en sus características frescas, por ejemplo, la trabajabilidad; así como en sus características de endurecimiento, por ejemplo, la resistencia.

La figura 1 muestra un concreto más húmedo comparado con un concreto más seco, expuestos a dos condiciones iguales, tiene una caída considerable a diferencia del concreto más seco el cual no sufre gran cambio. La razón del porqué sucede esto es debido al hecho que la consistencia de las mezclas más rígidas es menos sensible a los cambios en la cantidad de agua de mezcla que la de las mezclas más húmedas.

CONCRETO MASIVO

El Concreto Masivo es definido por el ACI 116R (American Concrete Institute) como cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen las medidas necesarias para hacer frente a la generación de calor por hidratación del cemento y el consecuente cambio de volumen, con el fin de minimizar el agrietamiento.

Por otro lado, el ACI 211 dice: muchos elementos estructurales grandes pueden ser suficientemente masivos para que la generación de calor deba ser considerada, particularmente cuando la dimensión mínima de la sección transversal del elemento sólido se aproxima o exceda de 60 a 90 cm o cuando el contenido de cemento exceda de 355 kg/m³.

Según el Departamento de Transportación de Florida, un elemento debe ser considerado como masivo si presenta las siguientes condiciones:

- La dimensión mínima es de un metro
- La relación de volumen a superficie es mayor de 0.30

En México, por ejemplo, la CFE en sus Especificaciones de Construcción de Obra Civil del P. H. El Cajón, Nay. en su capítulo de Concretos indica: "La temperatura de las diferentes mezclas de concreto no debe exceder de los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 5
Temperatura máxima de colocación del concreto
en función del volumen de mezcla

Tipo de concreto	Espesor del elemento por colar cm	Temperatura máxima en planta °C	Temperatura máxima de colocación °C
Masivo	>100	20	23
Semimasivo	60-100	24	27
Normal	<60	28	31

Fuente: CFE en sus Especificaciones de Construcción de Obra Civil del P. H - México

Para satisfacer los requisitos de temperatura, es necesario que el Contratista adopte algunas medidas especiales, por ejemplo: hielo en sustitución parcial del agua de mezclado; dar sombra a los lugares de almacenamiento de los agregados, de cemento y quizás a la planta de concreto; regar o pre-enfriar con agua los depósitos de grava y arena; y efectuar vaciados durante las horas de baja temperatura en la obra (noche).”

No es pues fácil el definir al concreto masivo en términos absolutos y simples. La definición varía dependiendo de las especificaciones, el tipo de construcción y el tipo de uso. El diseño de estructuras de concreto masivo está general y principalmente basado en la durabilidad, economía y las condiciones de temperatura, dejando la resistencia en un segundo término. La característica que distingue al concreto masivo de otros tipos de concreto es su comportamiento térmico.

La reacción química entre el agua y el cemento es exotérmica, por lo que la temperatura en el concreto aumenta. Cuando el calor no se disipa rápidamente puede aumentar la temperatura en forma considerable. Deformaciones y esfuerzos significativos pueden desarrollarse por el cambio de volumen asociado al aumento y disminución de la temperatura en la masa del concreto. Por lo que deberán tomarse medidas para que las grietas que se pueden formar no hagan perder estabilidad e integridad en la estructura, que este deje

de comportarse como monolito, se tengan grandes filtraciones o se acorte la vida de servicio.

La mayoría de los principios en la tecnología del concreto masivo son similares para el trabajo en general de los concretos. Estas prácticas especiales de construcción se han desarrollado para satisfacer los requerimientos ingenieriles en estructuras de concreto masivo como presas de gravedad y de arco, reactores nucleares, casas de máquinas, grandes bases para equipos industriales, grandes cimentaciones, pilas y mástiles de puentes.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MATERIALES COMPONENTES AGREGADOS

Los agregados empleados en la investigación son de uso de la cantera “La Poderosa” ubicada en:

Coordenadas: Latitud $16^{\circ}26'32''.70''\text{S}$

Longitud: $71^{\circ}38'5.93''\text{O}$

En las siguientes tablas, se presentan los ensayos realizados para las propiedades físicas de los agregados.

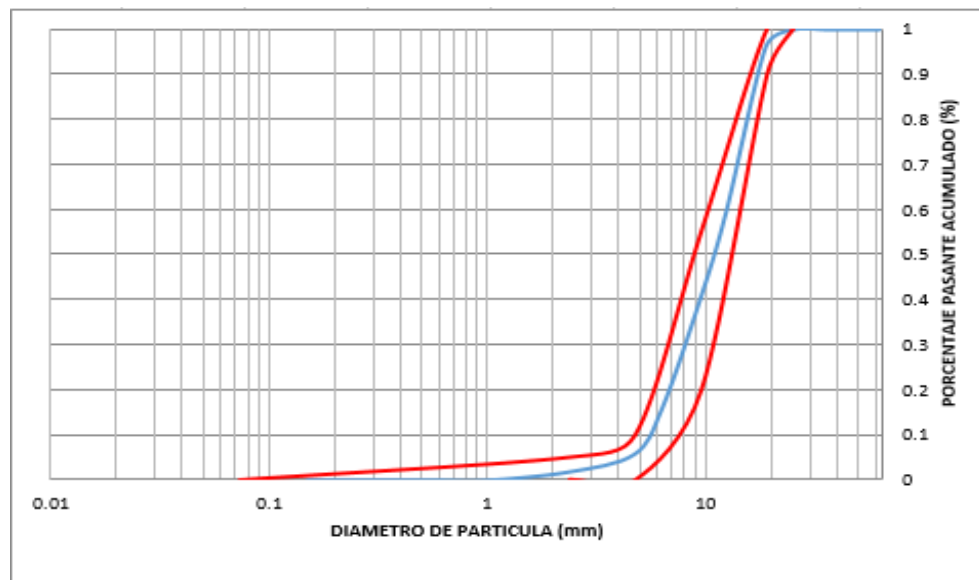
a. Granulometría

Tabla 6
Granulometría del agregado Huso 5

MALLA ASTM	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	
2 1/2"	63.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	230.00	1.56%	1.56%	98.44%	100%	100%
3/4"	19.00	9018.00	61.34%	62.91%	37.09%	90%	100%
1/2"	12.50	5208.00	35.43%	98.33%	1.67%		
3/8"	9.50	149.00	1.01%	99.35%	0.65%	20%	55%
1/4"	6.35	37.00	0.25%	99.60%	0.40%		
N°4	4.75	24.00	0.16%	99.76%	0.24%	0%	10%
N°8	2.36	35.00	0.24%	100.00%	0.00%	0%	5%
N°16	1.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
N°30	0.60	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
N°50	0.30	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
N°100	0.15	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
N°200	0.07	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
<N°200	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
TOTAL		14701	100.00%				

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 1
Granulometría del agregado Huso 5



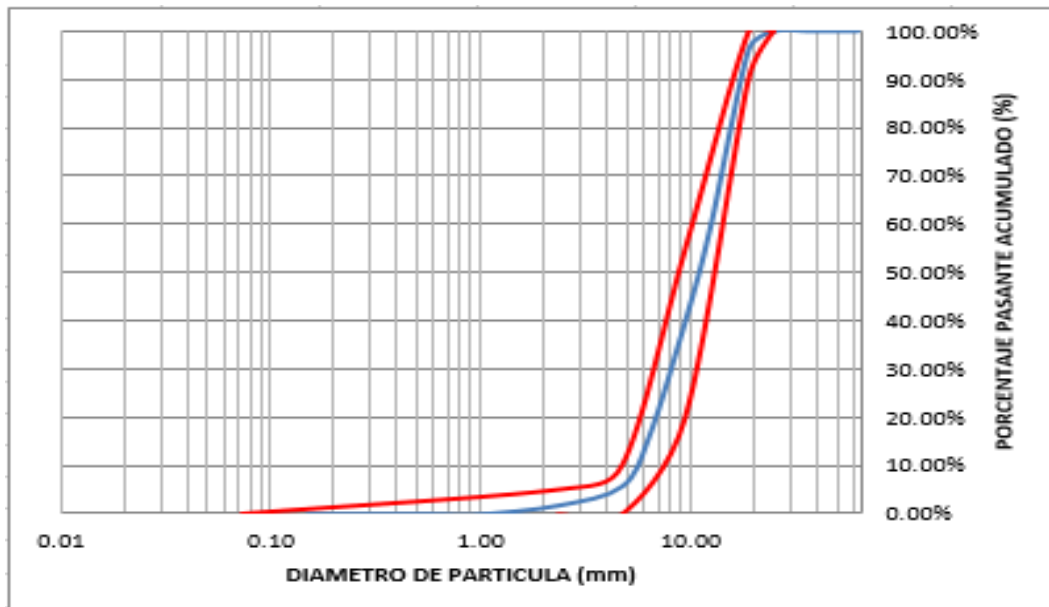
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7
Granulometría del agregado Huso 6,7

MALLA ASTM	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	
2 1/2"	63.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3/4"	19.00	548.00	3.77%	3.77%	96.23%	90%	100%
1/2"	12.50	5335.00	36.66%	40.42%	59.58%		
3/8"	9.50	2824.00	19.40%	59.83%	40.17%	20%	55%
1/4"	6.35	3531.00	24.26%	84.09%	15.91%		
Nº4	4.75	1475.00	10.13%	94.22%	5.78%	0%	10%
Nº8	2.36	577.00	3.96%	98.19%	1.81%	0%	5%
Nº16	1.00	264.00	1.81%	100.00%	0.00%		
Nº30	0.60	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
Nº50	0.30	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
Nº100	0.15	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
Nº200	0.07	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
< Nº200	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
TOTAL		14554	100.00%				

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 2
Granulometría del agregado Huso 6,7



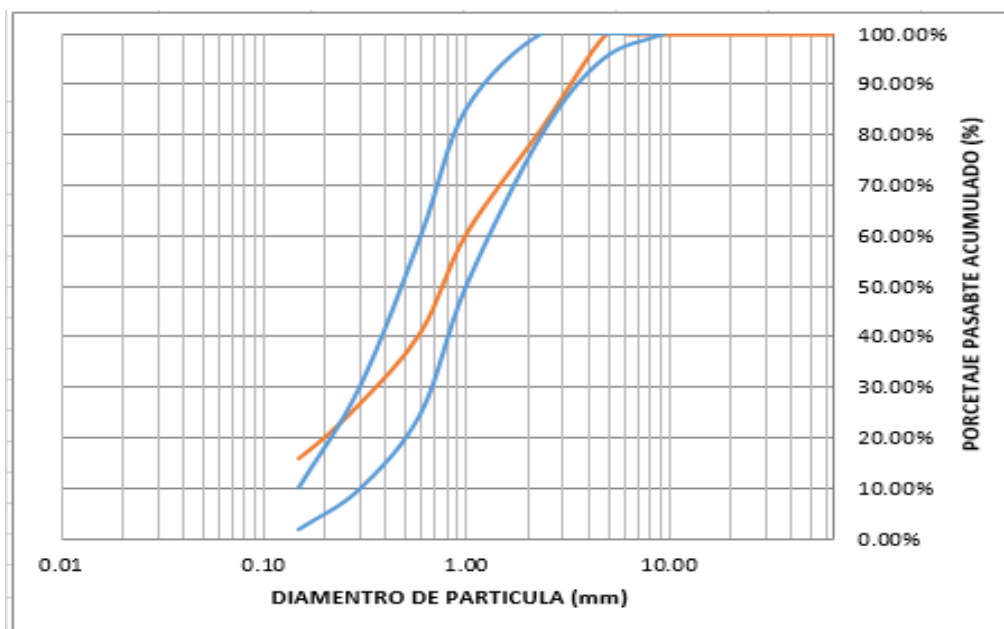
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8
Granulometría agregado fino

MALLA ASTM	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	
2 1/2"	63.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1/4"	6.35	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
Nº4	4.75	6.00	0.35%	0.35%	99.65%	95%	100%
Nº8	2.36	312.00	18.06%	18.40%	81.60%	80%	100%
Nº16	1.00	364.00	21.06%	39.47%	60.53%	50%	85%
Nº30	0.60	334.00	19.33%	58.80%	41.20%	25%	60%
Nº50	0.30	247.00	14.29%	73.09%	26.91%	10%	30%
Nº100	0.15	188.00	10.88%	83.97%	16.03%	2%	10%
Nº200	0.07	135.00	7.81%	91.78%	8.22%		
< Nº200	0.00	142.00	8.22%	100.00%	0.00%		
TOTAL		1728	100.00%				

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3
Granulometría del agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

b. Módulo de fineza

Tabla 9

Módulos de fineza.

MOULO DE FINEZA	
AGREGADO HUSO 5	7.62
AGREGADO HUSO 6,7	6.57
AGREGADO FINO	2.74

Fuente: Elaboración Propia

c. Peso específico

Tabla 10

Pesos específicos.

PESO ESPECIFICO	W_{sss} (gr)	W_{sumergido} (gr)	P.S.
AGREGADO HUSO 5	2,812.8	1,811.9	2810.27
AGREGADO HUSO 6,7	3137.6	2001.4	2761.49
	W_{fiola}	W_{total}	
AGREGADO FINO	162.8	970.6	2601.46

Fuente: Elaboración Propia

d. Absorción

Tabla 11

Absorciones

PESO ESPECIFICO	W_{sss} (gr)	W_{seco} (gr)	Abs.(%)
AGREGADO HUSO 5	2,812.8	2,797.8	0.54
AGREGADO HUSO 6,7	3137.6	3116.4	0.68
AGREGADO FINO	500	492.2	1.58

Fuente: Elaboración Propia

e. **Pasante malla N° 200**

Tabla 12

Pasante malla 200

PASANTE MALLA 200	Wseco (gr)	Wsecolavado (gr)	#200(%)
AGREGADO HUSO 5	4,291.2	4,267.6	0.55
AGREGADO HUSO 6,7	4402.6	4376.6	0.59
AGREGADO FINO	1637.9	1489.5	9.06

Fuente: Elaboración Propia

f. **Peso unitario suelto**

Tabla 13

Peso unitario suelto del agregado Huso 5

PUS		
1	20.47	Kg
2	20.42	Kg
3	20.39	Kg
Prom:	20.43	Kg
PUS:	1443.58	kg/m ³

Peso molde:	5.61	kg
Vol. molde:	14.15	l

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14

Peso unitario suelto del agregado Huso 6,7

PUS		
1	20.60	Kg
2	20.56	Kg
3	20.58	Kg
Prom:	20.58	Kg
PUS:	1454.42	kg/m ³

Peso molde:	5.61	kg
Vol. molde:	14.15	l

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Peso unitario suelto del agregado fino

PUS		
1	4.75	Kg
2	4.70	Kg
3	4.67	Kg
Prom:	4.707	Kg
PUS:	1669.03	kg/m3

Peso molde:	1.65	kg
Vol. molde:	2.82	cm3

Fuente: Elaboración Propia

g. Peso unitario compactado

Tabla 16

Peso unitario compactado del agregado huso 5

PUC		
1	22.96	Kg
2	22.95	Kg
3	23.06	Kg
Prom:	22.99	Kg
PUC:	1624.73	kg/m3

Peso molde:	5.61	kg
Vol. molde:	14.15	l

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17

Peso unitario compactado agregado huso 6,7

PUC		
1	23.41	Kg
2	23.38	Kg
3	23.42	Kg
Prom:	23.403	Kg
PUC:	1653.95	kg/m3

Peso molde:	5.61	kg
Vol. molde:	14.15	l

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Peso unitario compactado del agregado fino

PUC		
1	5.17	Kg
2	5.18	Kg
3	5.16	Kg
Prom:	5.170	Kg
PUC:	1833.33	kg/m ³

Peso molde:	1.65	kg
Vol. molde:	2.82	cm ³

Fuente: Elaboración Propia

CEMENTO

Los cementos empleados en la investigación (T1, 1P, HE) son de la empresa Yura S.A.

AGUA

El agua empleada en la investigación es de la red pública.

ADITIVOS

Los aditivos empleados en la investigación (Neoplast 8500 hp, Euco wr-75) son de la empresa Química Suiza Industrial S.A.

3.2. DISEÑO DE MEZCLA

Los diseños de mezcla fueron proporcionados por la empresa Laboratorio I&D.

PARA CONCRETO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

CEMENTO TIPO 1

Tabla 19

Diseño de mezcla $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ para cemento Tipo 1

1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
N ^a	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo I	Yura	2830						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	0.00	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.21	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.24	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						

2.- CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
N ^a	Características del Concreto	210							
		210							
1	FC	255							
2	a/c	0.690							
3	Rf	0.49							
4	MC	4.80							

3.- DISEÑO EN SECO									
N ^a	MATERIAL	210							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA			
		Wsss	Vsss				0.025		
1	Cemento YURA Tipo I	255	0.09011	255	255	6.38			
3	Agua	176	0.1760	176	196	4.89			
4	Arena	959	0.3687	944	944	23.60			
5	Piedra 3/4" Huso	848	0.3070	842	844	21.09			
6	Piedra 1" Huso 5	216	0.0767	215	215	5.38			
8	Neoplast 8500 HP	0.92	0.0008	0.92	0.92	22.95			
9	Euco WR 75	0.77	0.0007	0.77	0.77	19.13			
PESO TOTAL		2455	1.0200	2433	2455	103.41			

CEMENTO 1P**Tabla 20****Diseño de mezcla $f'c=210$ Kg/cm² para cemento 1P**

1.- PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
N^a	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo IP	Yura	2830						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	0.00	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.21	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.24	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						
2.- CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
N^a	Características del Concreto	210							
		210							
1	FC	305							
2	a/c	0.603							
3	Rf	0.46							
4	MC	4.92							
3.- DISEÑO EN SECO									
N^a	MATERIAL	210							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA 0.025			
		Wsss	Vsss						
1	Cemento YURA Tipo IP	305	0.10777	305	305	7.63			
3	Agua	184	0.1839	184	202	5.05			
4	Arena	870	0.3343	856	856	21.40			
5	Piedra 3/4" Huso	867	0.3139	861	863	21.57			
6	Piedra 1" Huso 5	221	0.0785	219	220	5.50			
8	Neoplast 8500 HP	0.95	0.0009	0.95	0.95	23.64			
9	Euco WR 75	0.92	0.0008	0.92	0.92	22.88			
PESO TOTAL		2448	1.0200	2427	2448	107.66			

CEMENTO HE

Tabla 21

Diseño de mezcla $f'c=210$ Kg/cm² para cemento HE

1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
N ^a	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo HE	Yura	3000						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	0.00	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.21	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.25	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						

2.- CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
N ^a	Características del Concreto	210							
		210							
1	FC	265							
2	a/c	0.691							
3	Rf	0.49							
4	MC	4.80							

3.- DISEÑO EN SECO									
N ^a	MATERIAL	210							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA			
		Wsss	Vsss			0.025			
1	Cemento YURA Tipo HE	265	0.08833	265	265	6.63			
3	Agua	183	0.1830	183	202	5.06			
4	Arena	952	0.3661	938	938	23.44			
5	Piedra 3/4" Huso	842	0.3048	836	838	20.95			
6	Piedra 1" Huso 5	214	0.0762	213	214	5.34			
8	Neoplast 8500 HP	0.93	0.0008	0.93	0.93	23.19			
9	Euco WR 75	0.80	0.0007	0.80	0.80	19.88			
PESO TOTAL		2458	1.0200	2436	2458	104.47			

Fuente: Elaboración Propia

PARA CONCRETO $f'c = 280 \text{ kg/cm}$

CEMENTO TIPO 1

Tabla 22

Diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento Tipo 1

1. PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
Nª	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo I	Yura	2830						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	0.71	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.16	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.15	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						

2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
Nª	Características del Concreto	280							
		280							
1	FC	325							
2	a/c	0.551							
3	Rf	0.46							
4	MC	4.92							

3. DISEÑO EN SECO									
Nª	MATERIAL	280							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA			
		Wsss	Vsss				0.033		
1	Cemento YURA Tipo I	325	0.11484	325	325	10.73			
3	Agua	179	0.1790	179	192	6.33			
4	Arena	867	0.3332	853	859	28.36			
5	Piedra 3/4" Huso	864	0.3129	858	860	28.37			
6	Piedra 1" Huso 5	220	0.0782	219	219	7.23			
8	Neoplast 8500 HP	1.07	0.0010	1.07	1.07	35.39			
9	Euco WR 75	0.98	0.0008	0.98	0.98	32.18			
PESO TOTAL		2457	1.0200	2436	2457	148.57			

Fuente: Elaboración Propia

CEMENTO 1P

Tabla 23

Diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm² para cemento 1P

1. PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
Nº	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo IP	Yura	2830						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	1.43	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.36	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.28	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						
2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
Nº	Características del Concreto	280							
		280							
1	FC	350							
2	a/c	0.525							
3	Rf	0.46							
4	MC	4.92							
3. DISEÑO EN SECO									
Nº	MATERIAL	280							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA			
		Wsss	Vsss				0.033		
1	Cemento YURA Tipo IP	350	0.12367	350	350	11.55			
3	Agua	184	0.1839	184	188	6.22			
4	Arena	850	0.3269	837	849	28.02			
5	Piedra 3/4" Huso	848	0.3070	842	845	27.89			
6	Piedra 1" Huso 5	216	0.0767	215	215	7.10			
8	Neoplast 8500 HP	1.00	0.0009	1.00	1.00	32.92			
9	Euco WR 75	1.05	0.0009	1.05	1.05	34.65			
PESO TOTAL		2450	1.0200	2430	2450	148.34			

Fuente: Elaboración Propia

CEMENTO HE

Tabla 24
Diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm² para cemento HE

1. PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS, CEMENTO									
N ^a	MATERIAL	CANTERA O PROCEDENCIA	P. Esp.	% ABS	MF	P.U.S.	P.U.C.	% Hum.	<MALLA 200
1	Cemento YURA Tipo HE	Yura	3000						
2	Agua	Arequipa	1000						
3	Arena	La Poderosa	2601	1.58	2.74	1669	1833	0.60	9.06
4	Piedra 3/4" Huso	La Poderosa	2761	0.68	6.56	1454	1654	0.36	0.59
5	Piedra 1" Huso 5	La Poderosa	2810	0.54	7.62	1444	1625	0.27	0.55
6	Neoplast 8500 HP	QSI	1101						
7	Euco WR 75	QSI	1156						

2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO									
N ^a	Características del Concreto	280							
		280							
1	FC	335							
2	a/c	0.549							
3	Rf	0.46							
4	MC	4.92							

3. DISEÑO EN SECO									
N ^a	MATERIAL	280							
		PESO SSS		PESO SECO	PESO HUMEDO (OBRA)	TANDA			
		Wsss	Vsss				0.033		
1	Cemento YURA Tipo HE	335	0.11167	335	335	11.06			
3	Agua	184	0.1839	184	196	6.45			
4	Arena	865	0.3324	851	856	28.26			
5	Piedra 3/4" Huso	862	0.3122	856	859	28.36			
6	Piedra 1" Huso 5	219	0.0780	218	219	7.22			
8	Neoplast 8500 HP	1.07	0.0010	1.07	1.07	35.38			
9	Euco WR 75	1.01	0.0009	1.01	1.01	33.17			
PESO TOTAL		2467	1.0200	2447	2467	149.88			

Fuente: Elaboración Propia

3.3. PROCEDIMIENTO DE MEZCLA

PESAJE DE MATERIALES

El pesaje de materiales fue determinado en dos tipos de balanzas, una industrial y una de alta precisión, estos pesos fueron determinados por el volumen de muestra, diseño de mezcla y tipo de cemento.

PORCENTAJE DE HUMEDAD

Los porcentajes de humedad en los agregados fueron calculados diariamente antes de empezar los diseños, con la finalidad de hacer la corrección en el peso de agua.

MORTERO

Para el mortero se incorpora en el siguiente orden: primero el agregado fino con la incorporación progresiva de agua en un 80% aproximadamente, para posteriormente incorporar el cemento.

INCORPORACIÓN DE NEOPLAST 8500 HP

Después de generar una pasta uniforme se incorpora el neoplast 8 500 hp (súper plastificante), disuelto en agua (se usa un poco del agua restante del diseño). Se mezcla hasta que el aditivo reaccione.

INCORPORACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El agregado grueso se incorpora después que el súper plastificante haya reaccionado en el mortero.

INCORPORACIÓN DE EUCO WR-75

Después que el agregado grueso se uniformizo en la mezcla, se procede a incorporar el Euco wr-75 (retardante de fragua). Se mezcla hasta que el aditivo haga reacción.

3.4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Para las mediciones de temperaturas, se empleó un instrumento llamado Termocupla que es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. Las aleaciones de Termocupla están comunmente disponibles como alambre. Dicho instrumento fue proporcionado por la empresa y contaba con el certificado y calibraciones respectivas.

3.5. REGISTRO DE DATOS DE LABORATORIO

Por una cuestión de espacio en el informe, se está considerando para esta presentación información en las tablas que presentamos como:

- a. % de humedad.
- b. Temperatura inicial del agregado en grados Celcius - T°I° Agregados.
- c. Asentamiento – Slump.
- d. Temperatura inicial del Concreto en grados Celcius - T°I° Concreto.
- e. Temperatura inicial del Ambiente en grados Celcius - T°I° Ambiente.
- f. Humedad Relativa – H.R.
- g. Resistencias en Kg/cm² – para los 7, 14 y 28 días de edad.

Los datos registrados por la termocupla, contiene los registros por fecha y el equipo empleado registró estas temperaturas en grados Celcius cada 10 minutos. Para llevar la secuencia continúa del registro de la temperatura, el equipo considera mediciones en intervalos de 600 segundos. Los cables embebidos en el concreto fueron introduciendo tubos muy delgados de aluminio, este material es por excelencia un metal que permite transmitir el calor. La termocupla permitía realizar cuatro registros de manera simultánea, ya que contaba con cuatro terminales (cables); estos están designados con la siguiente nomenclatura en la tabla.

- a. T1K. Cable ubicado cerca del encofrado en la viga del concreto.
- b. T2K. Cable ubicado en el centro de la viga del concreto.
- c. T3K. Cable ubicado en centro de una probeta cilíndrica de concreto.
- d. T4K. Cable ubicado para medir la temperatura ambiente.

Para la confiabilidad de la investigación, se ha considerado cinco muestras para cada tipo de cemento según su resistencia; al final, se ha procedido sacar la media de estas mediciones. La hora de inicio de los ensayos fue aproximada y estaba supeditada a la disponibilidad del laboratorio de Supermix; sin embargo, se ha procurado tener un patrón de inicio comprendido entre las 14:00 y 16:30 horas. En algunos casos cuando los resultados de las mediciones salían del promedio estos datos no se consideraron. Para facilidad del informe, solo presentaremos los resultados del concreto $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con cemento Tipo I, el resto de información será incluida en un CD; el método aplicado es el mismo para todos los concretos considerados en la Tabla N° 1 (pág.7).

Tabla 25
Datos del diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm² para cemento tipo I

Fuente: Elaboración Propia

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION						
	HUMEDAD						T°I° AGREGADOS °C	RESISTENCIA	SLUMP"	T°I° CONCRETO	T°I° AMBIENTE	H.R.	7 días			28 días		
		P1	P2	H	A.G. 1'	25.4	f'c=210	6	22.5	23.1	<20%	FECHA	21/09/2017		FECHA	12/10/2017		
14/09/2017	A.G. 1'	1.502	1.498	0.27	A.G. 3/4'	21.4						308	294	295	414	423	407	
	A.G. 3/4'	1.68	1.674	0.36	A. FINO	24												
	A. FINO	0.500	0.497	0.60	AGUA	17.7												
					CEMENTO	22.8												

Tabla 26
Datos del diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm² para cemento tipo I

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION						
	HUMEDAD						T°I° AGREGADOS °C	RESISTENCIA	SLUMP"	T°I° CONCRETO	T°I° AMBIENTE	H.R.	7 días			28 días		
		P1	P2	H	A.G. 1'	24.5	f'c=280	7	24.9	27.5	<20%	FECHA	03/10/2017		FECHA	24/10/2017		
26/09/2017	A.G. 1'	1.6	1.598	0.13	A.G. 3/4'	23.4						297	292	291	419	415	406	
	A.G. 3/4'	1.577	1.574	0.19	A.FINO	24												
	A.FINO	0.522	0.518	0.77	AGUA	23												
					CEMENTO	24.3												

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27
Datos del diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm² para cemento tipo IP

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION					
										7 días			28 días				
	HUMEDAD				T°I° AGREGADOS °C		RESISTENCIA	SLUMP"	T°I° CONCRETO	T°I° AMBIENTE	H.R.	FECHA	13/07/2017		FECHA	03/08/2017	
06/07/2017		P1	P2	H	A.G. 1'	12.3	f'c=210	4.8	19.9	26	<20%	276	308	298	415	421	385
	A.G. 1'	1.500	1.497	0.20	A.G. 3/4'	12.1											
	A.G. 3/4'	1.217	1.206	0.91	A.FINO	11.7											
	A.FINO	0.521	0.512	1.76	AGUA	9.8											
					CEMENTO	25											

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28
Datos para el diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm² para cemento tipo IP

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION					
										7 días			28 días				
	HUMEDAD				T°I° AGREGADOS °C		RESISTENCIA	SLUMP"	T°I° CONCRETO	T°I° AMBIENTE	H.R.	FECHA	18/07/2017		FECHA	08/08/2017	
11/07/2017		P1	P2	H	A.G. 1'	9.3	f'c=280	4	20.1	26.3	<20%	359	359	367	448	452	480
	A.G. 1'	1.433	1.430	0.21	A.G. 3/4'	11.8											
	A.G. 3/4'	1.011	1.001	1.00	A.FINO	11.4											
	A.FINO	0.600	0.589	1.87	AGUA	10.4											
					CEMENTO	24.3											

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29
Datos del diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm² para cemento tipo HE

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION						
	HUMEDAD						T° AGREGADOS °C	RESISTENCIA	SLUMP"	T° CONCRETO	T° AMBIENTE	H.R.	7 días			28 días		
		P1	P2	H	A.G. 1'	16.0							FECHA	14/08/2017	FECHA	04/09/2017		
07/08/2017	A.G. 1'	1.206	1.202	0.33	A.G. 3/4'	16.3	f'c=210	4.5	19.9	26.9	<20%	359	359	367	448	452	480	
	A.G. 3/4'	1.113	1.108	0.45	A.FINO	17.2												
	A.FINO	0.692	0.681	1.62	AGUA	14.8												
					CEMENTO	26.1												

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30
Datos del diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm² para cemento tipo HE

FECHA												ENSAYO DE COMPRESION						
	HUMEDAD						T° AGREGADOS °C	RESISTENCIA	SLUMP"	T° CONCRETO	T° AMBIENTE	H.R.	7 días			28 días		
		P1	P2	H	A.G. 1'	13.8							FECHA	15/08/2017	FECHA	05/09/2017		
08/08/2017	A.G. 1'	1.5	1.497	0.20	A.G. 3/4'	14.0	f'c=280	8	20.1	24.8	<20%	267	252	258	349	398	362	
	A.G. 3/4'	1.445	1.439	0.42	A.FINO	15.3												
	A.FINO	0.509	0.503	1.19	AGUA	19.2												
					CEMENTO	26.1												

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31
Temperaturas durante 24 h, para concreto f'c=210 kg/cm2 elaborado con cemento Tipo I
en la tabla se registra el (1/5 ensayo)

SETIEMBRE		ENCOF. VIG.		CENTRO VIG.		PROBETA		AMBIENTE	
DIA	HORA	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.
19	0.00	22.2	T1 K	22.3	T2 K	23.1	T3 K	27.9	T4 K
19	600.00	22	T1 K	22.2	T2 K	22.5	T3 K	27.2	T4 K
19	1200.00	22	T1 K	22.2	T2 K	22.4	T3 K	25.3	T4 K
19	1800.00	22	T1 K	22.3	T2 K	22.4	T3 K	25.7	T4 K
19	2400.00	22	T1 K	22.3	T2 K	22.3	T3 K	24.8	T4 K
19	3000.00	22.1	T1 K	22.3	T2 K	22.5	T3 K	23.7	T4 K
19	3600.00	21.9	T1 K	22.2	T2 K	22.5	T3 K	23	T4 K
19	4200.00	21.8	T1 K	22	T2 K	22.4	T3 K	22.2	T4 K
19	4800.00	21.6	T1 K	21.9	T2 K	22.2	T3 K	21.5	T4 K
19	5400.00	21.4	T1 K	21.6	T2 K	22	T3 K	21.1	T4 K
19	6000.00	21.2	T1 K	21.5	T2 K	21.7	T3 K	20.8	T4 K
19	6600.00	21	T1 K	21.3	T2 K	21.5	T3 K	20.3	T4 K
19	7200.00	20.8	T1 K	21.1	T2 K	21.4	T3 K	20.2	T4 K
19	7800.00	20.6	T1 K	20.9	T2 K	21.1	T3 K	19.7	T4 K
19	8400.00	20.5	T1 K	20.7	T2 K	20.8	T3 K	19.4	T4 K
19	9000.00	20.3	T1 K	20.6	T2 K	20.7	T3 K	19.4	T4 K
19	9600.00	20.2	T1 K	20.4	T2 K	20.5	T3 K	19.1	T4 K
19	10200.00	19.9	T1 K	20.2	T2 K	20.2	T3 K	18.9	T4 K
19	10800.00	19.7	T1 K	20	T2 K	20	T3 K	18.8	T4 K
19	11400.00	19.6	T1 K	19.8	T2 K	19.8	T3 K	18.4	T4 K
19	12000.00	19.5	T1 K	19.6	T2 K	19.6	T3 K	18.2	T4 K
19	12600.00	19.3	T1 K	19.4	T2 K	19.4	T3 K	18.1	T4 K
19	13200.00	19.2	T1 K	19.4	T2 K	19.3	T3 K	18.2	T4 K
19	13800.00	18.9	T1 K	19.3	T2 K	19.1	T3 K	17.8	T4 K
19	14400.00	18.9	T1 K	19.1	T2 K	19	T3 K	17.8	T4 K
19	15000.00	18.7	T1 K	19	T2 K	18.9	T3 K	17.8	T4 K
19	15600.00	18.6	T1 K	18.8	T2 K	18.6	T3 K	17.6	T4 K
19	16200.00	18.4	T1 K	18.7	T2 K	18.5	T3 K	17.3	T4 K
19	16800.00	18.3	T1 K	18.6	T2 K	18.4	T3 K	17.2	T4 K
19	17400.00	18.1	T1 K	18.3	T2 K	18.2	T3 K	17	T4 K
19	18000.00	18	T1 K	18.2	T2 K	18.1	T3 K	16.9	T4 K
19	18600.00	17.9	T1 K	18.1	T2 K	17.9	T3 K	16.9	T4 K
19	19200.00	17.8	T1 K	18	T2 K	17.8	T3 K	16.6	T4 K
19	19800.00	17.7	T1 K	17.9	T2 K	17.7	T3 K	16.5	T4 K
19	20400.00	17.6	T1 K	17.8	T2 K	17.6	T3 K	16.6	T4 K
19	21000.00	17.5	T1 K	17.7	T2 K	17.6	T3 K	16.5	T4 K
19	21600.00	17.4	T1 K	17.6	T2 K	17.5	T3 K	16.3	T4 K
19	22200.00	17.4	T1 K	17.5	T2 K	17.4	T3 K	16.3	T4 K
19	22800.00	17.2	T1 K	17.4	T2 K	17.2	T3 K	15.9	T4 K

19	23400.00	17.1	T1 K	17.3	T2 K	17.1	T3 K	15.9	T4 K
19	24000.00	17	T1 K	17.1	T2 K	16.9	T3 K	16	T4 K
19	24600.00	16.9	T1 K	17.1	T2 K	16.9	T3 K	15.9	T4 K
19	25200.00	16.8	T1 K	17	T2 K	16.7	T3 K	16.2	T4 K
19	25800.00	16.8	T1 K	17	T2 K	16.7	T3 K	16.3	T4 K
19	26400.00	16.7	T1 K	16.8	T2 K	16.6	T3 K	16.4	T4 K
20	27000.00	16.7	T1 K	16.8	T2 K	16.5	T3 K	16.5	T4 K
20	27600.00	16.6	T1 K	16.8	T2 K	16.5	T3 K	16.7	T4 K
20	28200.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.6	T4 K
20	28800.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.5	T4 K
20	29400.00	16.4	T1 K	16.6	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
20	30000.00	16.5	T1 K	16.6	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
20	30600.00	16.4	T1 K	16.5	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
20	31200.00	16.4	T1 K	16.5	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
20	31800.00	16.3	T1 K	16.4	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
20	32400.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
20	33000.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.3	T4 K
20	33600.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.3	T4 K
20	34200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
20	34800.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.5	T4 K
20	35400.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.5	T4 K
20	36000.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
20	36600.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
20	37200.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.4	T3 K	16.3	T4 K
20	37800.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.2	T4 K
20	38400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
20	39000.00	16.1	T1 K	16.2	T2 K	16.4	T3 K	16.2	T4 K
20	39600.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
20	40200.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
20	40800.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.3	T4 K
20	41400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.1	T4 K
20	42000.00	16.1	T1 K	16.2	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
20	42600.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
20	43200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.6	T3 K	16.4	T4 K
20	43800.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.6	T3 K	16.3	T4 K
20	44400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.7	T3 K	16.2	T4 K
20	45000.00	16.3	T1 K	16.4	T2 K	16.8	T3 K	16.4	T4 K
20	45600.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.8	T3 K	16.2	T4 K
20	46200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.8	T3 K	16.1	T4 K
20	46800.00	16.3	T1 K	16.4	T2 K	17	T3 K	16.4	T4 K
20	47400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.9	T3 K	16.2	T4 K
20	48000.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.9	T3 K	16.2	T4 K
20	48600.00	16.2	T1 K	16.4	T2 K	16.9	T3 K	16.4	T4 K
20	49200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.9	T3 K	16.4	T4 K

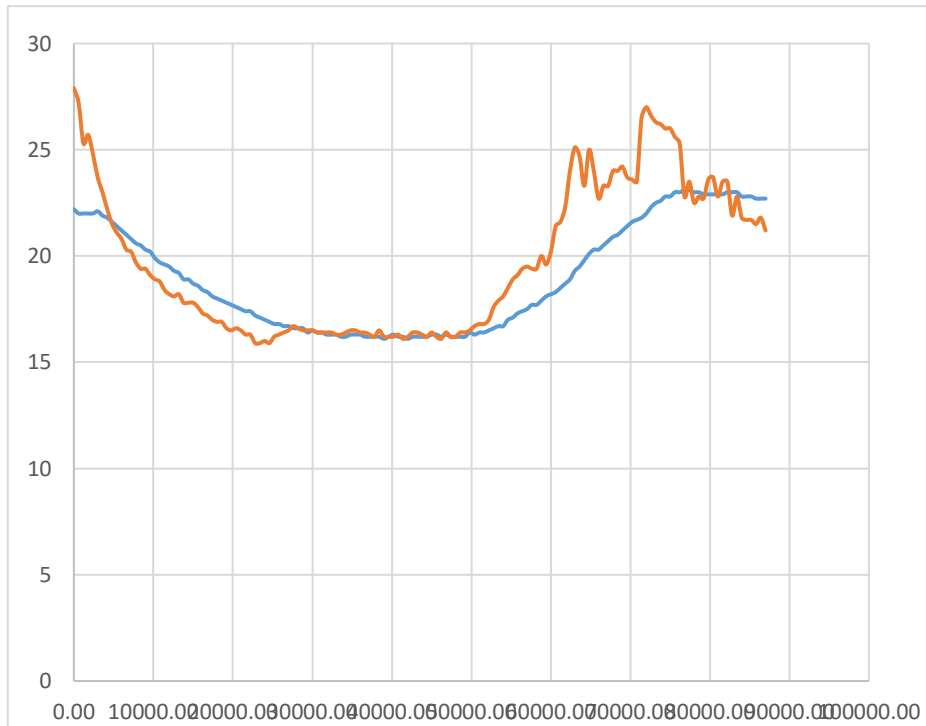
20	49800.00	16.4	T1 K	16.5	T2 K	17.1	T3 K	16.5	T4 K
20	50400.00	16.3	T1 K	16.4	T2 K	17.1	T3 K	16.7	T4 K
20	51000.00	16.4	T1 K	16.5	T2 K	17.1	T3 K	16.8	T4 K
20	51600.00	16.4	T1 K	16.5	T2 K	17.1	T3 K	16.8	T4 K
20	52200.00	16.5	T1 K	16.5	T2 K	17.2	T3 K	17	T4 K
20	52800.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	17.4	T3 K	17.6	T4 K
20	53400.00	16.7	T1 K	16.8	T2 K	17.5	T3 K	17.9	T4 K
20	54000.00	16.7	T1 K	16.9	T2 K	17.6	T3 K	18.1	T4 K
20	54600.00	17	T1 K	17.1	T2 K	17.8	T3 K	18.5	T4 K
20	55200.00	17.1	T1 K	17.2	T2 K	18	T3 K	18.9	T4 K
20	55800.00	17.3	T1 K	17.4	T2 K	18.1	T3 K	19.1	T4 K
20	56400.00	17.4	T1 K	17.6	T2 K	18.4	T3 K	19.4	T4 K
20	57000.00	17.5	T1 K	17.7	T2 K	18.6	T3 K	19.5	T4 K
20	57600.00	17.7	T1 K	17.9	T2 K	18.9	T3 K	19.4	T4 K
20	58200.00	17.7	T1 K	17.9	T2 K	19	T3 K	19.4	T4 K
20	58800.00	17.9	T1 K	18	T2 K	19.2	T3 K	20	T4 K
20	59400.00	18.1	T1 K	18.2	T2 K	19.4	T3 K	19.6	T4 K
20	60000.00	18.2	T1 K	18.4	T2 K	19.5	T3 K	20.2	T4 K
20	60600.00	18.3	T1 K	18.5	T2 K	19.5	T3 K	21.4	T4 K
20	61200.00	18.5	T1 K	18.8	T2 K	19.8	T3 K	21.6	T4 K
20	61800.00	18.7	T1 K	18.9	T2 K	20	T3 K	22.3	T4 K
20	62400.00	18.9	T1 K	19.2	T2 K	20.3	T3 K	24	T4 K
20	63000.00	19.3	T1 K	19.5	T2 K	20.6	T3 K	25.1	T4 K
20	63600.00	19.5	T1 K	19.7	T2 K	21	T3 K	24.7	T4 K
20	64200.00	19.8	T1 K	20	T2 K	21.8	T3 K	23.3	T4 K
20	64800.00	20.1	T1 K	20.2	T2 K	21.8	T3 K	25	T4 K
20	65400.00	20.3	T1 K	20.4	T2 K	22.3	T3 K	24	T4 K
20	66000.00	20.3	T1 K	20.6	T2 K	22.6	T3 K	22.7	T4 K
20	66600.00	20.5	T1 K	20.7	T2 K	22.7	T3 K	23.3	T4 K
20	67200.00	20.7	T1 K	20.9	T2 K	22.8	T3 K	23.3	T4 K
20	67800.00	20.9	T1 K	21.1	T2 K	23	T3 K	24	T4 K
20	68400.00	21	T1 K	21.3	T2 K	23.3	T3 K	24	T4 K
20	69000.00	21.2	T1 K	21.5	T2 K	23.5	T3 K	24.2	T4 K
20	69600.00	21.4	T1 K	21.7	T2 K	23.8	T3 K	23.7	T4 K
20	70200.00	21.6	T1 K	21.9	T2 K	24.1	T3 K	23.6	T4 K
20	70800.00	21.7	T1 K	22	T2 K	24.1	T3 K	23.5	T4 K
20	71400.00	21.8	T1 K	22.1	T2 K	23.8	T3 K	26.5	T4 K
20	72000.00	22	T1 K	22.4	T2 K	24	T3 K	27	T4 K
20	72600.00	22.3	T1 K	22.6	T2 K	24.5	T3 K	26.6	T4 K
20	73200.00	22.5	T1 K	22.7	T2 K	24.7	T3 K	26.3	T4 K
20	73800.00	22.6	T1 K	22.9	T2 K	25	T3 K	26.2	T4 K
20	74400.00	22.8	T1 K	23	T2 K	25.2	T3 K	26	T4 K
20	75000.00	22.8	T1 K	23.1	T2 K	25.3	T3 K	26	T4 K
20	75600.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25.5	T3 K	25.6	T4 K

20	76200.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25.6	T3 K	25.3	T4 K
20	76800.00	23.1	T1 K	23.4	T2 K	25.9	T3 K	22.8	T4 K
20	77400.00	23.1	T1 K	23.4	T2 K	25.8	T3 K	23.5	T4 K
20	78000.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25.6	T3 K	22.5	T4 K
20	78600.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25.5	T3 K	22.8	T4 K
20	79200.00	22.9	T1 K	23.3	T2 K	25.3	T3 K	22.7	T4 K
20	79800.00	22.9	T1 K	23.3	T2 K	25.1	T3 K	23.6	T4 K
20	80400.00	22.9	T1 K	23.3	T2 K	25.1	T3 K	23.7	T4 K
20	81000.00	22.9	T1 K	23.3	T2 K	25.1	T3 K	22.8	T4 K
20	81600.00	22.9	T1 K	23.3	T2 K	25.1	T3 K	23.5	T4 K
20	82200.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25	T3 K	23.5	T4 K
20	82800.00	23	T1 K	23.3	T2 K	25	T3 K	21.9	T4 K
20	83400.00	23	T1 K	23.3	T2 K	24.9	T3 K	22.8	T4 K
20	84000.00	22.8	T1 K	23.2	T2 K	24.7	T3 K	21.8	T4 K
20	84600.00	22.8	T1 K	23.2	T2 K	24.6	T3 K	21.7	T4 K
20	85200.00	22.8	T1 K	23.1	T2 K	24.4	T3 K	21.7	T4 K
20	85800.00	22.7	T1 K	23	T2 K	24.3	T3 K	21.5	T4 K
20	86400.00	22.7	T1 K	23	T2 K	24.1	T3 K	21.8	T4 K
20	87000.00	22.7	T1 K	22.9	T2 K	24	T3 K	21.2	T4 K

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 4
Curva de comportamiento térmico

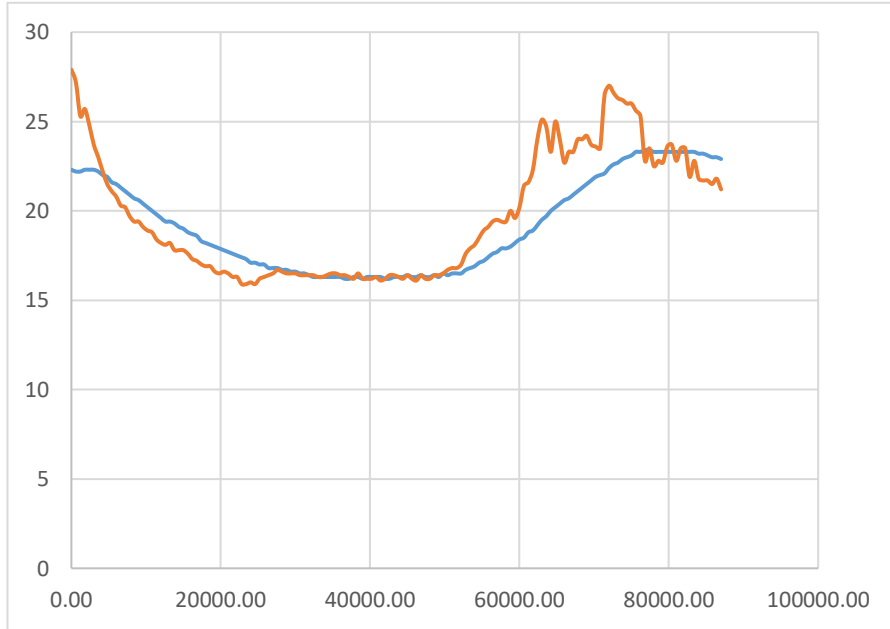
En color azul la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (1/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 5
Curva de comportamiento térmico

En color azul la variación de la temperatura registrada en T2 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (1/5 ensayo)

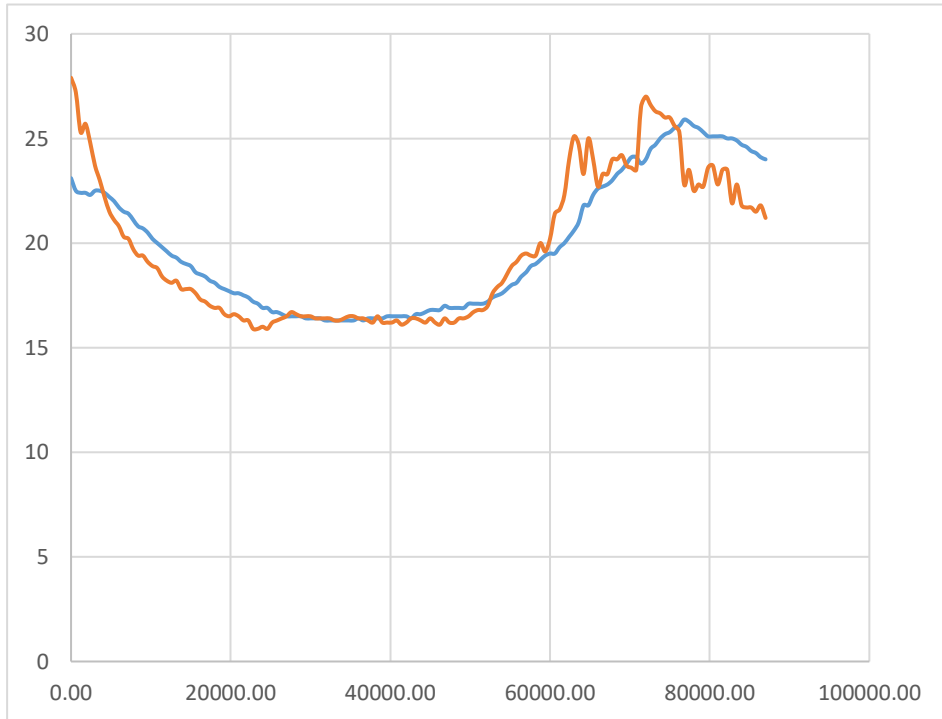


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 6

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T3 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (1/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32
Temperaturas durante 24 horas, para concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento
Tipo I la tabla registra el promedio (2/5 ensayo)

MES: SETIEMBRE		ENCOF. VIGA		CENTRO VIGA		PROBETA		AMBIENTE	
DIA	HORA	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.
26	0.00	20.9	T1 K	27.1	T2 K	22.6	T3 K	26.8	T4 K
26	600.00	21.8	T1 K	22.8	T2 K	22.4	T3 K	25.3	T4 K
26	1200.00	21.7	T1 K	22.6	T2 K	22.3	T3 K	24.6	T4 K
26	1800.00	21.5	T1 K	22.4	T2 K	22.1	T3 K	23.9	T4 K
26	2400.00	21.3	T1 K	22.2	T2 K	22	T3 K	23.6	T4 K
26	3000.00	21.3	T1 K	22.1	T2 K	22	T3 K	23.4	T4 K
26	3600.00	21.2	T1 K	21.9	T2 K	21.9	T3 K	23.1	T4 K
26	4200.00	21	T1 K	21.7	T2 K	21.8	T3 K	22.7	T4 K
26	4800.00	20.8	T1 K	21.5	T2 K	21.6	T3 K	22.5	T4 K
26	5400.00	20.7	T1 K	21.3	T2 K	21.4	T3 K	22.1	T4 K
26	6000.00	20.6	T1 K	21.3	T2 K	21.4	T3 K	22	T4 K
26	6600.00	20.6	T1 K	21.1	T2 K	21.3	T3 K	21.9	T4 K
26	7200.00	20.6	T1 K	20.9	T2 K	21.3	T3 K	21.7	T4 K
26	7800.00	20.5	T1 K	20.8	T2 K	21.3	T3 K	21.5	T4 K
26	8400.00	20.4	T1 K	20.7	T2 K	21.1	T3 K	21.3	T4 K
26	9000.00	20.3	T1 K	20.5	T2 K	21	T3 K	21	T4 K
26	9600.00	20.1	T1 K	20.3	T2 K	20.8	T3 K	20.8	T4 K
26	10200.00	19.9	T1 K	20.1	T2 K	20.7	T3 K	20.6	T4 K
26	10800.00	19.7	T1 K	19.9	T2 K	20.5	T3 K	20.4	T4 K
26	11400.00	19.7	T1 K	19.8	T2 K	20.4	T3 K	20.3	T4 K
26	12000.00	19.5	T1 K	19.6	T2 K	20.3	T3 K	20.2	T4 K
26	12600.00	19.4	T1 K	19.5	T2 K	20.1	T3 K	20	T4 K
26	13200.00	19.3	T1 K	19.4	T2 K	20	T3 K	19.8	T4 K
26	13800.00	19.1	T1 K	19.3	T2 K	19.8	T3 K	19.7	T4 K
26	14400.00	19	T1 K	19.1	T2 K	19.7	T3 K	19.6	T4 K
26	15000.00	19	T1 K	19	T2 K	19.6	T3 K	19.5	T4 K
26	15600.00	18.9	T1 K	19	T2 K	19.5	T3 K	19.4	T4 K
26	16200.00	18.8	T1 K	18.8	T2 K	20.1	T3 K	19	T4 K
26	16800.00	18.6	T1 K	18.8	T2 K	19.3	T3 K	18.8	T4 K
26	17400.00	18.5	T1 K	18.6	T2 K	19.1	T3 K	18.6	T4 K
26	18000.00	18.4	T1 K	18.5	T2 K	19	T3 K	18.5	T4 K
26	18600.00	18.3	T1 K	18.4	T2 K	18.9	T3 K	18.4	T4 K
26	19200.00	18.3	T1 K	18.3	T2 K	18.8	T3 K	18.3	T4 K
26	19800.00	18.3	T1 K	18.3	T2 K	18.8	T3 K	18.3	T4 K
26	20400.00	18.2	T1 K	18.2	T2 K	18.7	T3 K	18.2	T4 K
26	21000.00	18.1	T1 K	18.1	T2 K	18.6	T3 K	18.2	T4 K
26	21600.00	18.1	T1 K	18.1	T2 K	18.6	T3 K	18.3	T4 K
26	22200.00	18	T1 K	18	T2 K	18.4	T3 K	18.2	T4 K

26	22800.00	18	T1 K	18	T2 K	18.4	T3 K	18.2	T4 K
26	23400.00	17.9	T1 K	17.9	T2 K	18.3	T3 K	18.1	T4 K
26	24000.00	17.8	T1 K	17.8	T2 K	18.2	T3 K	18	T4 K
26	24600.00	17.7	T1 K	17.7	T2 K	18.1	T3 K	17.9	T4 K
26	25200.00	17.7	T1 K	17.7	T2 K	18.1	T3 K	17.9	T4 K
26	25800.00	17.6	T1 K	17.6	T2 K	18	T3 K	17.9	T4 K
26	26400.00	17.5	T1 K	17.5	T2 K	17.9	T3 K	17.8	T4 K
26	27000.00	17.5	T1 K	17.5	T2 K	17.8	T3 K	17.7	T4 K
27	27600.00	17.5	T1 K	17.5	T2 K	17.8	T3 K	17.6	T4 K
27	28200.00	17.4	T1 K	17.4	T2 K	17.7	T3 K	17.5	T4 K
27	28800.00	17.4	T1 K	17.4	T2 K	17.6	T3 K	17.3	T4 K
27	29400.00	17.3	T1 K	17.3	T2 K	17.5	T3 K	17.3	T4 K
27	30000.00	17.2	T1 K	17.2	T2 K	17.4	T3 K	17.1	T4 K
27	30600.00	17.1	T1 K	17.1	T2 K	17.3	T3 K	16.9	T4 K
27	31200.00	17.1	T1 K	17.1	T2 K	17.3	T3 K	16.9	T4 K
27	31800.00	17.1	T1 K	17.1	T2 K	17.3	T3 K	16.9	T4 K
27	32400.00	17	T1 K	17	T2 K	17.2	T3 K	16.7	T4 K
27	33000.00	17	T1 K	17	T2 K	17.1	T3 K	16.8	T4 K
27	33600.00	16.9	T1 K	16.9	T2 K	17	T3 K	16.7	T4 K
27	34200.00	16.8	T1 K	16.8	T2 K	16.9	T3 K	16.6	T4 K
27	34800.00	16.8	T1 K	16.8	T2 K	16.9	T3 K	16.5	T4 K
27	35400.00	16.8	T1 K	16.8	T2 K	16.9	T3 K	16.5	T4 K
27	36000.00	16.8	T1 K	16.8	T2 K	16.8	T3 K	16.4	T4 K
27	36600.00	16.7	T1 K	16.7	T2 K	16.7	T3 K	16.3	T4 K
27	37200.00	16.7	T1 K	16.7	T2 K	16.7	T3 K	16.2	T4 K
27	37800.00	16.7	T1 K	16.8	T2 K	16.7	T3 K	16.3	T4 K
27	38400.00	16.7	T1 K	16.7	T2 K	16.6	T3 K	16.3	T4 K
27	39000.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.6	T3 K	16.3	T4 K
27	39600.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.3	T4 K
27	40200.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.4	T4 K
27	40800.00	16.6	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.4	T4 K
27	41400.00	16.5	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.3	T4 K
27	42000.00	16.5	T1 K	16.7	T2 K	16.5	T3 K	16.3	T4 K
27	42600.00	16.5	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.2	T4 K
27	43200.00	16.5	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.1	T4 K
27	43800.00	16.4	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.1	T4 K
27	44400.00	16.5	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
27	45000.00	16.5	T1 K	16.8	T2 K	16.6	T3 K	16.2	T4 K
27	45600.00	16.6	T1 K	16.9	T2 K	16.6	T3 K	16.2	T4 K
27	46200.00	16.7	T1 K	17.1	T2 K	16.7	T3 K	16.4	T4 K
27	46800.00	16.8	T1 K	17.2	T2 K	16.8	T3 K	16.4	T4 K
27	47400.00	16.8	T1 K	17.4	T2 K	16.8	T3 K	16.5	T4 K
27	48000.00	16.9	T1 K	17.6	T2 K	16.8	T3 K	16.7	T4 K
27	48600.00	17	T1 K	17.7	T2 K	17	T3 K	16.8	T4 K

27	49200.00	17.1	T1 K	17.9	T2 K	16.9	T3 K	16.8	T4 K
27	49800.00	17.2	T1 K	17.9	T2 K	16.9	T3 K	17	T4 K
27	50400.00	17.2	T1 K	18	T2 K	16.9	T3 K	17.6	T4 K
27	51000.00	17.3	T1 K	18.2	T2 K	16.9	T3 K	17.9	T4 K
27	51600.00	17.3	T1 K	18.4	T2 K	17.1	T3 K	18.1	T4 K
27	52200.00	17.4	T1 K	18.5	T2 K	17.1	T3 K	18.5	T4 K
27	52800.00	17.4	T1 K	18.8	T2 K	17.1	T3 K	18.9	T4 K
27	53400.00	17.4	T1 K	18.9	T2 K	17.1	T3 K	19.1	T4 K
27	54000.00	17.5	T1 K	19.2	T2 K	17.2	T3 K	19.4	T4 K
27	54600.00	17.6	T1 K	19.5	T2 K	17.4	T3 K	19.5	T4 K
27	55200.00	17.6	T1 K	19.7	T2 K	17.5	T3 K	19.4	T4 K
27	55800.00	17.5	T1 K	20	T2 K	17.6	T3 K	19.4	T4 K
27	56400.00	17.5	T1 K	20.2	T2 K	17.8	T3 K	20	T4 K
27	57000.00	17.5	T1 K	20.4	T2 K	18	T3 K	19.6	T4 K
27	57600.00	17.5	T1 K	20.6	T2 K	18.1	T3 K	20.2	T4 K
27	58200.00	17.5	T1 K	20.7	T2 K	18.4	T3 K	21.4	T4 K
27	58800.00	17.5	T1 K	20.9	T2 K	18.6	T3 K	21.6	T4 K
27	59400.00	17.4	T1 K	21.1	T2 K	18.9	T3 K	22.3	T4 K
27	60000.00	17.4	T1 K	21.3	T2 K	19	T3 K	24	T4 K
27	60600.00	17.4	T1 K	21.5	T2 K	19.2	T3 K	25.1	T4 K
27	61200.00	17.3	T1 K	21.7	T2 K	19.4	T3 K	24.7	T4 K
27	61800.00	17.4	T1 K	21.9	T2 K	19.5	T3 K	23.3	T4 K
27	62400.00	17.5	T1 K	22	T2 K	19.5	T3 K	25	T4 K
27	63000.00	17.4	T1 K	22.1	T2 K	19.8	T3 K	24	T4 K
27	63600.00	17.4	T1 K	22.4	T2 K	20	T3 K	22.7	T4 K
27	64200.00	17.5	T1 K	22.6	T2 K	20.3	T3 K	23.3	T4 K
27	64800.00	17.6	T1 K	22.7	T2 K	20.6	T3 K	23.3	T4 K
27	65400.00	17.6	T1 K	22.9	T2 K	21	T3 K	24	T4 K
27	66000.00	17.6	T1 K	23	T2 K	21.8	T3 K	24	T4 K
27	66600.00	17.7	T1 K	23.1	T2 K	21.8	T3 K	24.2	T4 K
27	67200.00	17.8	T1 K	23.3	T2 K	22.3	T3 K	23.7	T4 K
27	67800.00	17.8	T1 K	23.3	T2 K	22.6	T3 K	23.6	T4 K
27	68400.00	18	T1 K	23.4	T2 K	22.7	T3 K	23.5	T4 K
27	69000.00	18	T1 K	23.4	T2 K	22.8	T3 K	26.5	T4 K
27	69600.00	18	T1 K	23.3	T2 K	23	T3 K	27	T4 K
27	70200.00	18.1	T1 K	23.3	T2 K	23.3	T3 K	26.6	T4 K
27	70800.00	18.2	T1 K	23.3	T2 K	23.5	T3 K	26.3	T4 K
27	71400.00	18.2	T1 K	23.3	T2 K	23.8	T3 K	26.2	T4 K
27	72000.00	18.2	T1 K	23.3	T2 K	24.1	T3 K	26	T4 K
27	72600.00	18.4	T1 K	23.3	T2 K	24.1	T3 K	26	T4 K
27	73200.00	18.4	T1 K	23.3	T2 K	23.8	T3 K	25.6	T4 K
27	73800.00	18.4	T1 K	23.3	T2 K	24	T3 K	25.3	T4 K
27	74400.00	18.5	T1 K	23.3	T2 K	24.5	T3 K	22.8	T4 K
27	75000.00	18.6	T1 K	23.3	T2 K	24.7	T3 K	23.5	T4 K

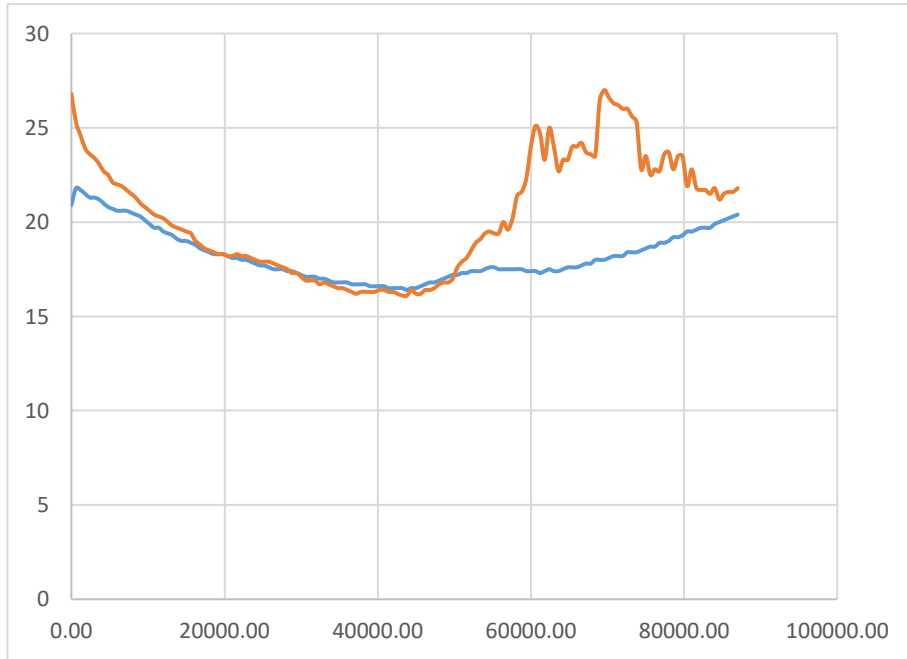
27	75600.00	18.7	T1 K	23.2	T2 K	25	T3 K	22.5	T4 K
27	76200.00	18.7	T1 K	23.2	T2 K	25.2	T3 K	22.8	T4 K
27	76800.00	18.9	T1 K	23.1	T2 K	25.3	T3 K	22.7	T4 K
27	77400.00	18.9	T1 K	23	T2 K	25.5	T3 K	23.6	T4 K
27	78000.00	19	T1 K	23	T2 K	25.6	T3 K	23.7	T4 K
27	78600.00	19.2	T1 K	22.9	T2 K	25.9	T3 K	22.8	T4 K
27	79200.00	19.2	T1 K	22.7	T2 K	25.8	T3 K	23.5	T4 K
27	79800.00	19.3	T1 K	22.4	T2 K	25.6	T3 K	23.5	T4 K
27	80400.00	19.5	T1 K	21.9	T2 K	25.5	T3 K	21.9	T4 K
27	81000.00	19.5	T1 K	21.6	T2 K	25.3	T3 K	22.8	T4 K
27	81600.00	19.6	T1 K	21.3	T2 K	25.1	T3 K	21.8	T4 K
27	82200.00	19.7	T1 K	21.1	T2 K	25.1	T3 K	21.7	T4 K
27	82800.00	19.7	T1 K	20.8	T2 K	25.1	T3 K	21.7	T4 K
27	83400.00	19.7	T1 K	20.5	T2 K	25.1	T3 K	21.5	T4 K
27	84000.00	19.9	T1 K	20.1	T2 K	25	T3 K	21.8	T4 K
27	84600.00	20	T1 K	19.9	T2 K	25	T3 K	21.2	T4 K
27	85200.00	20.1	T1 K	19.6	T2 K	24.9	T3 K	21.5	T4 K
27	85800.00	20.2	T1 K	19.3	T2 K	24.7	T3 K	21.6	T4 K
27	86400.00	20.3	T1 K	19.1	T2 K	24.6	T3 K	21.6	T4 K
27	87000.00	20.4	T1 K	18.9	T2 K	24.4	T3 K	21.8	T4 K

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 7

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (2/5 ensayo)

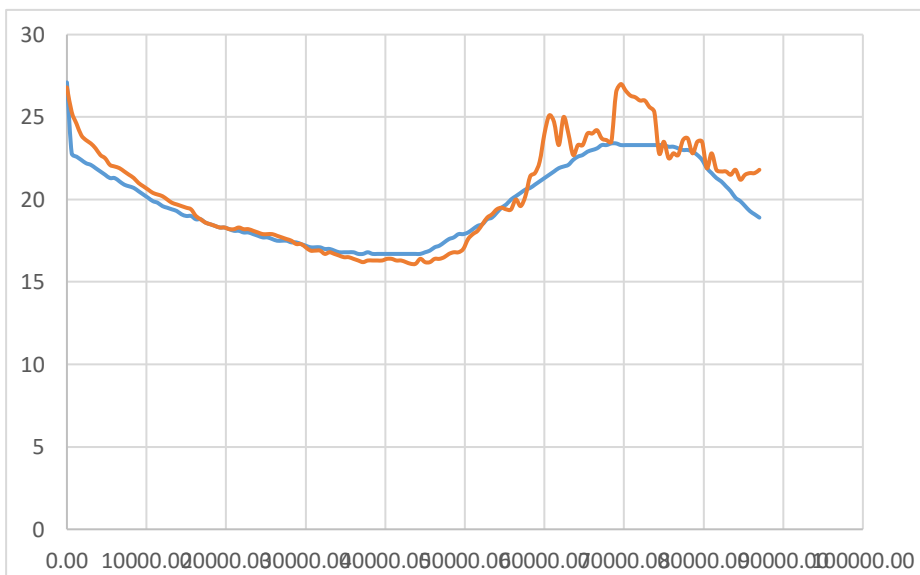


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 8

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T2 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (2/5 ensayo)

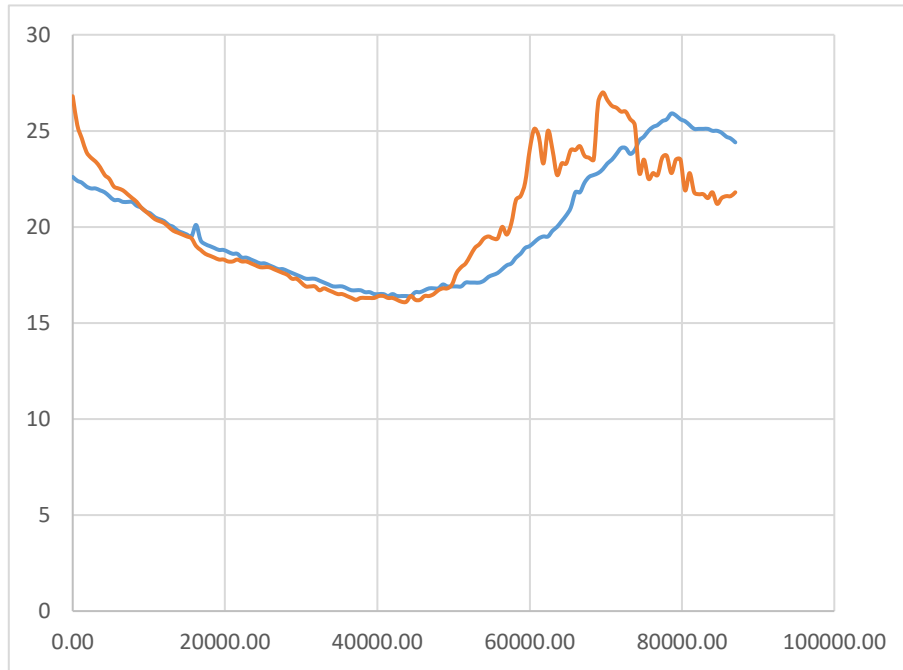


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 9

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T3 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (2/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33

Temperaturas durante 24 h, para concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento Tipo I, la tabla registra el promedio (3/5 ensayo)

MES: OCTUBRE		ENCOF. VIGA		CENTRO VIGA		PROBETA		AMBIENTE	
DIA	HORA	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.
2	0.00	26.7	T1 K	20.6	T2 K	24.8	T3 K	25	T4 K
2	600.00	30.4	T1 K	9.8	T2 K	24.7	T3 K	23.7	T4 K
2	1200.00	24.4	T1 K	25.5	T2 K	24.5	T3 K	23	T4 K
2	1800.00	16.9	T1 K	45.3	T2 K	24.3	T3 K	22.8	T4 K
2	2400.00	11.4	T1 K	58.9	T2 K	24.1	T3 K	22.6	T4 K
2	3000.00	9.4	T1 K	63.1	T2 K	23.9	T3 K	22.5	T4 K
2	3600.00	9.9	T1 K	61.2	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
2	4200.00	11.4	T1 K	56.3	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
2	4800.00	13.2	T1 K	50.4	T2 K	23.6	T3 K	22.6	T4 K
2	5400.00	15	T1 K	44.6	T2 K	23.4	T3 K	22.6	T4 K
2	6000.00	16.1	T1 K	40.7	T2 K	23.3	T3 K	22.7	T4 K
2	6600.00	17.3	T1 K	36.7	T2 K	23.2	T3 K	22.8	T4 K
2	7200.00	18.4	T1 K	32.9	T2 K	23.1	T3 K	22.8	T4 K
2	7800.00	19.1	T1 K	30.4	T2 K	23	T3 K	22.6	T4 K
2	8400.00	19.7	T1 K	28.1	T2 K	22.8	T3 K	22.6	T4 K
2	9000.00	20.1	T1 K	26.5	T2 K	22.7	T3 K	22.5	T4 K
2	9600.00	19.4	T1 K	28.2	T2 K	22.7	T3 K	22.4	T4 K
2	10200.00	18	T1 K	31.2	T2 K	22.5	T3 K	22.3	T4 K
2	10800.00	17	T1 K	33	T2 K	22.4	T3 K	22.3	T4 K
2	11400.00	16.1	T1 K	35.1	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
2	12000.00	16	T1 K	35.2	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
2	12600.00	16	T1 K	34.4	T2 K	22.1	T3 K	22.2	T4 K
2	13200.00	16.1	T1 K	34	T2 K	22	T3 K	22.1	T4 K
2	13800.00	16.3	T1 K	33.2	T2 K	21.9	T3 K	21.9	T4 K
2	14400.00	16.5	T1 K	32.1	T2 K	21.8	T3 K	21.9	T4 K
2	15000.00	16.8	T1 K	30.6	T2 K	21.7	T3 K	21.8	T4 K
2	15600.00	17.6	T1 K	28.5	T2 K	21.7	T3 K	21.6	T4 K
2	16200.00	18.1	T1 K	26.6	T2 K	21.6	T3 K	21.4	T4 K
2	16800.00	18.8	T1 K	24.1	T2 K	21.5	T3 K	21.4	T4 K
2	17400.00	19.4	T1 K	22.2	T2 K	21.4	T3 K	21.2	T4 K
2	18000.00	19.8	T1 K	21	T2 K	21.3	T3 K	21.1	T4 K
2	18600.00	19.8	T1 K	20.6	T2 K	21.1	T3 K	20.9	T4 K
2	19200.00	19.8	T1 K	20.5	T2 K	21.1	T3 K	20.8	T4 K
2	19800.00	19.7	T1 K	20.4	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
2	20400.00	19.6	T1 K	20.5	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
2	21000.00	19.5	T1 K	20.4	T2 K	20.8	T3 K	20.4	T4 K
2	21600.00	19.4	T1 K	20.4	T2 K	20.7	T3 K	20.3	T4 K
2	22200.00	19.4	T1 K	20.1	T2 K	20.6	T3 K	20.1	T4 K

2	22800.00	19.4	T1 K	20	T2 K	20.5	T3 K	20.1	T4 K
2	23400.00	19.3	T1 K	19.7	T2 K	20.4	T3 K	19.9	T4 K
2	24000.00	19.6	T1 K	19	T2 K	20.3	T3 K	19.7	T4 K
2	24600.00	19.7	T1 K	18.4	T2 K	20.2	T3 K	19.7	T4 K
2	25200.00	19.6	T1 K	18.5	T2 K	20.2	T3 K	19.6	T4 K
2	25800.00	19.5	T1 K	18.4	T2 K	20.1	T3 K	19.5	T4 K
2	26400.00	19.6	T1 K	18.1	T2 K	20.1	T3 K	19.4	T4 K
2	27000.00	19.4	T1 K	18.1	T2 K	19.9	T3 K	19.2	T4 K
2	27600.00	19.3	T1 K	18.5	T2 K	19.9	T3 K	19.1	T4 K
2	28200.00	19.2	T1 K	18.7	T2 K	19.9	T3 K	19	T4 K
2	28800.00	18.9	T1 K	18.9	T2 K	19.7	T3 K	18.8	T4 K
2	29400.00	18.7	T1 K	19.2	T2 K	19.6	T3 K	18.7	T4 K
2	30000.00	18.6	T1 K	19.3	T2 K	19.6	T3 K	18.5	T4 K
2	30600.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.5	T3 K	18.5	T4 K
2	31200.00	18.5	T1 K	19.5	T2 K	19.5	T3 K	18.4	T4 K
2	31800.00	18.5	T1 K	19.2	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
2	32400.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
3	33000.00	18.3	T1 K	19.5	T2 K	19.3	T3 K	18.1	T4 K
3	33600.00	18	T1 K	20.4	T2 K	19.3	T3 K	18	T4 K
3	34200.00	17.6	T1 K	21.1	T2 K	19.2	T3 K	17.9	T4 K
3	34800.00	17.5	T1 K	21.8	T2 K	19.2	T3 K	17.9	T4 K
3	35400.00	17.2	T1 K	22.1	T2 K	19.1	T3 K	17.7	T4 K
3	36000.00	17.1	T1 K	22.4	T2 K	19.1	T3 K	17.6	T4 K
3	36600.00	16.9	T1 K	22.8	T2 K	19.1	T3 K	17.4	T4 K
3	37200.00	16.8	T1 K	23.2	T2 K	19	T3 K	17.4	T4 K
3	37800.00	16.7	T1 K	23.3	T2 K	19	T3 K	17.3	T4 K
3	38400.00	16.7	T1 K	23.4	T2 K	19	T3 K	17.1	T4 K
3	39000.00	16.6	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	17	T4 K
3	39600.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	16.8	T4 K
3	40200.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	16.7	T4 K
3	40800.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.7	T3 K	16.6	T4 K
3	41400.00	16.5	T1 K	23.2	T2 K	18.6	T3 K	16.5	T4 K
3	42000.00	16.5	T1 K	23.1	T2 K	18.6	T3 K	16.7	T4 K
3	42600.00	16.6	T1 K	23	T2 K	18.6	T3 K	16.6	T4 K
3	43200.00	16.7	T1 K	22.7	T2 K	18.5	T3 K	16.5	T4 K
3	43800.00	16.8	T1 K	22.4	T2 K	18.5	T3 K	16.5	T4 K
3	44400.00	16.8	T1 K	21.9	T2 K	18.4	T3 K	16.2	T4 K
3	45000.00	16.9	T1 K	21.6	T2 K	18.4	T3 K	16.1	T4 K
3	45600.00	17	T1 K	21.3	T2 K	18.3	T3 K	16.1	T4 K
3	46200.00	17.1	T1 K	21.1	T2 K	18.3	T3 K	15.9	T4 K
3	46800.00	17.2	T1 K	20.8	T2 K	18.2	T3 K	15.9	T4 K
3	47400.00	17.2	T1 K	20.5	T2 K	18.2	T3 K	15.8	T4 K
3	48000.00	17.3	T1 K	20.1	T2 K	18.1	T3 K	15.7	T4 K
3	48600.00	17.3	T1 K	19.9	T2 K	18	T3 K	15.7	T4 K

3	49200.00	17.4	T1 K	19.6	T2 K	18	T3 K	15.5	T4 K
3	49800.00	17.4	T1 K	19.3	T2 K	17.9	T3 K	15.6	T4 K
3	50400.00	17.4	T1 K	19.1	T2 K	17.8	T3 K	15.4	T4 K
3	51000.00	17.5	T1 K	18.9	T2 K	17.8	T3 K	15.4	T4 K
3	51600.00	17.6	T1 K	18.7	T2 K	17.8	T3 K	15.3	T4 K
3	52200.00	17.6	T1 K	18.5	T2 K	17.8	T3 K	15.2	T4 K
3	52800.00	17.5	T1 K	18.3	T2 K	17.7	T3 K	15.2	T4 K
3	53400.00	17.5	T1 K	18.1	T2 K	17.6	T3 K	15.2	T4 K
3	54000.00	17.5	T1 K	17.9	T2 K	17.5	T3 K	15.2	T4 K
3	54600.00	17.5	T1 K	17.8	T2 K	17.5	T3 K	15.3	T4 K
3	55200.00	17.5	T1 K	17.6	T2 K	17.5	T3 K	15.4	T4 K
3	55800.00	17.5	T1 K	17.3	T2 K	17.4	T3 K	15.4	T4 K
3	56400.00	17.4	T1 K	17.2	T2 K	17.4	T3 K	15.4	T4 K
3	57000.00	17.4	T1 K	17.1	T2 K	17.3	T3 K	15.5	T4 K
3	57600.00	17.4	T1 K	17	T2 K	17.3	T3 K	15.6	T4 K
3	58200.00	17.3	T1 K	17	T2 K	17.3	T3 K	15.7	T4 K
3	58800.00	17.4	T1 K	16.8	T2 K	17.4	T3 K	15.7	T4 K
3	59400.00	17.5	T1 K	16.8	T2 K	17.5	T3 K	15.9	T4 K
3	60000.00	17.4	T1 K	16.7	T2 K	17.5	T3 K	15.9	T4 K
3	60600.00	17.4	T1 K	16.7	T2 K	17.6	T3 K	16	T4 K
3	61200.00	17.5	T1 K	16.8	T2 K	17.6	T3 K	16.1	T4 K
3	61800.00	17.6	T1 K	16.8	T2 K	17.8	T3 K	16.3	T4 K
3	62400.00	17.6	T1 K	16.9	T2 K	17.9	T3 K	16.4	T4 K
3	63000.00	17.6	T1 K	16.9	T2 K	17.9	T3 K	16.4	T4 K
3	63600.00	17.7	T1 K	17	T2 K	18.1	T3 K	16.7	T4 K
3	64200.00	17.8	T1 K	17	T2 K	18.2	T3 K	16.8	T4 K
3	64800.00	17.8	T1 K	17.2	T2 K	18.4	T3 K	17.1	T4 K
3	65400.00	18	T1 K	17.3	T2 K	18.5	T3 K	17.4	T4 K
3	66000.00	18	T1 K	17.4	T2 K	18.6	T3 K	17.6	T4 K
3	66600.00	18	T1 K	17.4	T2 K	18.7	T3 K	17.8	T4 K
3	67200.00	18.1	T1 K	17.5	T2 K	18.8	T3 K	18	T4 K
3	67800.00	18.2	T1 K	17.6	T2 K	18.9	T3 K	18.2	T4 K
3	68400.00	18.2	T1 K	17.7	T2 K	19	T3 K	18.3	T4 K
3	69000.00	18.2	T1 K	17.7	T2 K	19	T3 K	18.4	T4 K
3	69600.00	18.4	T1 K	17.8	T2 K	19.2	T3 K	18.8	T4 K
3	70200.00	18.4	T1 K	17.9	T2 K	19.2	T3 K	19	T4 K
3	70800.00	18.4	T1 K	17.8	T2 K	19.2	T3 K	18.8	T4 K
3	71400.00	18.5	T1 K	17.9	T2 K	19.4	T3 K	19	T4 K
3	72000.00	18.6	T1 K	18	T2 K	19.4	T3 K	19.4	T4 K
3	72600.00	18.7	T1 K	18	T2 K	19.7	T3 K	19.2	T4 K
3	73200.00	18.7	T1 K	18.2	T2 K	19.7	T3 K	19.3	T4 K
3	73800.00	18.9	T1 K	18.3	T2 K	19.9	T3 K	19.4	T4 K
3	74400.00	18.9	T1 K	18.4	T2 K	19.9	T3 K	19.7	T4 K
3	75000.00	19	T1 K	18.4	T2 K	20	T3 K	19.9	T4 K

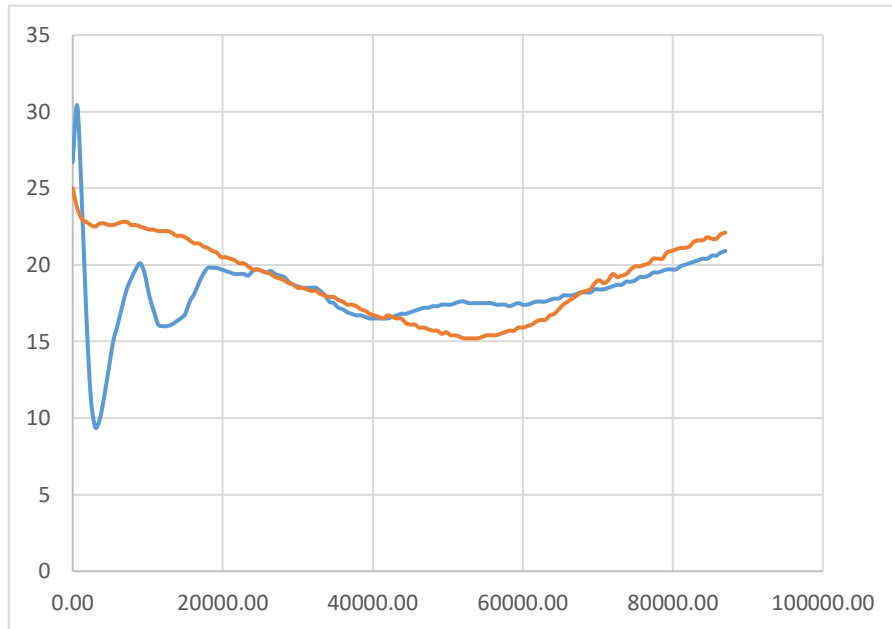
3	75600.00	19.2	T1 K	18.4	T2 K	20.2	T3 K	19.9	T4 K
3	76200.00	19.2	T1 K	18.5	T2 K	20.3	T3 K	20	T4 K
3	76800.00	19.3	T1 K	18.5	T2 K	20.3	T3 K	20.1	T4 K
3	77400.00	19.5	T1 K	18.7	T2 K	20.5	T3 K	20.4	T4 K
3	78000.00	19.5	T1 K	18.7	T2 K	20.5	T3 K	20.4	T4 K
3	78600.00	19.6	T1 K	18.8	T2 K	20.7	T3 K	20.4	T4 K
3	79200.00	19.7	T1 K	18.8	T2 K	20.8	T3 K	20.8	T4 K
3	79800.00	19.7	T1 K	18.7	T2 K	20.7	T3 K	20.9	T4 K
3	80400.00	19.7	T1 K	18.8	T2 K	20.8	T3 K	21	T4 K
3	81000.00	19.9	T1 K	18.8	T2 K	21	T3 K	21.1	T4 K
3	81600.00	20	T1 K	18.8	T2 K	21.1	T3 K	21.1	T4 K
3	82200.00	20.1	T1 K	19	T2 K	21.2	T3 K	21.2	T4 K
3	82800.00	20.2	T1 K	19	T2 K	21.3	T3 K	21.5	T4 K
3	83400.00	20.3	T1 K	19	T2 K	21.4	T3 K	21.6	T4 K
3	84000.00	20.4	T1 K	19	T2 K	21.4	T3 K	21.6	T4 K
3	84600.00	20.4	T1 K	19.1	T2 K	21.6	T3 K	21.8	T4 K
3	85200.00	20.6	T1 K	19.2	T2 K	21.7	T3 K	21.7	T4 K
3	85800.00	20.6	T1 K	19.2	T2 K	21.8	T3 K	21.7	T4 K
3	86400.00	20.8	T1 K	19.3	T2 K	22	T3 K	22	T4 K
3	87000.00	20.9	T1 K	19.4	T2 K	22.1	T3 K	22.1	T4 K

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 10

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (3/5 ensayo)

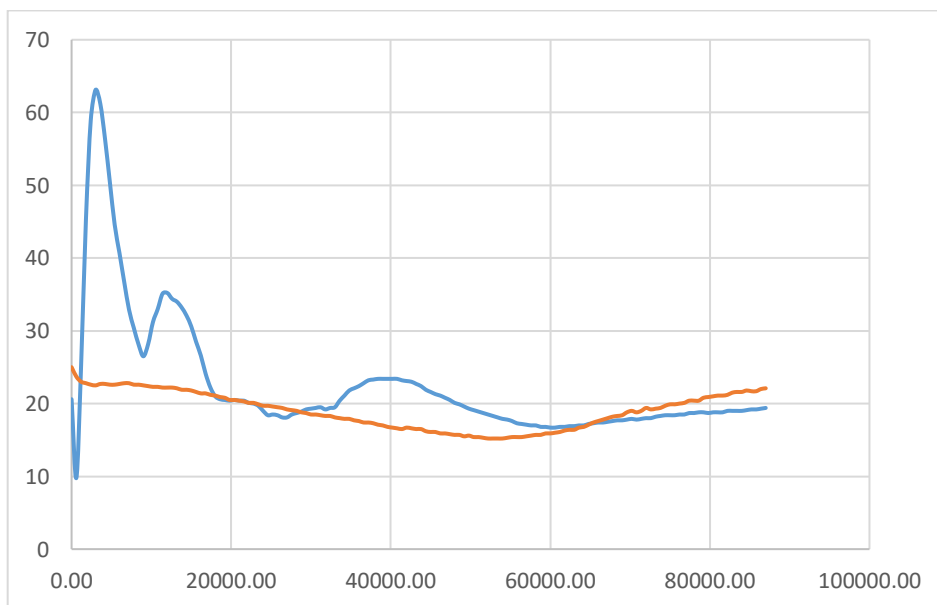


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 11

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T2 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (3/5 ensayo)

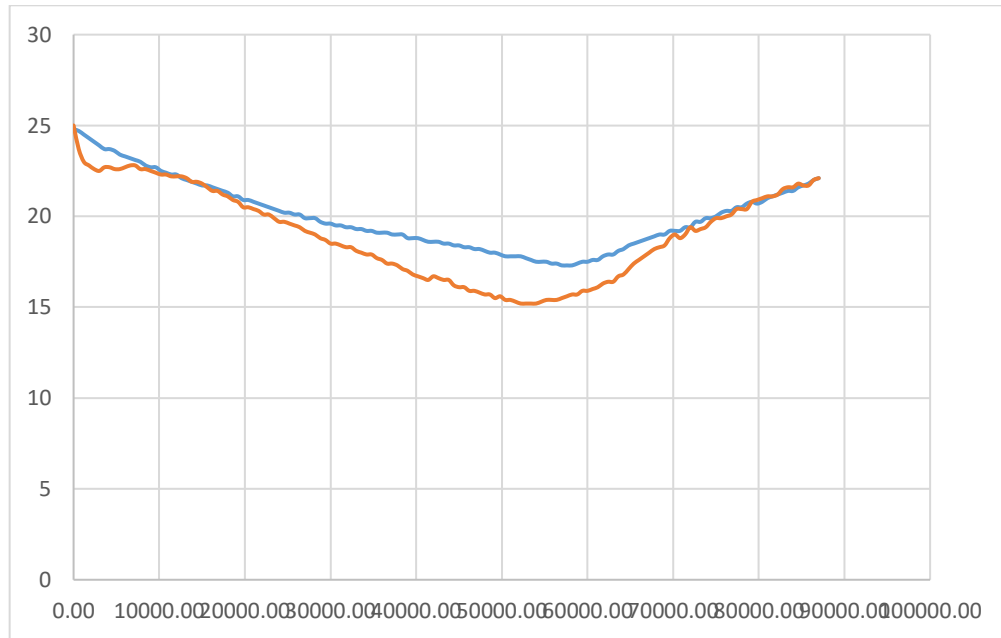


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 12

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T3 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (3/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

Temperaturas durante 24 horas, para concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento Tipo I la tabla registra el promedio (4/5 ensayo)

MES: OCTUBRE		ENCOF. VIGA		CENTRO VIGA		PROBETA		AMBIENTE	
DIA	HORA	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.
6	0.00	26.7	T1 K	20.6	T2 K	24.8	T3 K	25	T4 K
6	600.00	30.4	T1 K	9.8	T2 K	24.7	T3 K	23.7	T4 K
6	1200.00	24.4	T1 K	25.5	T2 K	24.5	T3 K	23	T4 K
6	1800.00	16.9	T1 K	45.3	T2 K	24.3	T3 K	22.8	T4 K
6	2400.00	11.4	T1 K	58.9	T2 K	24.1	T3 K	22.6	T4 K
6	3000.00	9.4	T1 K	63.1	T2 K	23.9	T3 K	22.5	T4 K
6	3600.00	9.9	T1 K	61.2	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
6	4200.00	11.4	T1 K	56.3	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
6	4800.00	13.2	T1 K	50.4	T2 K	23.6	T3 K	22.6	T4 K
6	5400.00	15	T1 K	44.6	T2 K	23.4	T3 K	22.6	T4 K
6	6000.00	16.1	T1 K	40.7	T2 K	23.3	T3 K	22.7	T4 K
6	6600.00	17.3	T1 K	36.7	T2 K	23.2	T3 K	22.8	T4 K
6	7200.00	18.4	T1 K	32.9	T2 K	23.1	T3 K	22.8	T4 K
6	7800.00	19.1	T1 K	30.4	T2 K	23	T3 K	22.6	T4 K
6	8400.00	19.7	T1 K	28.1	T2 K	22.8	T3 K	22.6	T4 K
6	9000.00	20.1	T1 K	26.5	T2 K	22.7	T3 K	22.5	T4 K
6	9600.00	19.4	T1 K	28.2	T2 K	22.7	T3 K	22.4	T4 K
6	10200.00	18	T1 K	31.2	T2 K	22.5	T3 K	22.3	T4 K
6	10800.00	17	T1 K	33	T2 K	22.4	T3 K	22.3	T4 K
6	11400.00	16.1	T1 K	35.1	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
6	12000.00	16	T1 K	35.2	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
6	12600.00	16	T1 K	34.4	T2 K	22.1	T3 K	22.2	T4 K
6	13200.00	16.1	T1 K	34	T2 K	22	T3 K	22.1	T4 K
6	13800.00	16.3	T1 K	33.2	T2 K	21.9	T3 K	21.9	T4 K
6	14400.00	16.5	T1 K	32.1	T2 K	21.8	T3 K	21.9	T4 K
6	15000.00	16.8	T1 K	30.6	T2 K	21.7	T3 K	21.8	T4 K
6	15600.00	17.6	T1 K	28.5	T2 K	21.7	T3 K	21.6	T4 K
6	16200.00	18.1	T1 K	26.6	T2 K	21.6	T3 K	21.4	T4 K
6	16800.00	18.8	T1 K	24.1	T2 K	21.5	T3 K	21.4	T4 K
6	17400.00	19.4	T1 K	22.2	T2 K	21.4	T3 K	21.2	T4 K
6	18000.00	19.8	T1 K	21	T2 K	21.3	T3 K	21.1	T4 K
6	18600.00	19.8	T1 K	20.6	T2 K	21.1	T3 K	20.9	T4 K
6	19200.00	19.8	T1 K	20.5	T2 K	21.1	T3 K	20.8	T4 K
6	19800.00	19.7	T1 K	20.4	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
6	20400.00	19.6	T1 K	20.5	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
6	21000.00	19.5	T1 K	20.4	T2 K	20.8	T3 K	20.4	T4 K
6	21600.00	19.4	T1 K	20.4	T2 K	20.7	T3 K	20.3	T4 K
6	22200.00	19.4	T1 K	20.1	T2 K	20.6	T3 K	20.1	T4 K

6	22800.00	19.4	T1 K	20	T2 K	20.5	T3 K	20.1	T4 K
6	23400.00	19.3	T1 K	19.7	T2 K	20.4	T3 K	19.9	T4 K
6	24000.00	19.6	T1 K	19	T2 K	20.3	T3 K	19.7	T4 K
6	24600.00	19.7	T1 K	18.4	T2 K	20.2	T3 K	19.7	T4 K
6	25200.00	19.6	T1 K	18.5	T2 K	20.2	T3 K	19.6	T4 K
6	25800.00	19.5	T1 K	18.4	T2 K	20.1	T3 K	19.5	T4 K
6	26400.00	19.6	T1 K	18.1	T2 K	20.1	T3 K	19.4	T4 K
6	27000.00	19.4	T1 K	18.1	T2 K	19.9	T3 K	19.2	T4 K
6	27600.00	19.3	T1 K	18.5	T2 K	19.9	T3 K	19.1	T4 K
6	28200.00	19.2	T1 K	18.7	T2 K	19.9	T3 K	19	T4 K
6	28800.00	18.9	T1 K	18.9	T2 K	19.7	T3 K	18.8	T4 K
6	29400.00	18.7	T1 K	19.2	T2 K	19.6	T3 K	18.7	T4 K
6	30000.00	18.6	T1 K	19.3	T2 K	19.6	T3 K	18.5	T4 K
6	30600.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.5	T3 K	18.5	T4 K
6	31200.00	18.5	T1 K	19.5	T2 K	19.5	T3 K	18.4	T4 K
6	31800.00	18.5	T1 K	19.2	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
6	32400.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
6	33000.00	18.3	T1 K	19.5	T2 K	19.3	T3 K	18.1	T4 K
6	33600.00	18	T1 K	20.4	T2 K	19.3	T3 K	18	T4 K
6	34200.00	17.6	T1 K	21.1	T2 K	19.2	T3 K	17.9	T4 K
6	34800.00	17.5	T1 K	21.8	T2 K	19.2	T3 K	17.9	T4 K
6	35400.00	17.2	T1 K	22.1	T2 K	19.1	T3 K	17.7	T4 K
6	36000.00	17.1	T1 K	22.4	T2 K	19.1	T3 K	17.6	T4 K
6	36600.00	16.9	T1 K	22.8	T2 K	19.1	T3 K	17.4	T4 K
6	37200.00	16.8	T1 K	23.2	T2 K	19	T3 K	17.4	T4 K
6	37800.00	16.7	T1 K	23.3	T2 K	19	T3 K	17.3	T4 K
6	38400.00	16.7	T1 K	23.4	T2 K	19	T3 K	17.1	T4 K
6	39000.00	16.6	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	17	T4 K
6	39600.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	16.8	T4 K
6	40200.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.8	T3 K	16.7	T4 K
6	40800.00	16.5	T1 K	23.4	T2 K	18.7	T3 K	16.6	T4 K
6	41400.00	16.5	T1 K	23.2	T2 K	18.6	T3 K	16.5	T4 K
6	42000.00	16.5	T1 K	23.1	T2 K	18.6	T3 K	16.7	T4 K
6	42600.00	16.6	T1 K	23	T2 K	18.6	T3 K	16.6	T4 K
6	43200.00	16.7	T1 K	22.7	T2 K	18.5	T3 K	16.5	T4 K
7	43800.00	16.8	T1 K	22.4	T2 K	18.5	T3 K	16.5	T4 K
7	44400.00	16.8	T1 K	21.9	T2 K	18.4	T3 K	16.2	T4 K
7	45000.00	16.9	T1 K	21.6	T2 K	18.4	T3 K	16.1	T4 K
7	45600.00	17	T1 K	21.3	T2 K	18.3	T3 K	16.1	T4 K
7	46200.00	17.1	T1 K	21.1	T2 K	18.3	T3 K	15.9	T4 K
7	46800.00	17.2	T1 K	20.8	T2 K	18.2	T3 K	15.9	T4 K
7	47400.00	17.2	T1 K	20.5	T2 K	18.2	T3 K	15.8	T4 K
7	48000.00	17.4	T1 K	20.9	T2 K	18	T3 K	15.9	T4 K
7	48600.00	17.2	T1 K	20.7	T2 K	18.1	T3 K	15.9	T4 K

7	49200.00	17.1	T1 K	20.6	T2 K	18.4	T3 K	16	T4 K
7	49800.00	17	T1 K	20.4	T2 K	18.6	T3 K	15.9	T4 K
7	50400.00	16.9	T1 K	20.2	T2 K	18.9	T3 K	16.2	T4 K
7	51000.00	16.8	T1 K	20	T2 K	19	T3 K	16.3	T4 K
7	51600.00	16.8	T1 K	19.8	T2 K	19.2	T3 K	16.4	T4 K
7	52200.00	16.7	T1 K	19.6	T2 K	19.4	T3 K	16.5	T4 K
7	52800.00	16.7	T1 K	19.4	T2 K	19.5	T3 K	16.7	T4 K
7	53400.00	16.6	T1 K	19.4	T2 K	19.5	T3 K	16.6	T4 K
7	54000.00	16.6	T1 K	19.3	T2 K	19.8	T3 K	16.5	T4 K
7	54600.00	16.6	T1 K	19.1	T2 K	20	T3 K	16.5	T4 K
7	55200.00	16.4	T1 K	19	T2 K	20.3	T3 K	16.5	T4 K
7	55800.00	16.5	T1 K	18.8	T2 K	20.6	T3 K	16.4	T4 K
7	56400.00	16.4	T1 K	18.7	T2 K	21	T3 K	16.4	T4 K
7	57000.00	16.4	T1 K	18.6	T2 K	21.8	T3 K	16.4	T4 K
7	57600.00	16.3	T1 K	18.3	T2 K	21.8	T3 K	16.4	T4 K
7	58200.00	16.3	T1 K	18.2	T2 K	22.3	T3 K	16.3	T4 K
7	58800.00	16.3	T1 K	18.1	T2 K	22.6	T3 K	16.3	T4 K
7	59400.00	16.2	T1 K	18	T2 K	22.7	T3 K	16.4	T4 K
7	60000.00	16.2	T1 K	17.9	T2 K	22.8	T3 K	16.5	T4 K
7	60600.00	16.3	T1 K	17.8	T2 K	23	T3 K	16.5	T4 K
7	61200.00	16.3	T1 K	17.7	T2 K	23.3	T3 K	16.4	T4 K
7	61800.00	16.3	T1 K	17.6	T2 K	23.5	T3 K	16.4	T4 K
7	62400.00	16.2	T1 K	17.5	T2 K	23.8	T3 K	16.3	T4 K
7	63000.00	16.2	T1 K	17.4	T2 K	24.1	T3 K	16.2	T4 K
7	63600.00	16.2	T1 K	17.3	T2 K	24.1	T3 K	16.5	T4 K
7	64200.00	16.2	T1 K	17.1	T2 K	23.8	T3 K	16.2	T4 K
7	64800.00	16.1	T1 K	17.1	T2 K	24	T3 K	16.2	T4 K
7	65400.00	16.2	T1 K	17	T2 K	24.5	T3 K	16.2	T4 K
7	66000.00	16.3	T1 K	17	T2 K	24.7	T3 K	16.3	T4 K
7	66600.00	16.2	T1 K	16.8	T2 K	25	T3 K	16.1	T4 K
7	67200.00	16.2	T1 K	16.8	T2 K	25.2	T3 K	16.2	T4 K
7	67800.00	16.1	T1 K	16.8	T2 K	25.3	T3 K	16.4	T4 K
7	68400.00	16.2	T1 K	16.7	T2 K	25.5	T3 K	16.4	T4 K
7	69000.00	16.2	T1 K	16.7	T2 K	25.6	T3 K	16.3	T4 K
7	69600.00	16.2	T1 K	16.6	T2 K	25.9	T3 K	16.2	T4 K
7	70200.00	16.2	T1 K	16.6	T2 K	25.8	T3 K	16.4	T4 K
7	70800.00	16.3	T1 K	16.5	T2 K	25.6	T3 K	16.2	T4 K
7	71400.00	16.3	T1 K	16.5	T2 K	25.5	T3 K	16.1	T4 K
7	72000.00	16.2	T1 K	16.4	T2 K	25.3	T3 K	16.4	T4 K
7	72600.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	25.1	T3 K	16.2	T4 K
7	73200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	25.1	T3 K	16.2	T4 K
7	73800.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	25.1	T3 K	16.4	T4 K
7	74400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	25.1	T3 K	16.4	T4 K
7	75000.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	25	T3 K	16.5	T4 K

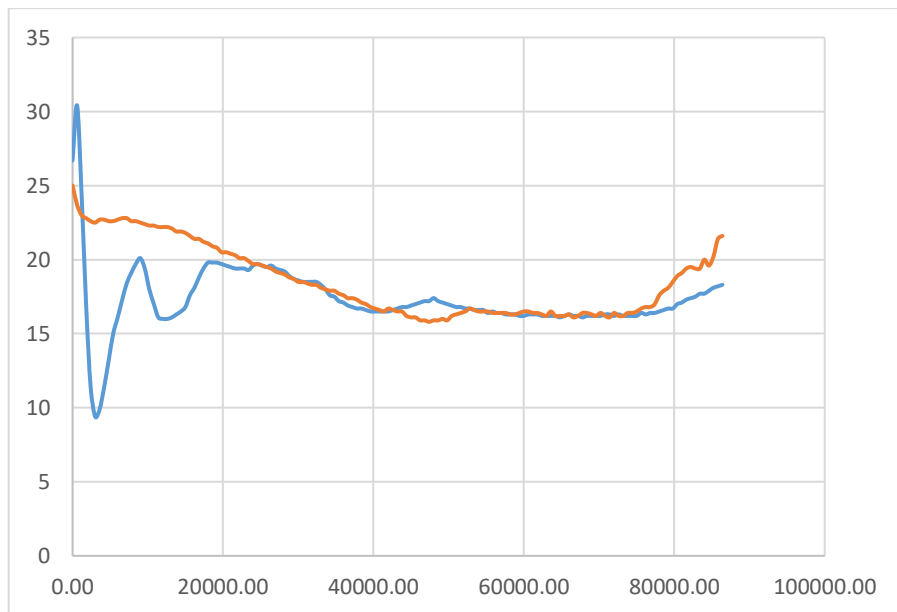
7	75600.00	16.4	T1 K	16.3	T2 K	25	T3 K	16.7	T4 K
7	76200.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	24.9	T3 K	16.8	T4 K
7	76800.00	16.4	T1 K	16.2	T2 K	24.7	T3 K	16.8	T4 K
7	77400.00	16.4	T1 K	16.2	T2 K	24.6	T3 K	17	T4 K
7	78000.00	16.5	T1 K	16.3	T2 K	24.4	T3 K	17.6	T4 K
7	78600.00	16.6	T1 K	16.3	T2 K	24.3	T3 K	17.9	T4 K
7	79200.00	16.7	T1 K	16.2	T2 K	24.1	T3 K	18.1	T4 K
7	79800.00	16.7	T1 K	16.3	T2 K	24	T3 K	18.5	T4 K
7	80400.00	17	T1 K	16.3	T2 K	23.9	T3 K	18.9	T4 K
7	81000.00	17.1	T1 K	16.3	T2 K	23.6	T3 K	19.1	T4 K
7	81600.00	17.3	T1 K	16.3	T2 K	23.4	T3 K	19.4	T4 K
7	82200.00	17.4	T1 K	16.2	T2 K	23.1	T3 K	19.5	T4 K
7	82800.00	17.5	T1 K	16.2	T2 K	22.7	T3 K	19.4	T4 K
7	83400.00	17.7	T1 K	16.3	T2 K	22.5	T3 K	19.4	T4 K
7	84000.00	17.7	T1 K	16.3	T2 K	22.1	T3 K	20	T4 K
7	84600.00	17.9	T1 K	16.3	T2 K	22	T3 K	19.6	T4 K
7	85200.00	18.1	T1 K	16.4	T2 K	21.9	T3 K	20.2	T4 K
7	85800.00	18.2	T1 K	16.3	T2 K	21.7	T3 K	21.4	T4 K
7	86400.00	18.3	T1 K	16.3	T2 K	21.5	T3 K	21.6	T4 K

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (4/5 ensayo)

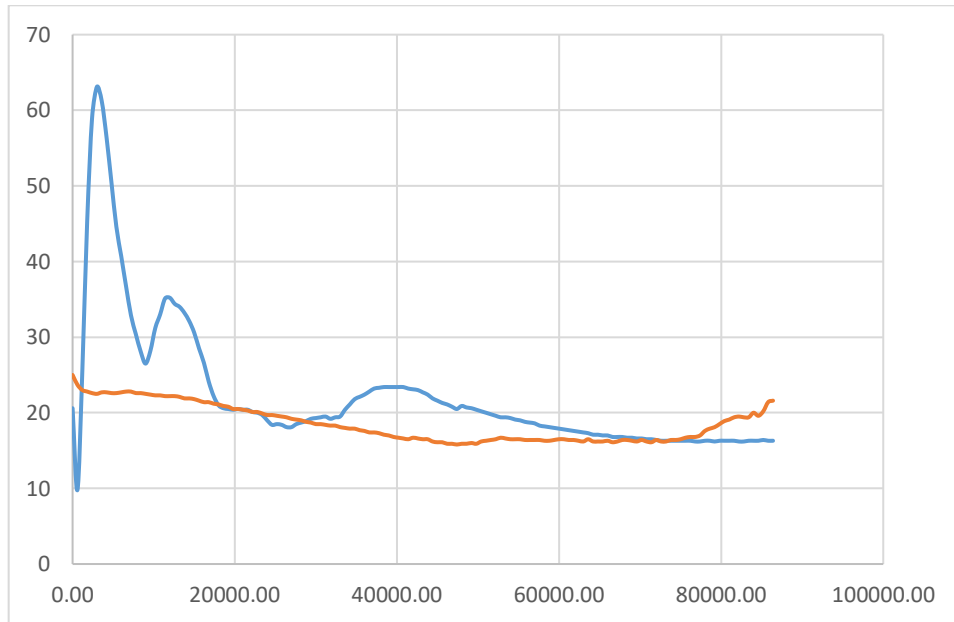


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 14

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T2 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (4/5 ensayo)

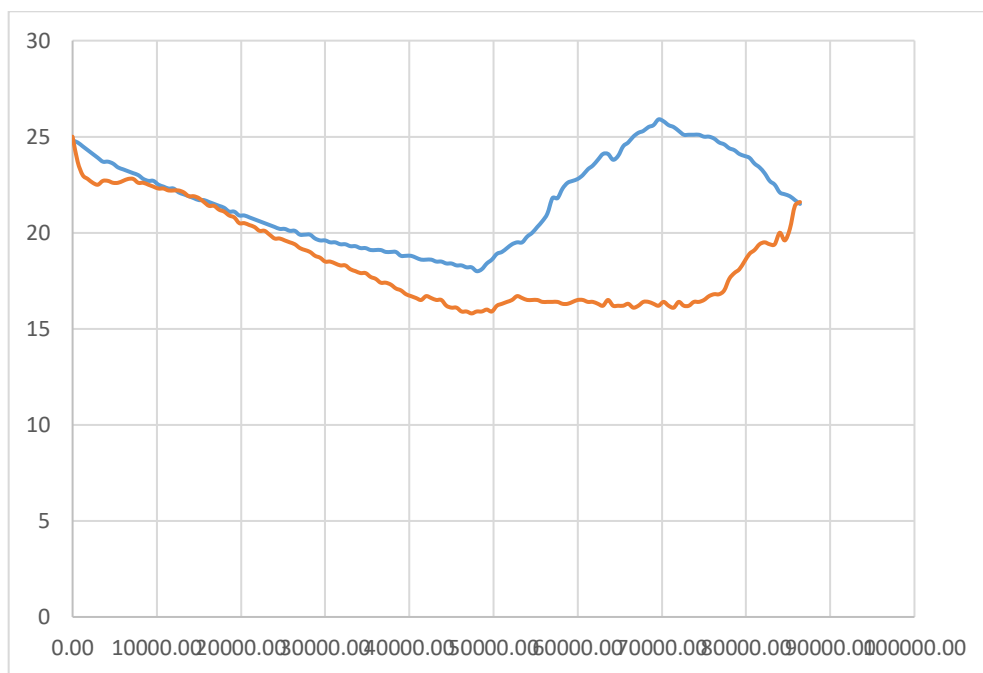


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 15

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T3 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (4/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35

Temperaturas durante 24 h, para concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento Tipo I (5/5 ensayo)

MES: OCTUBRE		ENCOF. VIGA		CENTRO VIGA		PROBETA		AMBIENTE	
DIA	HORA	°C	UND.	°C	UND	°C	UND.	°C	UND.
6	0.00	26.7	T1 K	20.6	T2 K	24.8	T3 K	25	T4 K
6	600.00	30.4	T1 K	9.8	T2 K	24.7	T3 K	23.7	T4 K
6	1200.00	24.4	T1 K	25.5	T2 K	24.5	T3 K	23	T4 K
6	1800.00	16.9	T1 K	45.3	T2 K	24.3	T3 K	22.8	T4 K
6	2400.00	11.4	T1 K	58.9	T2 K	24.1	T3 K	22.6	T4 K
6	3000.00	9.4	T1 K	63.1	T2 K	23.9	T3 K	22.5	T4 K
6	3600.00	9.9	T1 K	61.2	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
6	4200.00	11.4	T1 K	56.3	T2 K	23.7	T3 K	22.7	T4 K
6	4800.00	13.2	T1 K	50.4	T2 K	23.6	T3 K	22.6	T4 K
6	5400.00	15	T1 K	44.6	T2 K	23.4	T3 K	22.6	T4 K
6	6000.00	16.1	T1 K	40.7	T2 K	23.3	T3 K	22.7	T4 K
6	6600.00	17.3	T1 K	36.7	T2 K	23.2	T3 K	22.8	T4 K
6	7200.00	18.4	T1 K	32.9	T2 K	23.1	T3 K	22.8	T4 K
6	7800.00	19.1	T1 K	30.4	T2 K	23	T3 K	22.6	T4 K
6	8400.00	19.7	T1 K	28.1	T2 K	22.8	T3 K	22.6	T4 K
6	9000.00	20.1	T1 K	26.5	T2 K	22.7	T3 K	22.5	T4 K
6	9600.00	19.4	T1 K	28.2	T2 K	22.7	T3 K	22.4	T4 K
6	10200.00	18	T1 K	31.2	T2 K	22.5	T3 K	22.3	T4 K
6	10800.00	17	T1 K	33	T2 K	22.4	T3 K	22.3	T4 K
6	11400.00	16.1	T1 K	35.1	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
6	12000.00	16	T1 K	35.2	T2 K	22.3	T3 K	22.2	T4 K
6	12600.00	16	T1 K	34.4	T2 K	22.1	T3 K	22.2	T4 K
6	13200.00	16.1	T1 K	34	T2 K	22	T3 K	22.1	T4 K
6	13800.00	16.3	T1 K	33.2	T2 K	21.9	T3 K	21.9	T4 K
6	14400.00	16.5	T1 K	32.1	T2 K	21.8	T3 K	21.9	T4 K
6	15000.00	16.8	T1 K	30.6	T2 K	21.7	T3 K	21.8	T4 K
6	15600.00	17.6	T1 K	28.5	T2 K	21.7	T3 K	21.6	T4 K
6	16200.00	18.1	T1 K	26.6	T2 K	21.6	T3 K	21.4	T4 K
6	16800.00	18.8	T1 K	24.1	T2 K	21.5	T3 K	21.4	T4 K
6	17400.00	19.4	T1 K	22.2	T2 K	21.4	T3 K	21.2	T4 K
6	18000.00	19.8	T1 K	21	T2 K	21.3	T3 K	21.1	T4 K
6	18600.00	19.8	T1 K	20.6	T2 K	21.1	T3 K	20.9	T4 K
6	19200.00	19.8	T1 K	20.5	T2 K	21.1	T3 K	20.8	T4 K
6	19800.00	19.7	T1 K	20.4	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
6	20400.00	19.6	T1 K	20.5	T2 K	20.9	T3 K	20.5	T4 K
6	21000.00	19.5	T1 K	20.4	T2 K	20.8	T3 K	20.4	T4 K
6	21600.00	19.4	T1 K	20.4	T2 K	20.7	T3 K	20.3	T4 K

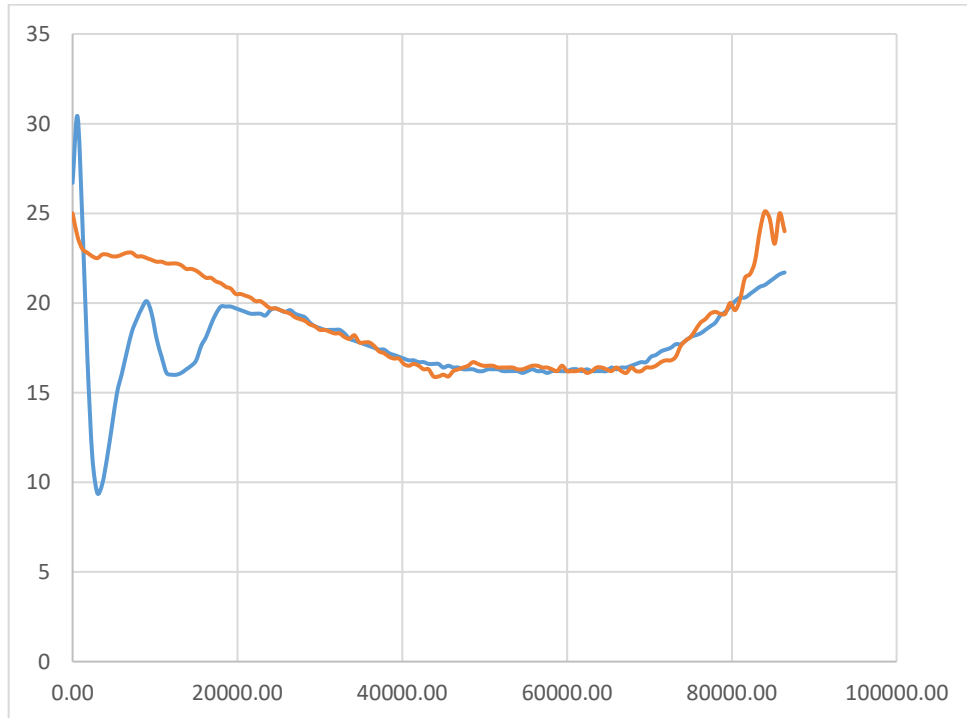
6	22200.00	19.4	T1 K	20.1	T2 K	20.6	T3 K	20.1	T4 K
6	22800.00	19.4	T1 K	20	T2 K	20.5	T3 K	20.1	T4 K
6	23400.00	19.3	T1 K	19.7	T2 K	20.4	T3 K	19.9	T4 K
6	24000.00	19.6	T1 K	19	T2 K	20.3	T3 K	19.7	T4 K
6	24600.00	19.7	T1 K	18.4	T2 K	20.2	T3 K	19.7	T4 K
6	25200.00	19.6	T1 K	18.5	T2 K	20.2	T3 K	19.6	T4 K
6	25800.00	19.5	T1 K	18.4	T2 K	20.1	T3 K	19.5	T4 K
6	26400.00	19.6	T1 K	18.1	T2 K	20.1	T3 K	19.4	T4 K
6	27000.00	19.4	T1 K	18.1	T2 K	19.9	T3 K	19.2	T4 K
6	27600.00	19.3	T1 K	18.5	T2 K	19.9	T3 K	19.1	T4 K
6	28200.00	19.2	T1 K	18.7	T2 K	19.9	T3 K	19	T4 K
6	28800.00	18.9	T1 K	18.9	T2 K	19.7	T3 K	18.8	T4 K
6	29400.00	18.7	T1 K	19.2	T2 K	19.6	T3 K	18.7	T4 K
7	30000.00	18.6	T1 K	19.3	T2 K	19.6	T3 K	18.5	T4 K
7	30600.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.5	T3 K	18.5	T4 K
7	31200.00	18.5	T1 K	19.5	T2 K	19.5	T3 K	18.4	T4 K
7	31800.00	18.5	T1 K	19.2	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
7	32400.00	18.5	T1 K	19.4	T2 K	19.4	T3 K	18.3	T4 K
7	33000.00	18.3	T1 K	19.5	T2 K	19.3	T3 K	18.1	T4 K
7	33600.00	18	T1 K	20.4	T2 K	19.3	T3 K	18	T4 K
7	34200.00	17.9	T1 K	19.8	T2 K	19.1	T3 K	18.2	T4 K
7	34800.00	17.8	T1 K	19.6	T2 K	19	T3 K	17.8	T4 K
7	35400.00	17.7	T1 K	19.4	T2 K	18.9	T3 K	17.8	T4 K
7	36000.00	17.6	T1 K	19.4	T2 K	18.6	T3 K	17.8	T4 K
7	36600.00	17.5	T1 K	19.3	T2 K	18.5	T3 K	17.6	T4 K
7	37200.00	17.4	T1 K	19.1	T2 K	18.4	T3 K	17.3	T4 K
7	37800.00	17.4	T1 K	19	T2 K	18.2	T3 K	17.2	T4 K
7	38400.00	17.2	T1 K	18.8	T2 K	18.1	T3 K	17	T4 K
7	39000.00	17.1	T1 K	18.7	T2 K	17.9	T3 K	16.9	T4 K
7	39600.00	17	T1 K	18.6	T2 K	17.8	T3 K	16.9	T4 K
7	40200.00	16.9	T1 K	18.3	T2 K	17.7	T3 K	16.6	T4 K
7	40800.00	16.8	T1 K	18.2	T2 K	17.6	T3 K	16.5	T4 K
7	41400.00	16.8	T1 K	18.1	T2 K	17.6	T3 K	16.6	T4 K
7	42000.00	16.7	T1 K	18	T2 K	17.5	T3 K	16.5	T4 K
7	42600.00	16.7	T1 K	17.9	T2 K	17.4	T3 K	16.3	T4 K
7	43200.00	16.6	T1 K	17.8	T2 K	17.2	T3 K	16.3	T4 K
7	43800.00	16.6	T1 K	17.7	T2 K	17.1	T3 K	15.9	T4 K
7	44400.00	16.6	T1 K	17.6	T2 K	16.9	T3 K	15.9	T4 K
7	45000.00	16.4	T1 K	17.5	T2 K	16.9	T3 K	16	T4 K
7	45600.00	16.5	T1 K	17.4	T2 K	16.7	T3 K	15.9	T4 K
7	46200.00	16.4	T1 K	17.3	T2 K	16.7	T3 K	16.2	T4 K
7	46800.00	16.4	T1 K	17.1	T2 K	16.6	T3 K	16.3	T4 K
7	47400.00	16.3	T1 K	17.1	T2 K	16.5	T3 K	16.4	T4 K
7	48000.00	16.3	T1 K	17	T2 K	16.5	T3 K	16.5	T4 K

7	48600.00	16.3	T1 K	17	T2 K	16.5	T3 K	16.7	T4 K
7	49200.00	16.2	T1 K	16.8	T2 K	16.5	T3 K	16.6	T4 K
7	49800.00	16.2	T1 K	16.8	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
7	50400.00	16.3	T1 K	16.8	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
7	51000.00	16.3	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
7	51600.00	16.3	T1 K	16.7	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
7	52200.00	16.2	T1 K	16.6	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
7	52800.00	16.2	T1 K	16.6	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
7	53400.00	16.2	T1 K	16.5	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
7	54000.00	16.2	T1 K	16.5	T2 K	16.3	T3 K	16.3	T4 K
7	54600.00	16.1	T1 K	16.4	T2 K	16.3	T3 K	16.3	T4 K
7	55200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
7	55800.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.5	T4 K
7	56400.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
7	57000.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.3	T3 K	16.4	T4 K
7	57600.00	16.1	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.4	T4 K
7	58200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.3	T4 K
7	58800.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.2	T4 K
7	59400.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.4	T3 K	16.5	T4 K
7	60000.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
7	60600.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
7	61200.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.2	T4 K
7	61800.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.5	T3 K	16.3	T4 K
7	62400.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.5	T3 K	16.1	T4 K
7	63000.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.4	T3 K	16.2	T4 K
7	63600.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.6	T3 K	16.4	T4 K
7	64200.00	16.2	T1 K	16.3	T2 K	16.6	T3 K	16.4	T4 K
7	64800.00	16.2	T1 K	16.2	T2 K	16.7	T3 K	16.3	T4 K
7	65400.00	16.4	T1 K	16.2	T2 K	16.8	T3 K	16.2	T4 K
7	66000.00	16.3	T1 K	16.3	T2 K	16.8	T3 K	16.4	T4 K
7	66600.00	16.4	T1 K	16.3	T2 K	16.8	T3 K	16.2	T4 K
7	67200.00	16.4	T1 K	16.3	T2 K	17	T3 K	16.1	T4 K
7	67800.00	16.5	T1 K	16.4	T2 K	16.9	T3 K	16.4	T4 K
7	68400.00	16.6	T1 K	16.3	T2 K	16.9	T3 K	16.2	T4 K
7	69000.00	16.7	T1 K	16.3	T2 K	16.9	T3 K	16.2	T4 K
7	69600.00	16.7	T1 K	16.4	T2 K	16.9	T3 K	16.4	T4 K
7	70200.00	17	T1 K	16.3	T2 K	17.1	T3 K	16.4	T4 K
7	70800.00	17.1	T1 K	16.3	T2 K	17.1	T3 K	16.5	T4 K
7	71400.00	17.3	T1 K	16.4	T2 K	17.1	T3 K	16.7	T4 K
7	72000.00	17.4	T1 K	16.3	T2 K	17.1	T3 K	16.8	T4 K
7	72600.00	17.5	T1 K	16.5	T2 K	17.2	T3 K	16.8	T4 K
7	73200.00	17.7	T1 K	16.4	T2 K	17.4	T3 K	17	T4 K
7	73800.00	17.7	T1 K	16.5	T2 K	17.5	T3 K	17.6	T4 K
7	74400.00	17.9	T1 K	16.5	T2 K	17.6	T3 K	17.9	T4 K

7	75000.00	18.1	T1 K	16.5	T2 K	17.8	T3 K	18.1	T4 K
7	75600.00	18.2	T1 K	16.7	T2 K	18	T3 K	18.5	T4 K
7	76200.00	18.3	T1 K	16.8	T2 K	18.1	T3 K	18.9	T4 K
7	76800.00	18.5	T1 K	16.9	T2 K	18.4	T3 K	19.1	T4 K
7	77400.00	18.7	T1 K	17.1	T2 K	18.6	T3 K	19.4	T4 K
7	78000.00	18.9	T1 K	17.2	T2 K	18.9	T3 K	19.5	T4 K
7	78600.00	19.3	T1 K	17.4	T2 K	19	T3 K	19.4	T4 K
7	79200.00	19.5	T1 K	17.6	T2 K	19.2	T3 K	19.4	T4 K
7	79800.00	19.8	T1 K	17.7	T2 K	19.4	T3 K	20	T4 K
7	80400.00	20.1	T1 K	17.9	T2 K	19.5	T3 K	19.6	T4 K
7	81000.00	20.3	T1 K	17.9	T2 K	19.5	T3 K	20.2	T4 K
7	81600.00	20.3	T1 K	18	T2 K	19.8	T3 K	21.4	T4 K
7	82200.00	20.5	T1 K	18.2	T2 K	20	T3 K	21.6	T4 K
7	82800.00	20.7	T1 K	18.4	T2 K	20.3	T3 K	22.3	T4 K
7	83400.00	20.9	T1 K	18.5	T2 K	20.6	T3 K	24	T4 K
7	84000.00	21	T1 K	18.8	T2 K	21	T3 K	25.1	T4 K
7	84600.00	21.2	T1 K	18.9	T2 K	21.8	T3 K	24.7	T4 K
7	85200.00	21.4	T1 K	19.2	T2 K	21.8	T3 K	23.3	T4 K
7	85800.00	21.6	T1 K	19.5	T2 K	22.3	T3 K	25	T4 K
7	86400.00	21.7	T1 K	19.7	T2 K	22.6	T3 K	24	T4 K

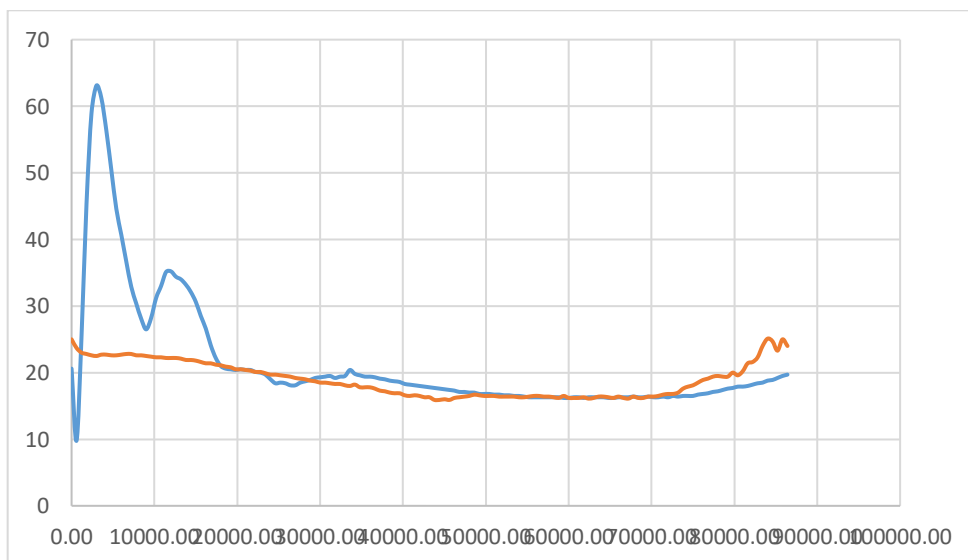
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 16
Curva de comportamiento térmico
En color azul, la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
(Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente 5/5
ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 17
Curva de comportamiento térmico
En color azul, la variación de la temperatura registrada en T2 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
(Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (5/5
ensayo)

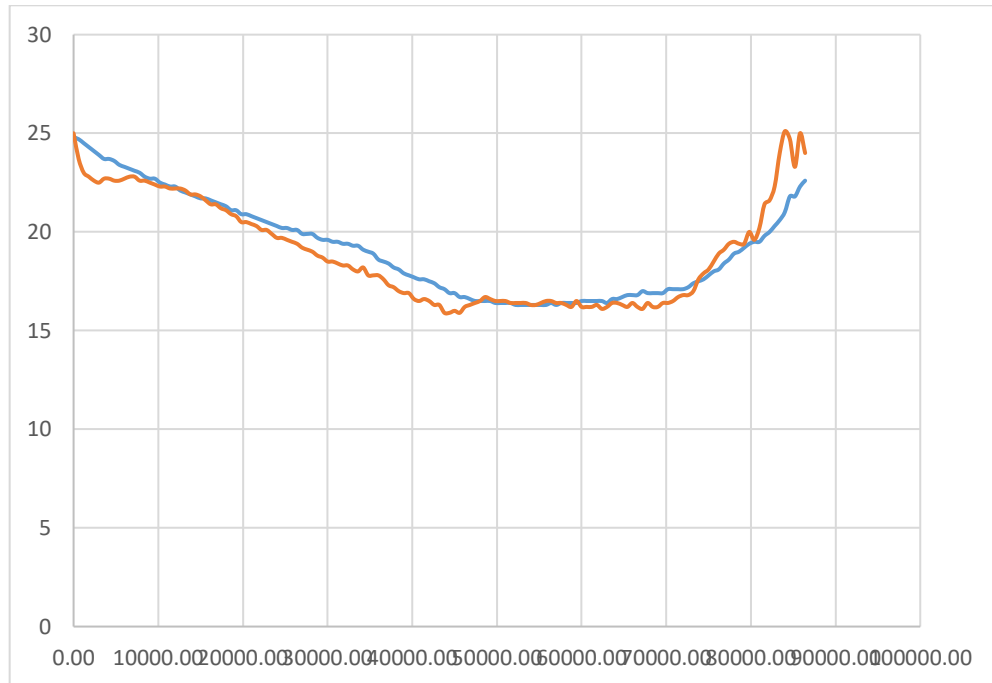


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 18

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura registrada en T1 K para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura registrada en T4 K del ambiente (1/5 ensayo)



Fuente: Elaboración Propia

Después de haber realizado estos cinco ensayos para cada tipo de cemento, con las dos resistencias de concreto propuestas, procedemos a sacar el promedio de las mediciones en función del tiempo transcurrido, de tal manera que para cada ubicación T1 K, T2 K y T3 K se obtenga un valor y una sola gráfica con la que posteriormente elaboraremos el modelo matemático que ha generado. A continuación, se presenta la tabla unificada y las tres gráficas de los registros, esta metodología se aplicó para cada tipo de cemento con cada resistencia planteada 210 y 280 Kg/cm². La información de todas las demás mediciones y gráficas, están incluidas en un archivo digital (CD) que adjunto a mi trabajo de investigación.

Tabla 36

Temperaturas durante 24 horas, para concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento Tipo I - la tabla registra el promedio de los 5 ensayos realizados

TIEMPO s	ENCOF. VIGA		CENTRO VIGA		PROBETA		AMBIENTE	
	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.	°C	UND.
0.00	24.64	T1 K	22.24	T2 K	24.02	T3 K	25.94	T4 K
600.00	27.00	T1 K	14.88	T2 K	23.8	T3 K	24.72	T4 K
1200.00	23.38	T1 K	24.26	T2 K	23.64	T3 K	23.78	T4 K
1800.00	18.84	T1 K	36.12	T2 K	23.48	T3 K	23.6	T4 K
2400.00	15.50	T1 K	44.24	T2 K	23.32	T3 K	23.24	T4 K
3000.00	14.32	T1 K	46.74	T2 K	23.24	T3 K	22.92	T4 K
3600.00	14.56	T1 K	45.54	T2 K	23.1	T3 K	22.84	T4 K
4200.00	15.40	T1 K	42.52	T2 K	23.06	T3 K	22.6	T4 K
4800.00	16.40	T1 K	38.92	T2 K	22.92	T3 K	22.36	T4 K
5400.00	17.42	T1 K	35.34	T2 K	22.72	T3 K	22.2	T4 K
6000.00	18.02	T1 K	32.98	T2 K	22.6	T3 K	22.18	T4 K
6600.00	18.70	T1 K	30.5	T2 K	22.48	T3 K	22.12	T4 K
7200.00	19.32	T1 K	28.14	T2 K	22.4	T3 K	22.06	T4 K
7800.00	19.68	T1 K	26.58	T2 K	22.28	T3 K	21.8	T4 K
8400.00	20.00	T1 K	25.14	T2 K	22.06	T3 K	21.7	T4 K
9000.00	20.18	T1 K	24.12	T2 K	21.96	T3 K	21.58	T4 K
9600.00	19.70	T1 K	25.06	T2 K	21.88	T3 K	21.42	T4 K
10200.00	18.76	T1 K	26.78	T2 K	21.68	T3 K	21.28	T4 K
10800.00	18.08	T1 K	27.78	T2 K	21.54	T3 K	21.22	T4 K
11400.00	17.52	T1 K	28.98	T2 K	21.42	T3 K	21.06	T4 K
12000.00	17.40	T1 K	28.96	T2 K	21.36	T3 K	21	T4 K
12600.00	17.34	T1 K	28.42	T2 K	21.16	T3 K	20.94	T4 K
13200.00	17.36	T1 K	28.16	T2 K	21.06	T3 K	20.86	T4 K
13800.00	17.38	T1 K	27.64	T2 K	20.92	T3 K	20.64	T4 K
14400.00	17.48	T1 K	26.9	T2 K	20.82	T3 K	20.62	T4 K
15000.00	17.62	T1 K	25.96	T2 K	20.72	T3 K	20.54	T4 K
15600.00	18.06	T1 K	24.66	T2 K	20.64	T3 K	20.36	T4 K
16200.00	18.30	T1 K	23.46	T2 K	20.68	T3 K	20.1	T4 K
16800.00	18.66	T1 K	21.94	T2 K	20.44	T3 K	20.04	T4 K
17400.00	18.96	T1 K	20.7	T2 K	20.3	T3 K	19.84	T4 K
18000.00	19.16	T1 K	19.94	T2 K	20.2	T3 K	19.74	T4 K
18600.00	19.12	T1 K	19.66	T2 K	20.02	T3 K	19.6	T4 K
19200.00	19.10	T1 K	19.56	T2 K	19.98	T3 K	19.46	T4 K
19800.00	19.02	T1 K	19.48	T2 K	19.84	T3 K	19.26	T4 K
20400.00	18.92	T1 K	19.5	T2 K	19.8	T3 K	19.26	T4 K
21000.00	18.82	T1 K	19.4	T2 K	19.72	T3 K	19.18	T4 K
21600.00	18.74	T1 K	19.38	T2 K	19.64	T3 K	19.1	T4 K
22200.00	18.72	T1 K	19.16	T2 K	19.52	T3 K	18.96	T4 K

22800.00	18.68	T1 K	19.08	T2 K	19.42	T3 K	18.88	T4 K
23400.00	18.58	T1 K	18.86	T2 K	19.32	T3 K	18.74	T4 K
24000.00	18.72	T1 K	18.38	T2 K	19.2	T3 K	18.62	T4 K
24600.00	18.74	T1 K	18	T2 K	19.12	T3 K	18.58	T4 K
25200.00	18.66	T1 K	18.04	T2 K	19.08	T3 K	18.58	T4 K
25800.00	18.58	T1 K	17.96	T2 K	19	T3 K	18.54	T4 K
26400.00	18.60	T1 K	17.72	T2 K	18.96	T3 K	18.48	T4 K
27000.00	18.48	T1 K	17.72	T2 K	18.8	T3 K	18.36	T4 K
27600.00	18.40	T1 K	17.96	T2 K	18.8	T3 K	18.32	T4 K
28200.00	18.32	T1 K	18.04	T2 K	18.78	T3 K	18.22	T4 K
28800.00	18.14	T1 K	18.16	T2 K	18.64	T3 K	18.04	T4 K
29400.00	17.96	T1 K	18.3	T2 K	18.54	T3 K	17.98	T4 K
30000.00	17.90	T1 K	18.34	T2 K	18.52	T3 K	17.82	T4 K
30600.00	17.80	T1 K	18.36	T2 K	18.44	T3 K	17.76	T4 K
31200.00	17.80	T1 K	18.42	T2 K	18.44	T3 K	17.7	T4 K
31800.00	17.78	T1 K	18.22	T2 K	18.36	T3 K	17.64	T4 K
32400.00	17.76	T1 K	18.3	T2 K	18.34	T3 K	17.6	T4 K
33000.00	17.64	T1 K	18.36	T2 K	18.26	T3 K	17.48	T4 K
33600.00	17.42	T1 K	18.88	T2 K	18.24	T3 K	17.4	T4 K
34200.00	17.22	T1 K	19.02	T2 K	18.14	T3 K	17.4	T4 K
34800.00	17.18	T1 K	19.26	T2 K	18.12	T3 K	17.32	T4 K
35400.00	17.04	T1 K	19.34	T2 K	18.06	T3 K	17.24	T4 K
36000.00	16.98	T1 K	19.46	T2 K	18	T3 K	17.16	T4 K
36600.00	16.84	T1 K	19.56	T2 K	17.94	T3 K	17.02	T4 K
37200.00	16.78	T1 K	19.68	T2 K	17.9	T3 K	16.92	T4 K
37800.00	16.74	T1 K	19.74	T2 K	17.86	T3 K	16.86	T4 K
38400.00	16.70	T1 K	19.72	T2 K	17.82	T3 K	16.8	T4 K
39000.00	16.60	T1 K	19.68	T2 K	17.7	T3 K	16.68	T4 K
39600.00	16.56	T1 K	19.68	T2 K	17.68	T3 K	16.6	T4 K
40200.00	16.56	T1 K	19.62	T2 K	17.66	T3 K	16.52	T4 K
40800.00	16.52	T1 K	19.6	T2 K	17.6	T3 K	16.48	T4 K
41400.00	16.50	T1 K	19.5	T2 K	17.54	T3 K	16.4	T4 K
42000.00	16.46	T1 K	19.42	T2 K	17.54	T3 K	16.48	T4 K
42600.00	16.52	T1 K	19.36	T2 K	17.48	T3 K	16.42	T4 K
43200.00	16.54	T1 K	19.24	T2 K	17.44	T3 K	16.36	T4 K
43800.00	16.56	T1 K	19.1	T2 K	17.42	T3 K	16.26	T4 K
44400.00	16.58	T1 K	18.88	T2 K	17.36	T3 K	16.18	T4 K
45000.00	16.60	T1 K	18.78	T2 K	17.42	T3 K	16.16	T4 K
45600.00	16.68	T1 K	18.64	T2 K	17.34	T3 K	16.1	T4 K
46200.00	16.70	T1 K	18.58	T2 K	17.36	T3 K	16.1	T4 K
46800.00	16.78	T1 K	18.46	T2 K	17.36	T3 K	16.18	T4 K
47400.00	16.74	T1 K	18.36	T2 K	17.32	T3 K	16.14	T4 K
48000.00	16.82	T1 K	18.38	T2 K	17.26	T3 K	16.2	T4 K
48600.00	16.80	T1 K	18.34	T2 K	17.3	T3 K	16.3	T4 K

49200.00	16.80	T1 K	18.24	T2 K	17.34	T3 K	16.26	T4 K
49800.00	16.84	T1 K	18.18	T2 K	17.38	T3 K	16.3	T4 K
50400.00	16.82	T1 K	18.1	T2 K	17.42	T3 K	16.48	T4 K
51000.00	16.86	T1 K	18.06	T2 K	17.44	T3 K	16.58	T4 K
51600.00	16.88	T1 K	18.02	T2 K	17.52	T3 K	16.6	T4 K
52200.00	16.88	T1 K	17.94	T2 K	17.56	T3 K	16.72	T4 K
52800.00	16.88	T1 K	17.96	T2 K	17.6	T3 K	16.96	T4 K
53400.00	16.88	T1 K	17.94	T2 K	17.6	T3 K	17.04	T4 K
54000.00	16.90	T1 K	17.96	T2 K	17.68	T3 K	17.1	T4 K
54600.00	16.96	T1 K	17.98	T2 K	17.8	T3 K	17.22	T4 K
55200.00	16.96	T1 K	17.96	T2 K	17.92	T3 K	17.32	T4 K
55800.00	17.02	T1 K	17.96	T2 K	18	T3 K	17.36	T4 K
56400.00	16.98	T1 K	18	T2 K	18.2	T3 K	17.54	T4 K
57000.00	17.00	T1 K	18.02	T2 K	18.4	T3 K	17.48	T4 K
57600.00	17.00	T1 K	18.02	T2 K	18.5	T3 K	17.6	T4 K
58200.00	17.00	T1 K	18.02	T2 K	18.68	T3 K	17.82	T4 K
58800.00	17.06	T1 K	18.02	T2 K	18.84	T3 K	17.96	T4 K
59400.00	17.08	T1 K	18.06	T2 K	18.98	T3 K	18.14	T4 K
60000.00	17.08	T1 K	18.1	T2 K	19.06	T3 K	18.56	T4 K
60600.00	17.14	T1 K	18.16	T2 K	19.16	T3 K	19.04	T4 K
61200.00	17.18	T1 K	18.26	T2 K	19.32	T3 K	19	T4 K
61800.00	17.24	T1 K	18.28	T2 K	19.46	T3 K	18.92	T4 K
62400.00	17.30	T1 K	18.38	T2 K	19.6	T3 K	19.56	T4 K
63000.00	17.34	T1 K	18.44	T2 K	19.76	T3 K	19.58	T4 K
63600.00	17.40	T1 K	18.54	T2 K	19.96	T3 K	19.4	T4 K
64200.00	17.50	T1 K	18.6	T2 K	20.14	T3 K	19.2	T4 K
64800.00	17.56	T1 K	18.68	T2 K	20.3	T3 K	19.58	T4 K
65400.00	17.70	T1 K	18.76	T2 K	20.62	T3 K	19.56	T4 K
66000.00	17.70	T1 K	18.86	T2 K	20.9	T3 K	19.4	T4 K
66600.00	17.76	T1 K	18.86	T2 K	21	T3 K	19.52	T4 K
67200.00	17.84	T1 K	18.96	T2 K	21.22	T3 K	19.46	T4 K
67800.00	17.90	T1 K	19.04	T2 K	21.34	T3 K	19.72	T4 K
68400.00	18.00	T1 K	19.08	T2 K	21.48	T3 K	19.68	T4 K
69000.00	18.06	T1 K	19.12	T2 K	21.56	T3 K	20.32	T4 K
69600.00	18.14	T1 K	19.16	T2 K	21.76	T3 K	20.42	T4 K
70200.00	18.26	T1 K	19.2	T2 K	21.9	T3 K	20.4	T4 K
70800.00	18.34	T1 K	19.18	T2 K	21.9	T3 K	20.26	T4 K
71400.00	18.42	T1 K	19.24	T2 K	21.92	T3 K	20.9	T4 K
72000.00	18.48	T1 K	19.28	T2 K	21.98	T3 K	21.12	T4 K
72600.00	18.64	T1 K	19.34	T2 K	22.12	T3 K	20.96	T4 K
73200.00	18.70	T1 K	19.38	T2 K	22.14	T3 K	20.88	T4 K
73800.00	18.76	T1 K	19.46	T2 K	22.3	T3 K	20.98	T4 K
74400.00	18.86	T1 K	19.5	T2 K	22.46	T3 K	20.56	T4 K
75000.00	18.94	T1 K	19.52	T2 K	22.56	T3 K	20.8	T4 K

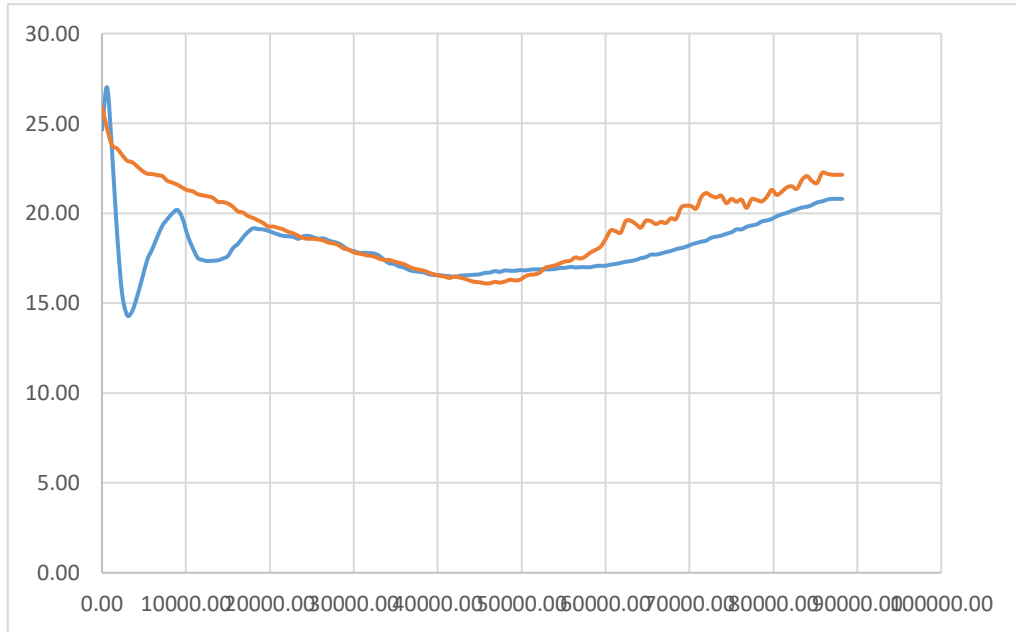
75600.00	19.10	T1 K	19.58	T2 K	22.74	T3 K	20.64	T4 K
76200.00	19.10	T1 K	19.62	T2 K	22.82	T3 K	20.76	T4 K
76800.00	19.24	T1 K	19.62	T2 K	22.92	T3 K	20.3	T4 K
77400.00	19.32	T1 K	19.68	T2 K	23	T3 K	20.78	T4 K
78000.00	19.38	T1 K	19.7	T2 K	23	T3 K	20.74	T4 K
78600.00	19.54	T1 K	19.74	T2 K	23.08	T3 K	20.66	T4 K
79200.00	19.60	T1 K	19.72	T2 K	23.04	T3 K	20.9	T4 K
79800.00	19.68	T1 K	19.68	T2 K	22.96	T3 K	21.3	T4 K
80400.00	19.84	T1 K	19.64	T2 K	22.96	T3 K	21.02	T4 K
81000.00	19.94	T1 K	19.58	T2 K	22.9	T3 K	21.2	T4 K
81600.00	20.02	T1 K	19.54	T2 K	22.9	T3 K	21.44	T4 K
82200.00	20.14	T1 K	19.56	T2 K	22.88	T3 K	21.5	T4 K
82800.00	20.22	T1 K	19.54	T2 K	22.88	T3 K	21.36	T4 K
83400.00	20.32	T1 K	19.52	T2 K	22.9	T3 K	21.86	T4 K
84000.00	20.36	T1 K	19.48	T2 K	22.84	T3 K	22.06	T4 K
84600.00	20.46	T1 K	19.48	T2 K	23	T3 K	21.8	T4 K
85200.00	20.60	T1 K	19.5	T2 K	22.94	T3 K	21.68	T4 K
85800.00	20.66	T1 K	19.46	T2 K	22.96	T3 K	22.24	T4 K
86400.00	20.76	T1 K	19.48	T2 K	22.96	T3 K	22.2	T4 K
87000.00	20.80	T1 K	19.44	T2 K	22.92	T3 K	22.14	T4 K
87600.00	20.80	T1 K	19.44	T2 K	22.92	T3 K	22.14	T4 K
88200.00	20.80	T1 K	19.44	T2 K	22.92	T3 K	22.14	T4 K

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 19

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura promedio registrada en T1 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura promedio registrada en T4 K del ambiente

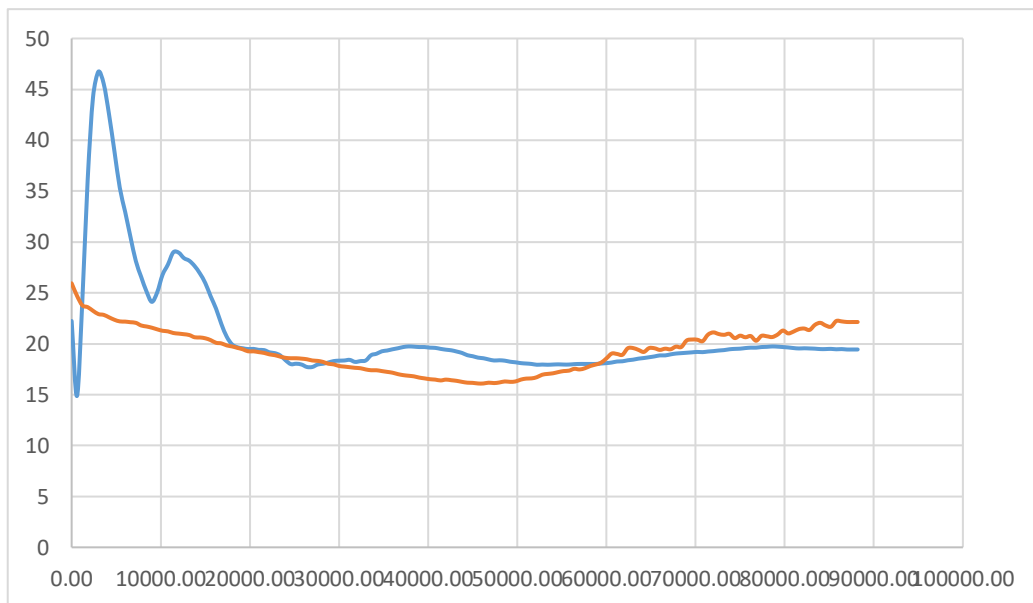


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 20

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura promedio registrada en T2 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura promedio registrada en T4 K del ambiente

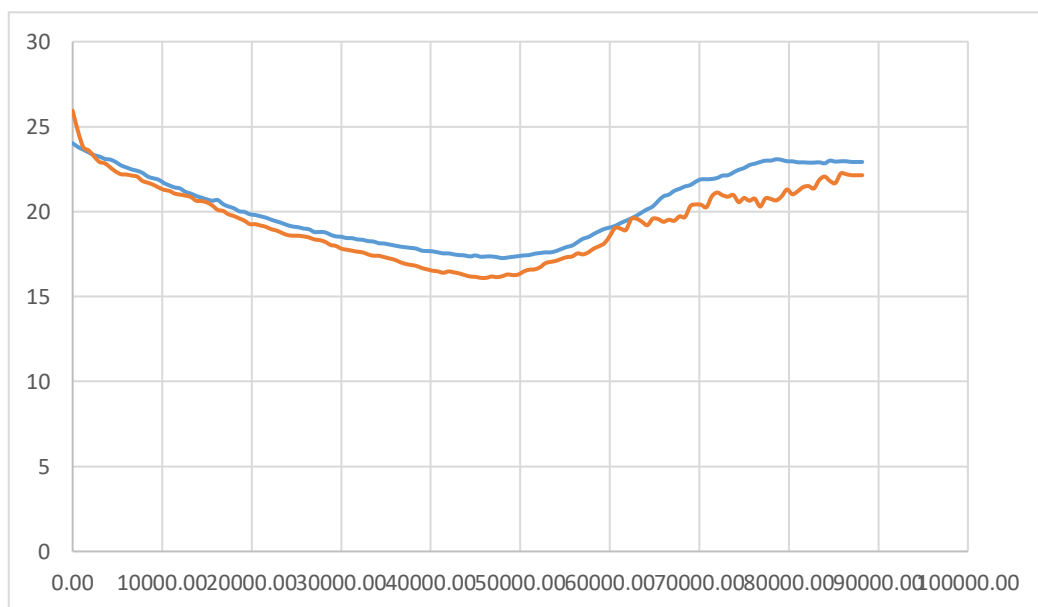


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 21

Curva de comportamiento térmico

En color azul, la variación de la temperatura promedio registrada en T3 K para $f'c=210$ kg/cm² (Tipo 1); en color rojo, la variación de la temperatura promedio registrada en T4 K del ambiente



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y MODELACIÓN MATEMÁTICA

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los gráficos obtenidos del promedio de las mediciones realizadas por cada tipo de cemento y diseño respectivamente los datos de estos gráficos, como se ha indicado, se presentan en un archivo digital (CD) que adjuntamos con la tesis. El primer gráfico corresponde al T1K; el del medio, al T2K y el de abajo, al T3K, todos ellos comparados con el T4K (línea roja) que corresponde al medio ambiente. Los resultados serán comentados y comparados con las resistencias a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto.

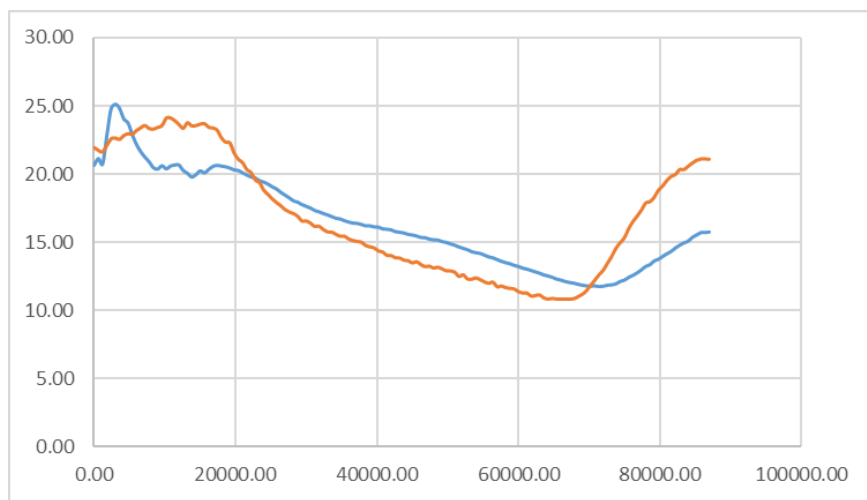
CEMENTO 1P $F'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

En T1K, se tiene la mayor temperatura registrada con un pico de $24,78^\circ\text{C}$; esta se incrementa en referencia a la temperatura inicial del concreto en $4,15^\circ\text{C}$ en un tiempo 40 min. El comportamiento entre la temperatura de concreto y del ambiente difieren desde el inicio hasta

las 6h 20m en donde ambas curvas tienen un comportamiento y acompañamiento muy parecido.

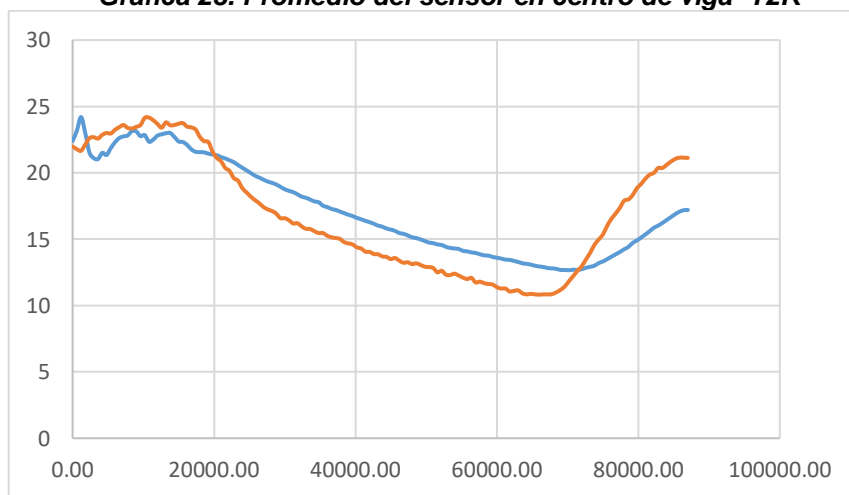
En T2K, la temperatura pico alcanza 24,2°C, la cual es ligeramente menor; sin embargo, observamos que el acompañamiento dentro la 5h 50m iniciales es uniforme; posterior a esto, ambas curvas tienen un comportamiento y acompañamiento muy parecido

Gráfica 22. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K.



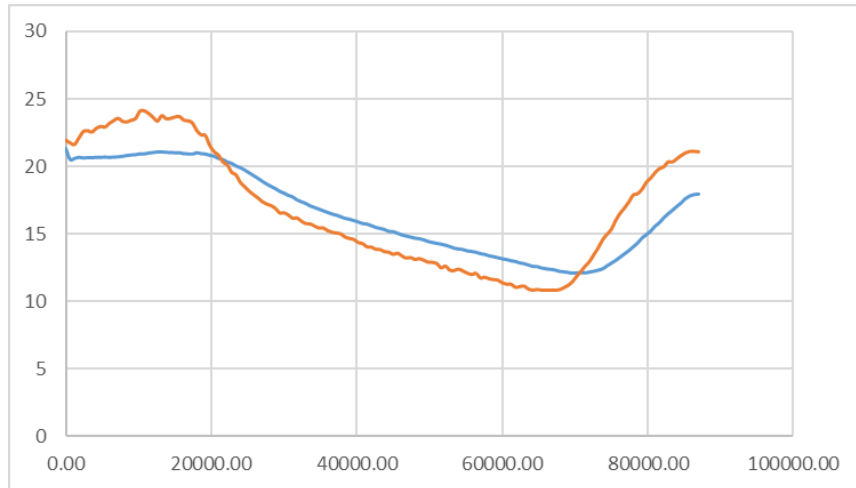
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 23. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 24. Promedio del sensor en cilindro -T3K



Fuente: Elaboración Propia

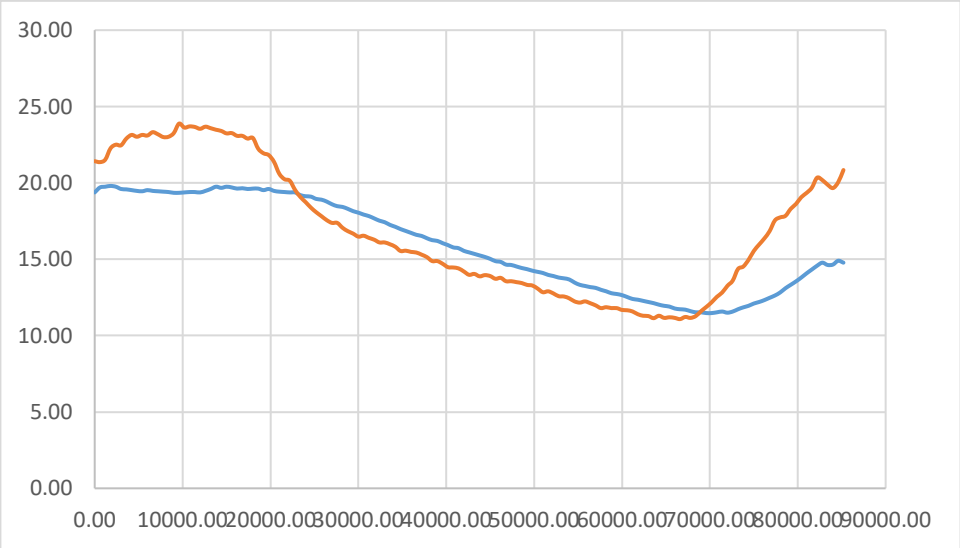
En T3K al inicio del vaciado registra una temperatura promedio de 21,28°C, y a partir de ahí, observamos que las temperaturas descienden si se mantienen constantes sin mayor variación de incremento de temperatura hasta las 6 horas; y luego de este período, ambas curvas tienen un comportamiento muy parecido.

CEMENTO 1P $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$

En T1K, se tiene la mayor temperatura registrada con un pico de 19,78°C, esta se mantiene en ese rango durante un tiempo de 6 horas 30 minutos (intersección) y a partir de este período, empieza el descenso de la temperatura y ambas curvas tienen un comportamiento y acompañamiento muy parecido.

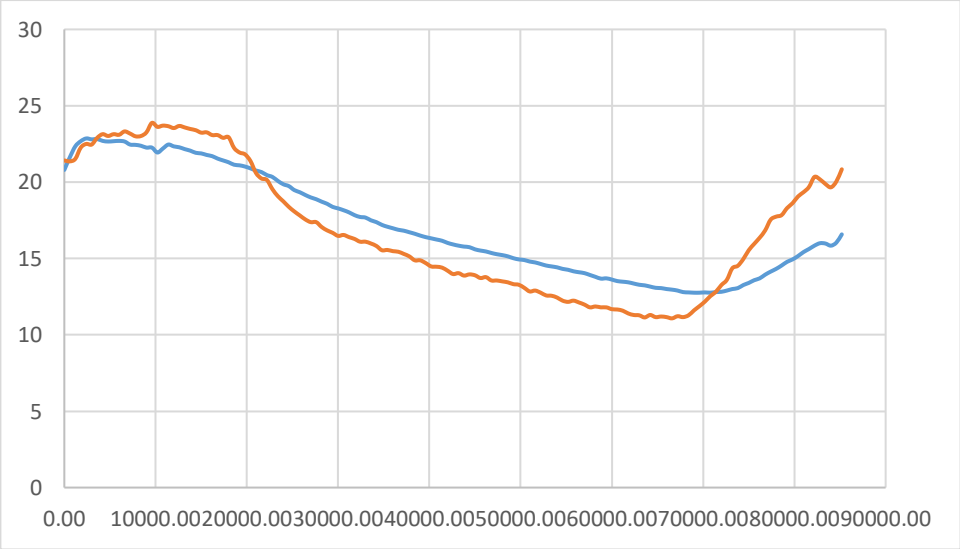
En T2K la temperatura pico alcanza 22,86°C, descendiendo hasta los 20,24°C en un tiempo de 6 horas (intersección). A partir de este período, empieza el descenso de la temperatura y ambas curvas

Gráfica 25. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K



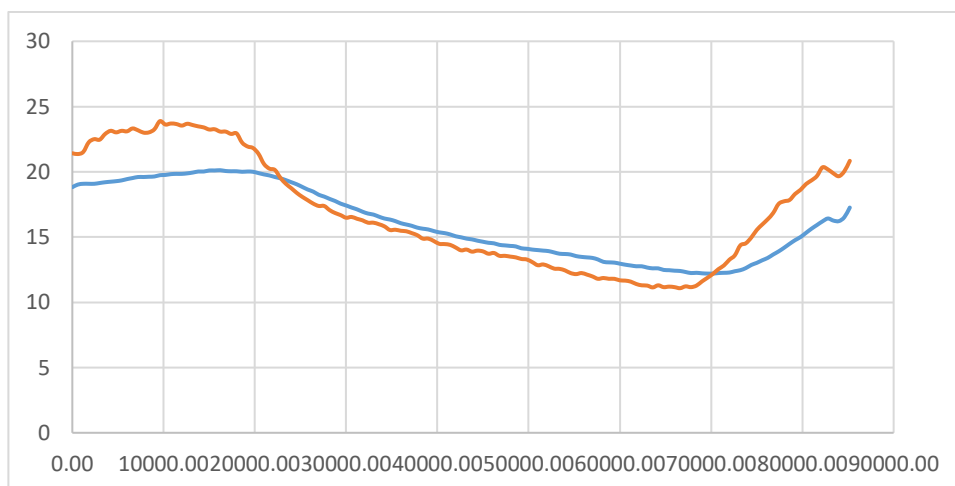
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 26. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 27. Promedio del sensor en cilindro -T3K



Fuente: Elaboración Propia

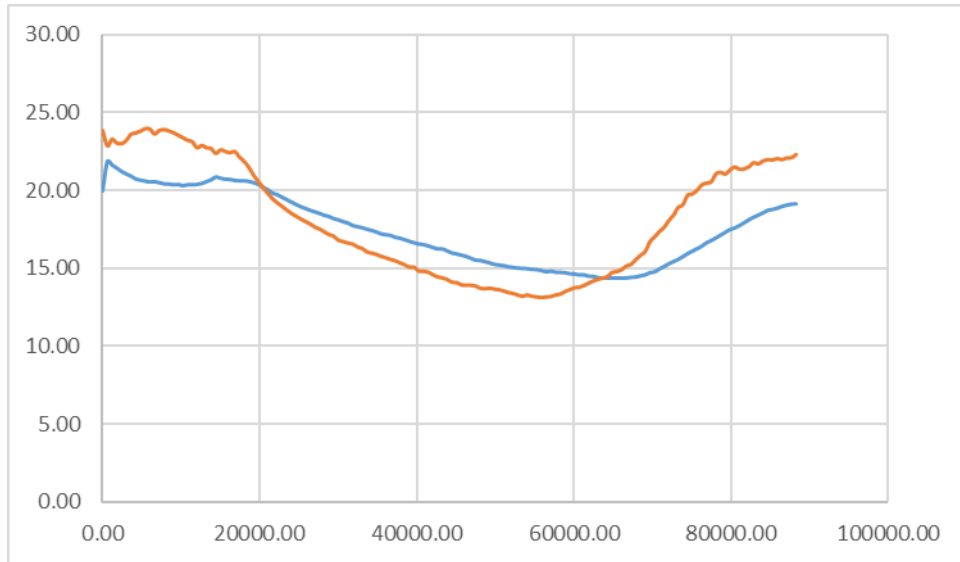
En T3K, al inicio del vaciado registrará una temperatura promedio de 18,82°C y a partir de ahí observamos que la temperatura se incrementa ligeramente hasta alcanzar 20,12°C y luego, de este período, ambas curvas tienen un comportamiento muy parecido

CEMENTO HE $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

En T1K, inicia con una temperatura de 19,98°C; y en 10 minutos sube la temperatura hasta de 21,88°C y luego, desciende hasta 19,22°C en un tiempo de 6 horas 10 minutos (intersección) y a partir de ese momento ambas curvas, tienen un comportamiento muy parecido.

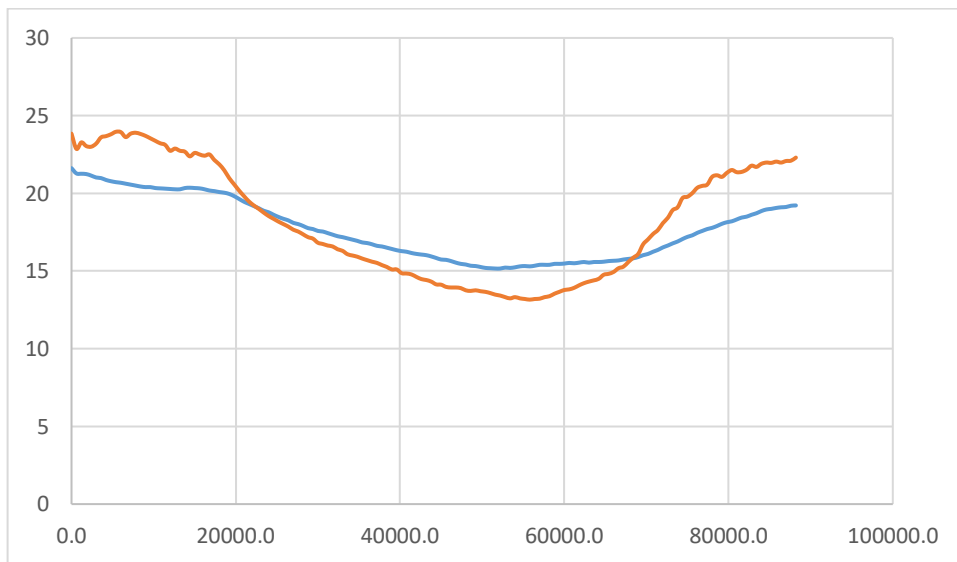
En T2K, la temperatura inicial 21,62°C, descendiendo hasta los 19°C; en un tiempo de 6 horas (intersección) y, ambas curvas, tienen un comportamiento muy parecido

Gráfica 28. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K



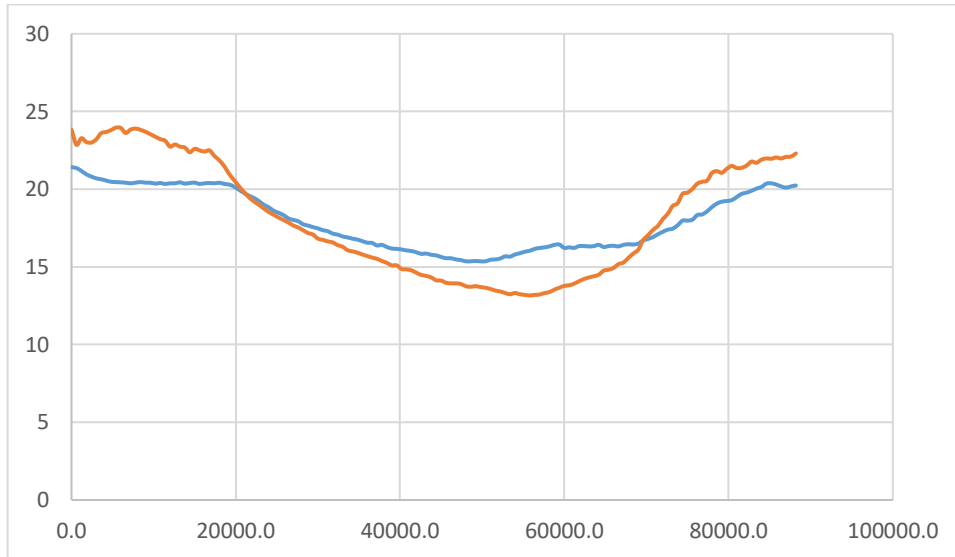
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 29. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 30. Promedio del sensor en cilindro -T3K



Fuente: Elaboración Propia

En T3K, al inicio del vaciado se registró una temperatura promedio de 21,42°C y, a partir de ahí, observamos que la temperatura y ambas curvas tienen un comportamiento muy parecido a T2K.

Los tres sensores tienen el mismo comportamiento con temperaturas muy parecidas.

CEMENTO HE $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

En T1K, la temperatura inicial es de 24,18°C ésta se incrementa ligeramente hasta alcanzar los 24,84°C. El comportamiento de ambas curvas T1K y T4K tienen un comportamiento similar a lo largo de las 24 horas.

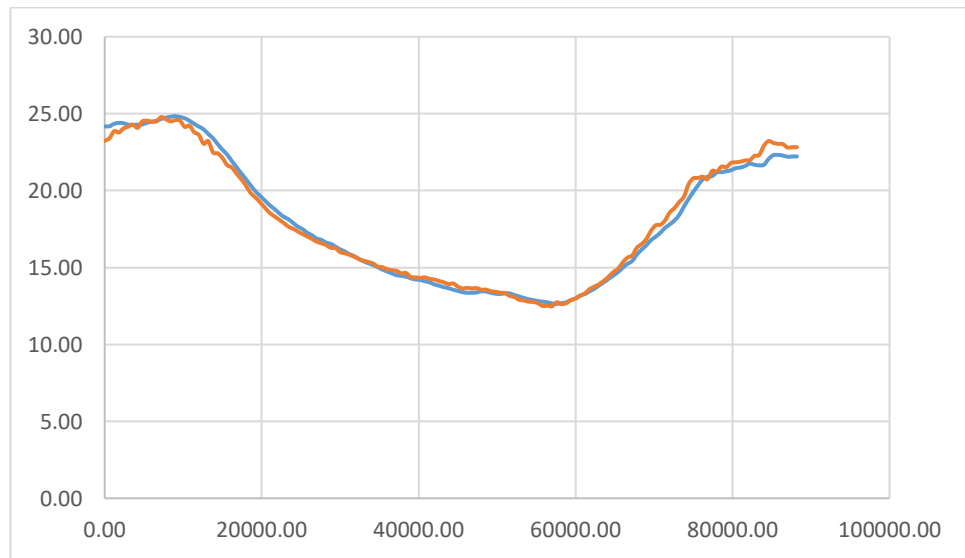
En T2K, la temperatura inicial fue de 21,6°C, descendiendo por un espacio de 1 hora hasta los 20,36 °C, a partir de este instante se mantiene constante por espacio de 5 horas 10 min (intersección) y ambas curvas tienen un comportamiento muy parecido.

En T3K, la temperatura inicial de la mezcla fue de 22,22 °C y sufre un ligero incremento en su temperatura hasta un pico de 23,06 °C para

luego descender y de esta forma tener un comportamiento y acompañamiento muy parecido que la temperatura del sensor T4K.

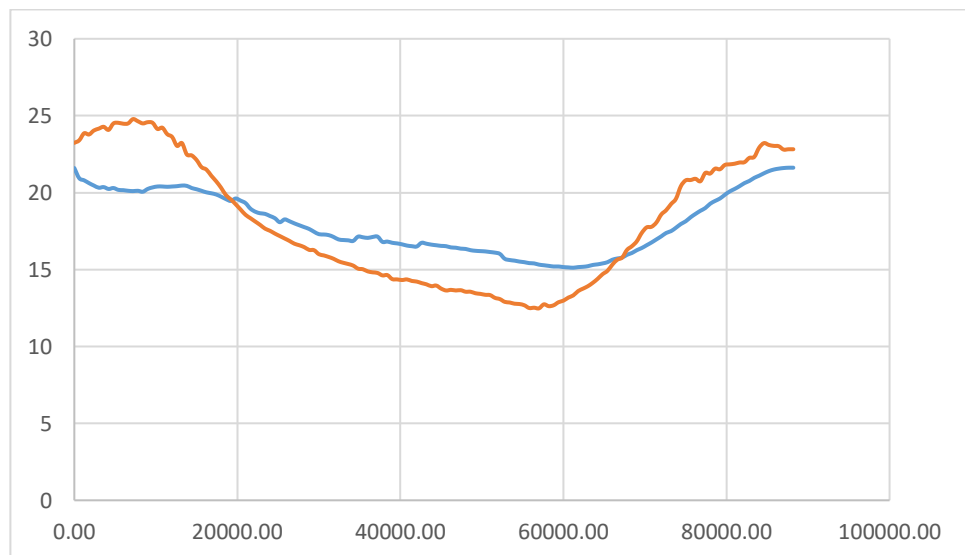
Destacamos el caso del sensor T1K, que prácticamente ha tenido un comportamiento muy similar a la temperatura ambiente, las temperaturas registradas no denotan incrementos significativos, sus **variaciones son mínimas.**

Gráfica 31. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K



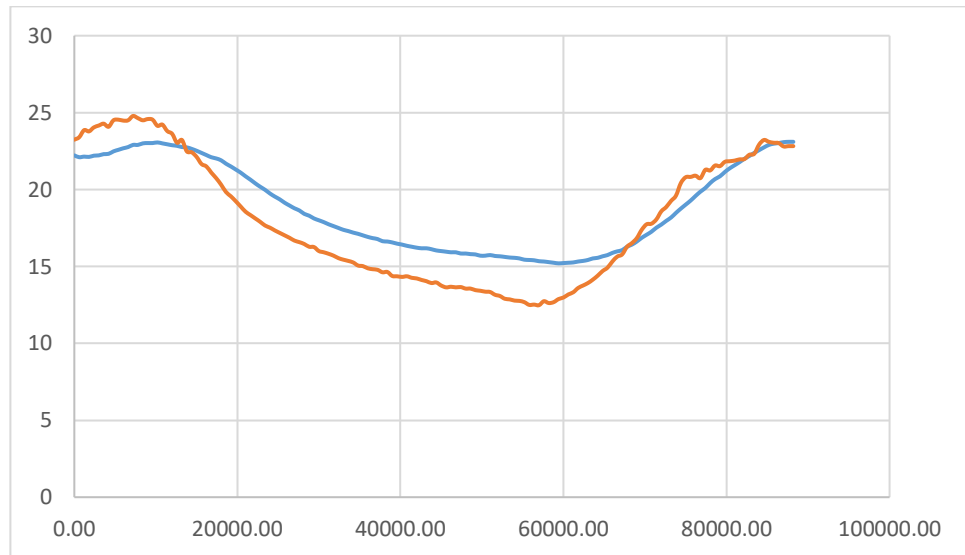
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 32. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 33: Promedio del sensor en cilindro -T3K



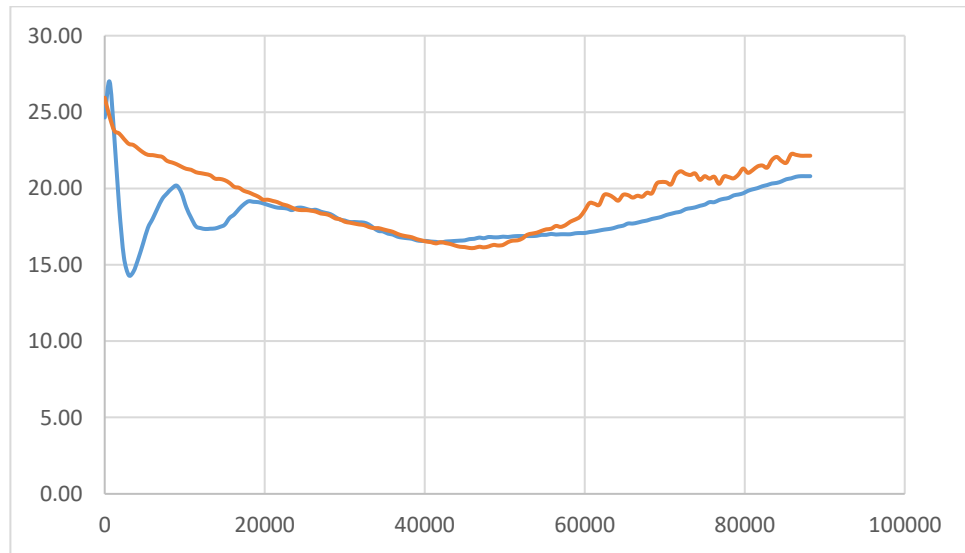
Fuente: Elaboración Propia

CEMENTO TIPO 1 $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

En T1K, se tiene un inicio de 24,64 °C y se observa un incremento brusco hasta alcanzar la mayor temperatura registrada con un pico de 27°C, para luego descender abruptamente hasta 14,32 °C y luego volver a incrementar hasta 20,32°C de forma sinusoidal. A partir de las 5 horas y 50 minutos se estabiliza y ambas curvas tienen un comportamiento y acompañamiento muy parecido. Su gradiente térmico es de 10,32°C

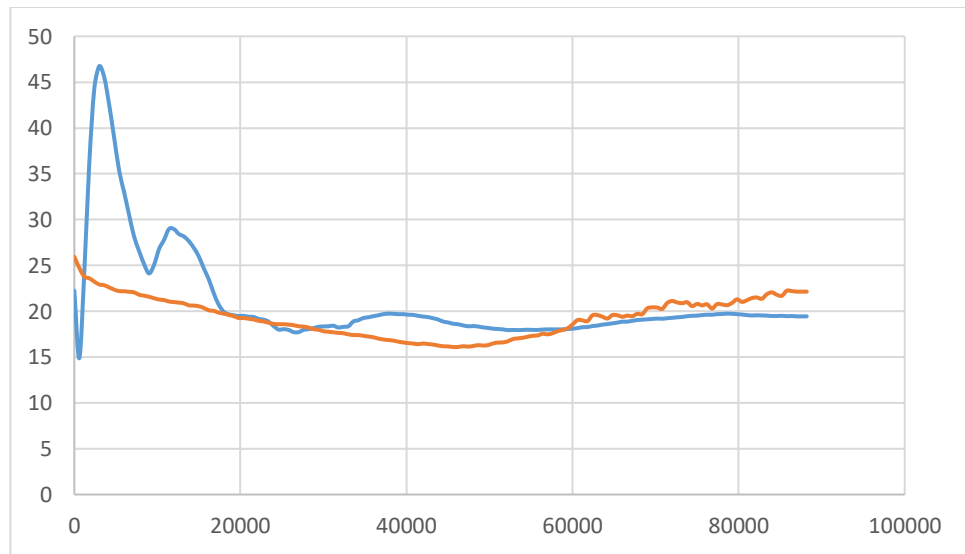
En T2K, observamos un comportamiento sinusoidal teniendo descenso inicial hasta los 14,84°C, para inmediatamente incrementar hasta una temperatura pico que alcanza 46,74°C, en un tiempo de 50 minutos y a partir las 6 horas, ambas curvas se comportan parecidamente.

Gráfica 34. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K



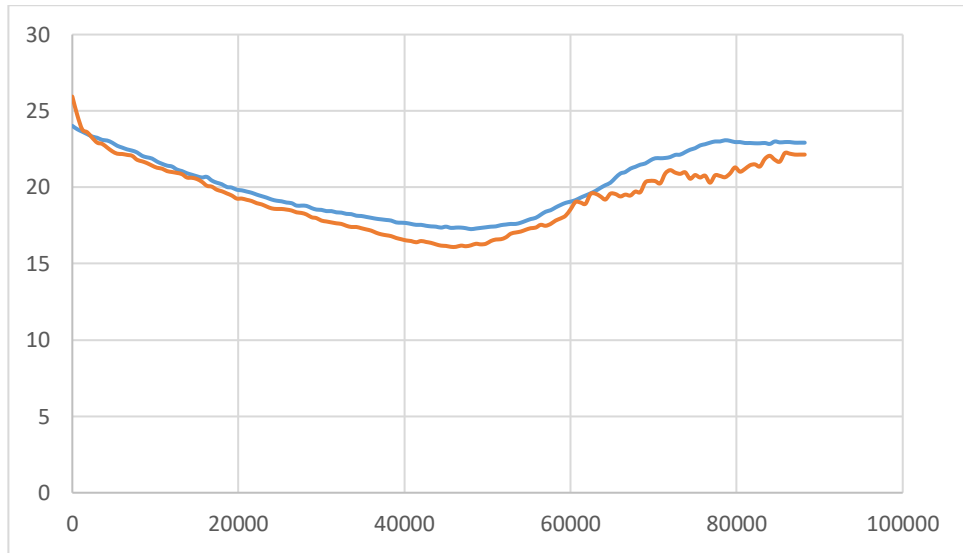
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 35. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 36. Promedio del sensor en cilindro -T3K



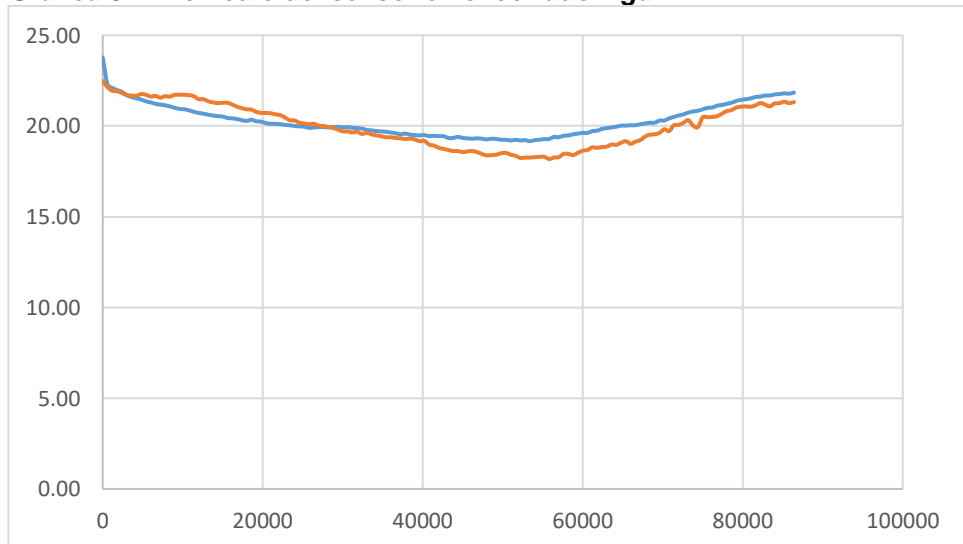
Fuente: Elaboración Propia

En T3K, la temperatura inicial es de 24,02°C; esta empieza a descender el comportamiento de ambas curvas, T3K y T4K tienen un comportamiento gemelo a lo largo de las 24 horas.

CEMENTO TIPO 1 $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

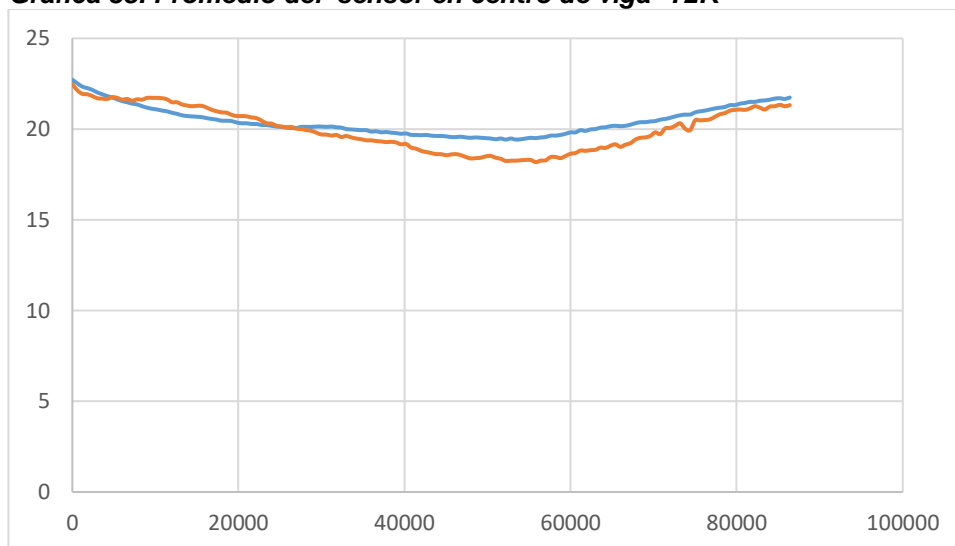
Observamos que para los tres sensores en este experimento tienen un comportamiento gemelo, la mayor temperatura registrada es de 24,64°C.

Gráfica 37. Promedio del sensor en encofrado viga -T1K



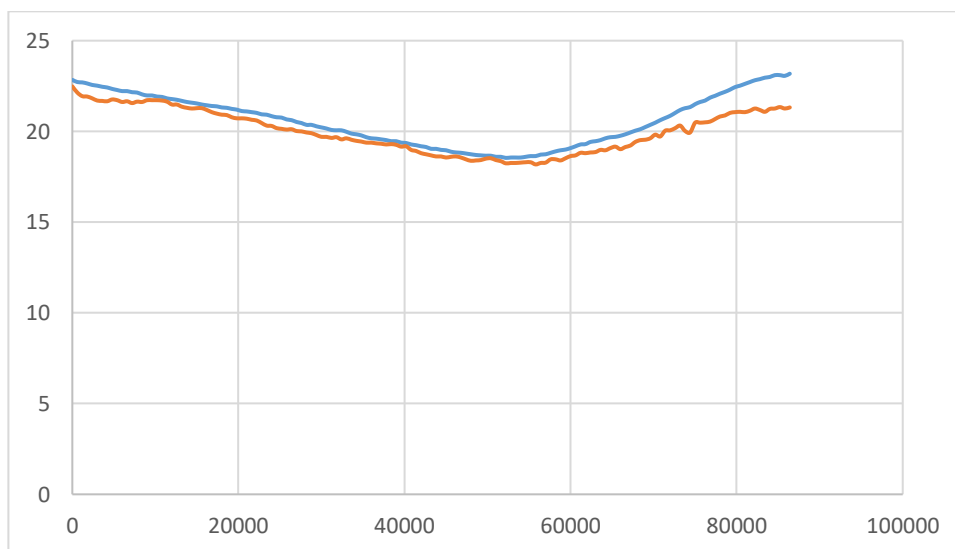
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 38. Promedio del sensor en centro de viga -T2K



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 39. Promedio del sensor en cilindro -T3K



Fuente: Elaboración Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Para esta investigación, se ha considerado la rotura de tres especímenes para cada ensayo; en cada tipo de cemento y por cada diseño de mezcla se hicieron series de cinco. En total, se han ensayado 180 especímenes.

Los especímenes empleados en el ensayo de resistencia a la comprensión no eran los mismos de aquellos en donde se registró la temperatura. Esto con el propósito que el ducto que contenía el sensor para medir la temperatura, no fuera causa de que la resistencia fuera distorsionada.

A continuación, presentamos una tabla en la que se muestran los ensayos de 7 días y 28 días.

Tabla 37
Resistencias del Concreto para 7 y 28 días

Ensayos de compresión Kg/cm ²					
	7 días	28 días	7 días	28 días	
	f'c=210 Kg/cm ²		f'c=210 Kg/cm ²		
1	294	407	361	460	1P
2	259	370	361	445	
3	225	455	280	412	
4	254	348	345	345	
5	251	341	340	348	
Prom.	257	384	338	402	
1	335	408	463	548	HE
2	313	410	437	545	
3	311	403	434	555	
4	308	409	434	545	
5	298	414	427	536	
Prom.	313	409	439	546	
1	299	415	416	537	1
2	294	414	418	534	
3	302	407	409	532	
4	305	406	411	530	
5	305	408	409	533	
Prom.	301	410	413	533	

Fuente: Elaboración Propia

En los diseños de mezclas, se han empleado las mismas cantidades de cemento en peso; es decir, que fue una constante. Podemos observar en el cuadro que las resistencias son distintas y guardando un orden de menor a mayor para los ensayos de 7 y 28

días; tenemos que estas resistencias son cemento puzolánico tipo 1P, seguido del cemento tipo 1 y el de mayor resistencia fue el cemento tipo HE.

El método mejorado de Schimidt considera el concepto equivalente entre la edad del concreto y el modelo empírico para el calor de hidratación; en función a la composición química del cemento y las proporciones del diseño de mezcla del concreto ⁴. Vease la fórmula (7) de la p.23.

Si consideramos la forma presentada en la figura N°1 del ítem 2.1.2 y a semejanza del caso de estudio de Bobko, Zadeh, Serácino, 2015 – podemos señalar que el sensor T2K representa el de temperatura más crítica por estar ubicado en la parte central del nodo. El cemento HE fue el que menor incremento de temperatura registró, obteniéndose una mayor resistencia a la compresión.

4.2. METODOLOGÍA PARA EL MODELO REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE (RLM)

El análisis de regresión es un método para investigar (descubrir) la relación funcional entre dos variables; por ejemplo, el salario y el grado de educación de las personas en una empresa, la temperatura en el fraguado de una mezcla con cemento y el tipo de cemento.

Las variables son relacionadas por medio de una ecuación o modelo. Así, la variable respuesta (Y) es relacionada con un conjunto de variables llamadas explicativas o también llamadas de predicción.

El interés en análisis de regresión es modelar el efecto de un conjunto de variables explicativas x_1, x_2, \dots, x_p sobre la variable respuesta Y . Pero es importante diferenciar el tipo de relación entre estas variables. En el análisis de regresión, se considera una relación estadística entre los predictores y la variable respuesta Y .

$$Y = f(\mathbf{x}) + \varepsilon, \quad (10)$$

Donde $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ y ε representa la discrepancia, desvío o error aleatorio de $f(x)$ en la aproximación.

El modelo de regresión lineal múltiple asume que la forma funcional entre \mathbf{x} y Y es de la forma

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (11)$$

En que $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ son los coeficientes (efectos) asociados a cada uno de las variables explicativas y ε es el error aleatorio. Los coeficientes son parámetros del modelo lineal RLM y serán estimados considerando un conjunto de datos. Al término β_0 se le denomina intercepto.

En esta investigación se considerará la metodología de regresión lineal múltiple para obtener los modelos para los datos encontrados en la experimentación.

A fin de estimar los parámetros en la regresión $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$, se consideran los datos y_i y $\mathbf{x}_i = (1, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})^T$, $i = 1, \dots, n$ y para cada observación se tiene

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i \quad (12)$$

Esto implica escribir en forma matricial

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon},$$

En que

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix}$$

Además de ello, se asume que la matriz X es de rango completo; esto es, $\text{rank}(X) = p + 1$. Nótese que p es el número de variables explicativas.

SUPOSICIONES EN EL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL

- La media (valor esperado) de los errores es cero.
- Los errores $\hat{\epsilon}_i$ son no correlacionados e independientes.
- La varianza de los errores $\hat{\epsilon}_i$ es σ^2 lo que implica que todos los errores tienen la misma varianza, esta propiedad se denomina homocedasticidad.
- A fin de realizar inferencias estadísticas, se asume que los errores tienen una distribución normal con media 0 y varianza σ^2 .

ESTIMACIÓN

El método para estimar los parámetros del modelo RLM considerando el método de mínimos cuadrados que consiste en minimizar la función.

$$LS(\boldsymbol{\beta}, \sigma^2) = \sum_{i=1}^n (y_i - x_i^T \boldsymbol{\beta})^2 \quad (13)$$

En relación a $\boldsymbol{\beta}$. Los valores estimados $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ es dado por

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (XX^T)^{-1} X^T \mathbf{y} \quad (14)$$

MODELOS DE REGRESIÓN POLINÓMICA

Ajustar un polinomio a un conjunto de datos es un caso particular en el modelo RLM. En este sentido, los polinomios que se pueden considerar considerando una sola variable o más variables.

Por ejemplo, un modelo de regresión polinomial de tercer orden considerando una variable es dada por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \quad (15)$$

En este contexto, modelos de regresión polinomial que consideran dos variables se denominan superficies de respuesta, estos modelos son utilizados en situaciones donde la variable respuesta; tiene un comportamiento curvilíneo. Así, por ejemplo, un modelo de regresión polinomial de segundo orden con dos variables es dada por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon \quad (16)$$

En este trabajo, será considerado modelos de regresión polinomial.

SELECCIÓN DE ORDEN DEL POLINOMIO

La selección del orden debe ser elegido de tal forma que exista una armonía entre el grado del polinomio, y el ajuste de los datos. Existen varios criterios, el criterio a ser usado será el coeficiente de determinación ajustada.

$$R_{adj} = 1 - \frac{n-1}{n-p-1} (1 - R^2) \quad (17)$$

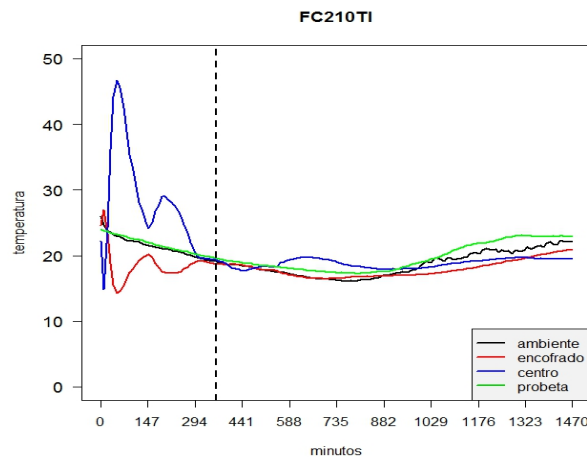
4.3 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

GRÁFICAS GENERALES

Para el análisis de datos, se consideraron dos etapas, la primera en las 6 horas iniciales de fragua y la segunda etapa para el resto de tiempo hasta completar las 24 horas. A continuación, se presenta las gráficas generales en donde para todos los casos se tendrá la siguiente consideración: temperatura ambiente (color negro), temperatura del encofrado de viga (color rojo), temperatura del centro de viga (color azul) y temperatura de la probeta (color verde).

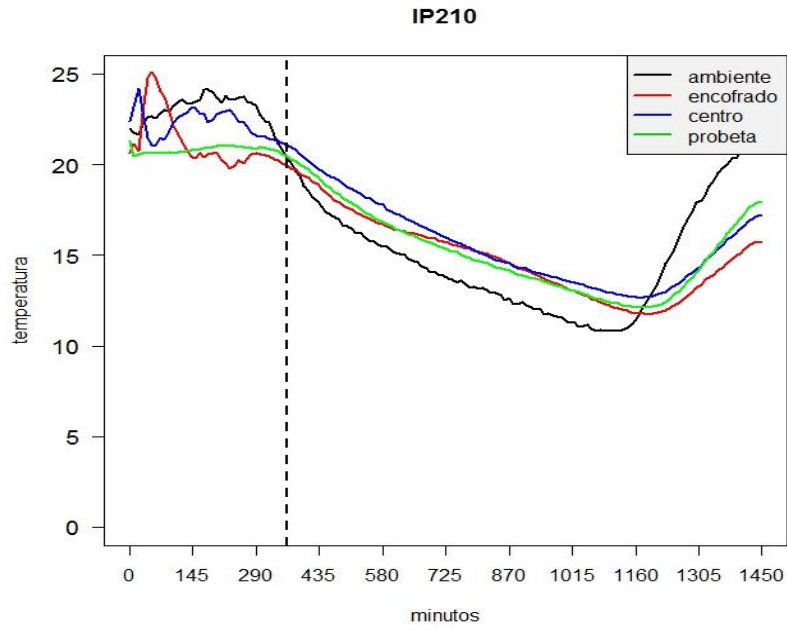
Con estas gráficas se puede establecer la diferencia entre las dos resistencias $f'c=210$ Kg/cm² y $f'c=280$ Kg/cm² y sus comportamientos térmicos debido al contenido de cemento demandado para cada diseño.

Gráfica 40
Control de temperatura del concreto $f'c=210$ kg/cm² para cemento T1



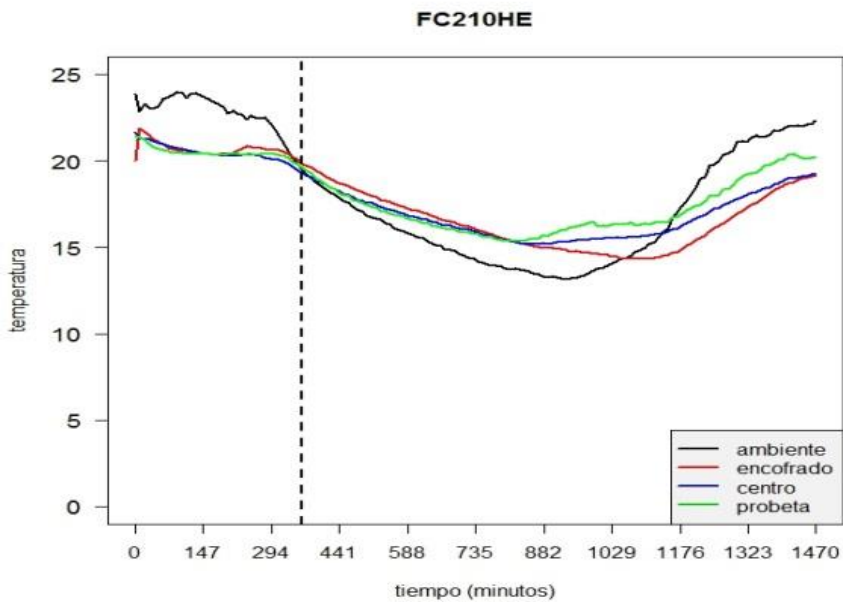
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 41
Control de temperatura del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



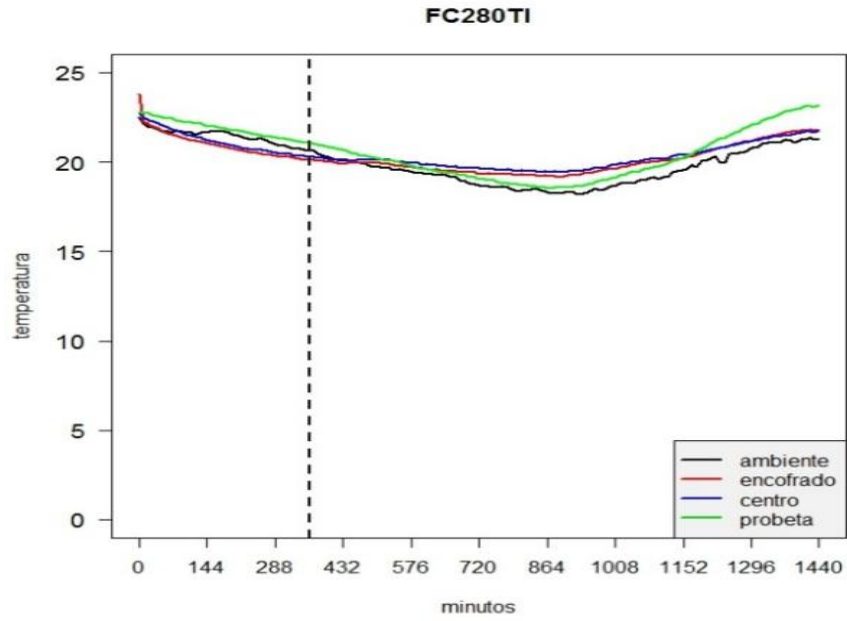
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 42
Control de temperatura del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



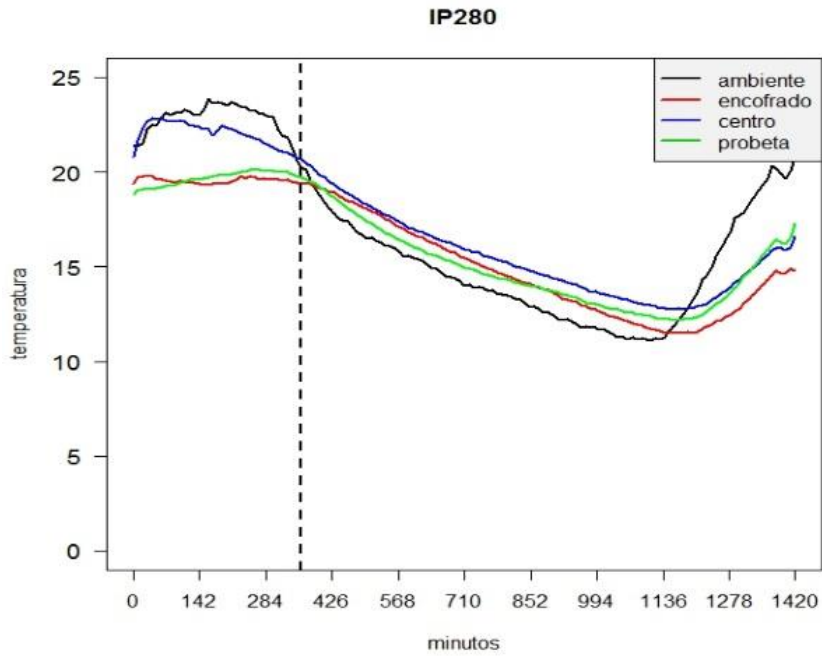
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 43
Control de temperatura del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1



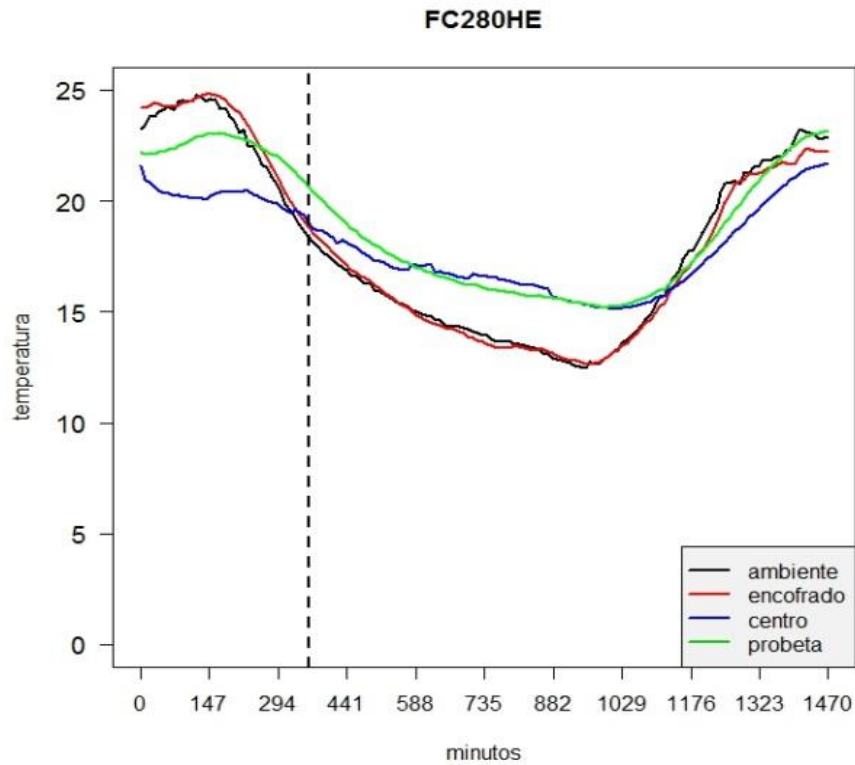
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 44
Control de temperatura del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 45
Control de temperatura del concreto $f'c=280$ kg/cm² para cemento HE

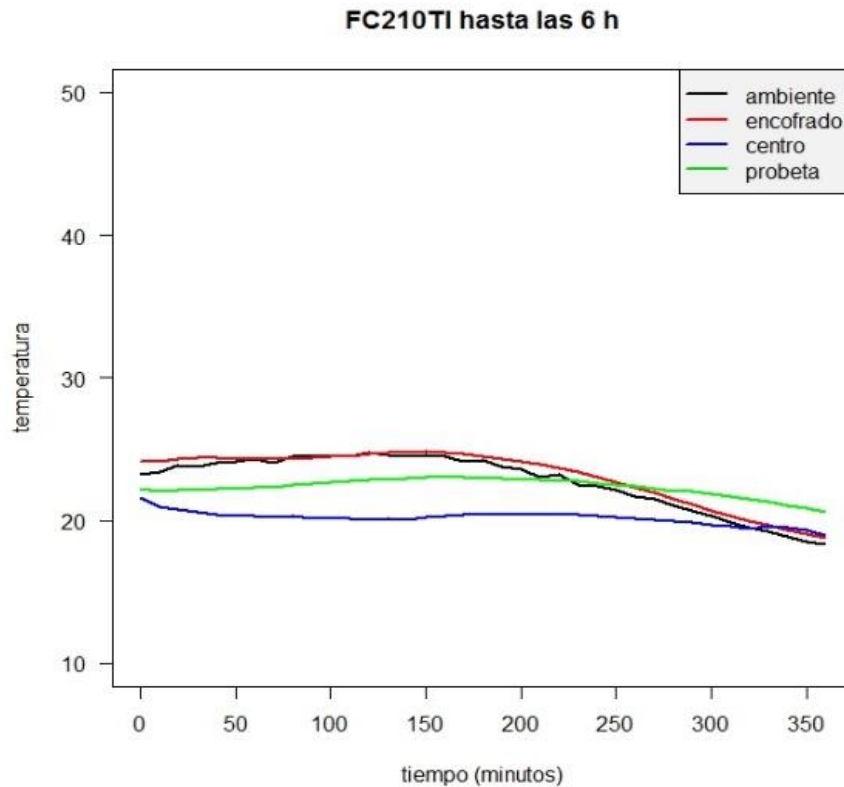


Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA $F'c$ 210 kg/cm², CEMENTO T1 – PRIMERA ETAPA

En el siguiente gráfico, se muestra las temperaturas de los promedios de las muestras. Se observa que en la curva de T2K y T3K no tienen un comportamiento similar a la temperatura del ambiente (T4K) a diferencia de la T1K que sigue un comportamiento similar.

Gráfica 46
Temperaturas del concreto $f'c=210$ kg/cm² para cemento T1 – 1° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla siendo: $x = T4K$; $y_1 = T1K$; $y_2 = T2K$ y $y_3 = T3K$.

Tabla 43
Correlación de variables del concreto $f'c=210$ kg/cm² con cemento T1

	t1	x	y1	y2	y3
t1	1.000	-0.9654	-0.1392	-0.6086	-0.9981
x	-0.9654	1.000	0.3099	0.4569	0.9712

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo “t1” y la temperatura del ambiente “x” (T4K) es fuerte y negativa. La correlación entre “t1” y “T1K” es negativa y debil, “T2K” moderada y “T3K” es fuerte. La temperatura ambiente tiene una correlación moderada a fuerte con las demás muestras.

4.3.1. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

El modelo estadístico considerado para “y1” es un modelo polinomial en función de la temperatura ambiental (T4K); esto debido al hecho que entre estas variables se tiene una correlación mayor que en relación a “t1”.

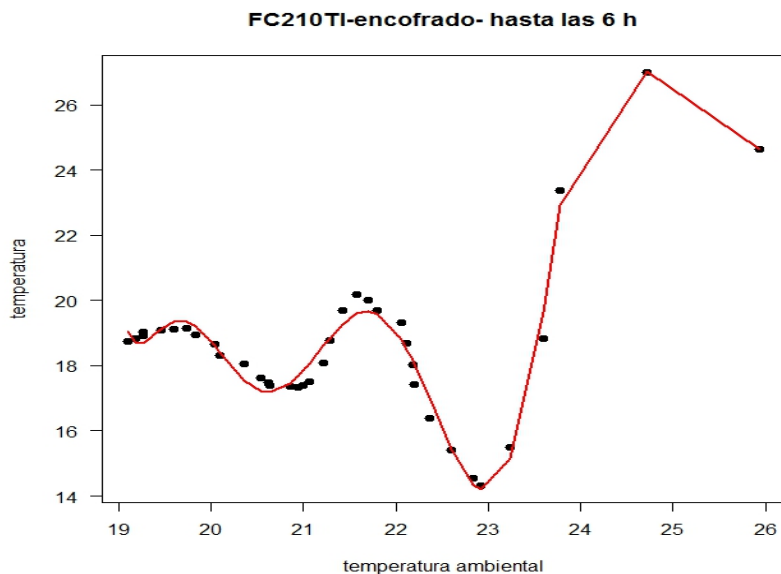
Así, el modelo estimado para y1 es dado por:

$$\hat{y}_1 = 18.62 - 4.49w + 8.18w^2 + 1.52w^3 - 3.786w^4 - 6.13w^5 - 3.18w^6 + 5.24w^7 + 5.13w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . A partir del grado 8, se tiene un ajuste adecuado a los datos.

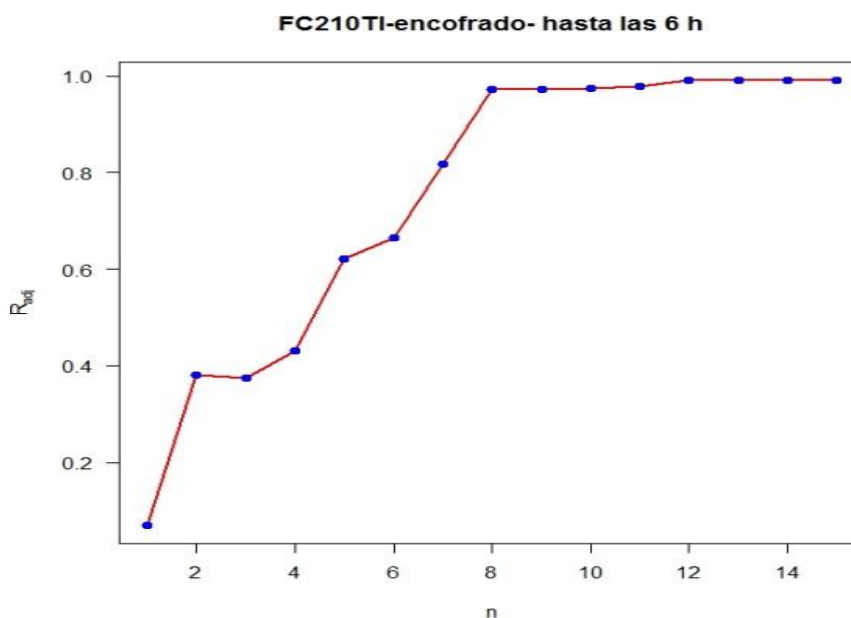
Gráfica 47

Ajuste del modelo polinomial T1K (encofrado) y T4K (ambiente) para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1



Gráfica 48

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1



Fuente:

Elaboración Propia

4.3.2. MODELO PARA T2K (CENTRO)

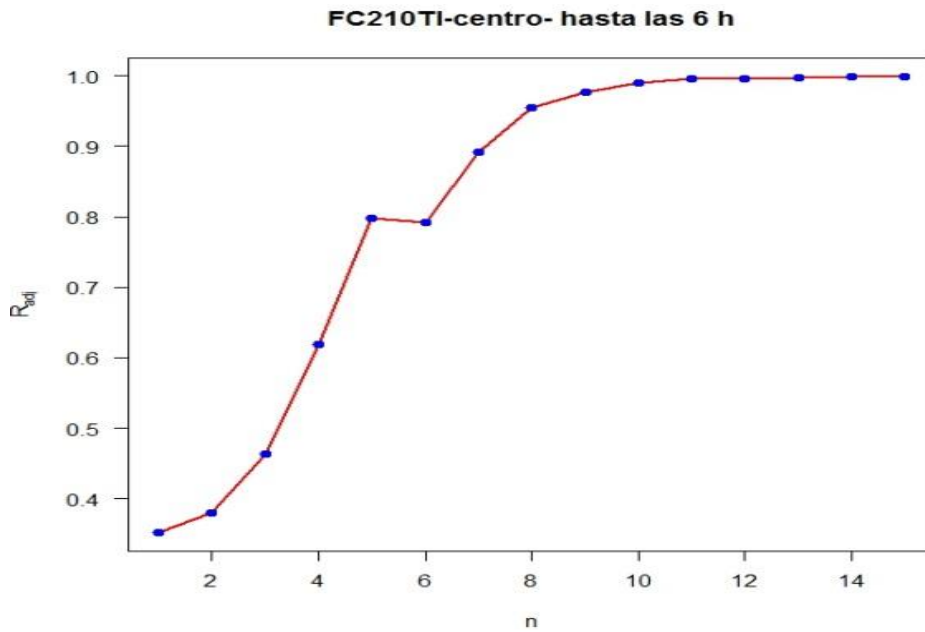
Un modelo estadístico propuesto para “y2” sería un polinomio en función del tiempo. Esto porque entre “y2” y “t1” tienen una correlación mayor en relación a “x”.

Así, el modelo estimado polinomial obtenido para el centro, “y2”, es dado por

$$\hat{y}_2 = 27.58 - 29.06w - 10w^2 + 14.68w^3 - 18.68w^4 + 19.38w^5 + 0.14w^6 - 14.04w^7 + 10.85w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . A partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

Gráfica 49

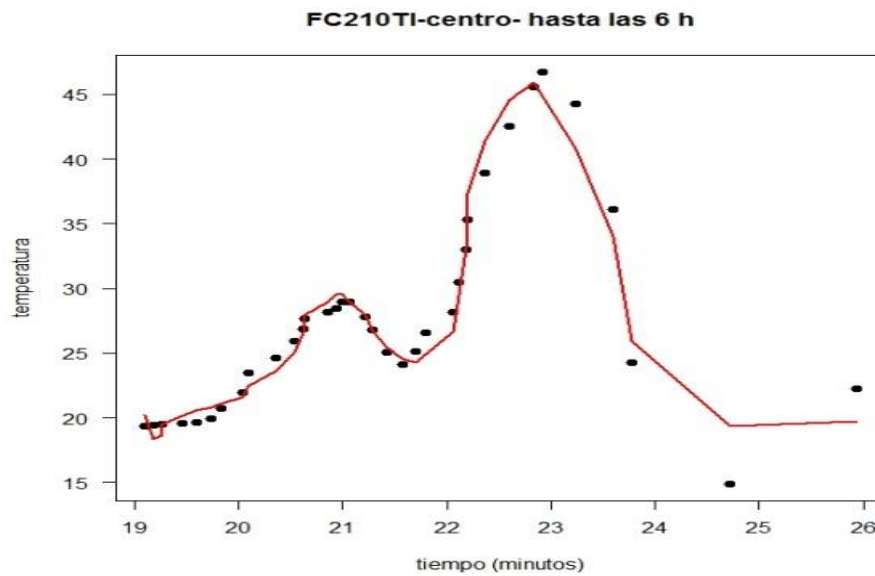


Ajuste del modelo polinomial T2K (centro) y T4K (ambiente) para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 50

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1



Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. MODELO PARA LA PROBETA

El modelo estadístico considerado para “y3”, será un modelo de primer orden. Esto debido a que existe una relación fuerte entre el tiempo y la temperatura ambiente de estas variables con “y3”. Así, el modelo estimado para “y3” es dado por:

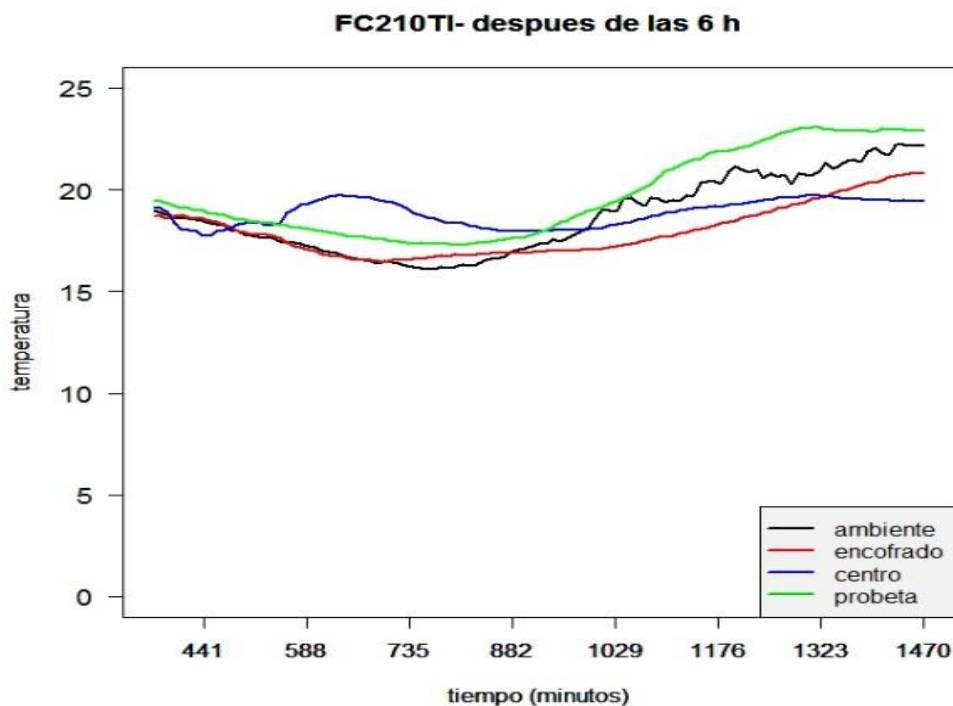
$$\hat{y}_3 = 21.6508 + 0.0911t_1 - 0.0109x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste de datos, el coeficiente de determinación ajustado es “ $R_{adj} = 0.9969$ ”.

ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA F’c 210 CEMENTO T1 – SEGUNDA ETAPA

En el siguiente gráfico, se muestra las temperaturas de las muestras y del ambiente. Se observa que existe un comportamiento parecido entre la temperatura ambiental y las otras tres muestras. La relación que se observa entre las temperaturas es una relación curvilínea.

Gráfica 33
Temperaturas del concreto f’c=210 kg/cm2 para cemento T1 – 2° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 44
Correlación de variables del concreto $f'c=210$ kg/cm2 con cemento T1

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1.000	0.7681	0.5927	0.4569	0.8108
x	0.7681	1.000	0.9048	0.4772	0.9752

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo “t1” y la temperatura del ambiente “x” es fuerte y positiva. La correlación entre “y1” y “y2” con “t1” es moderada, mas con “y3” es una correlación fuerte.

La temperatura ambiente “x” tiene una correlación fuerte con “y1” y “y2”. Con estos resultados, se debe considerar el modelamiento para la temperatura del encofrado (y1), centro (y2) y probeta (y3), teniendo en cuenta “t1” y “x”.

1.9.1.1. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

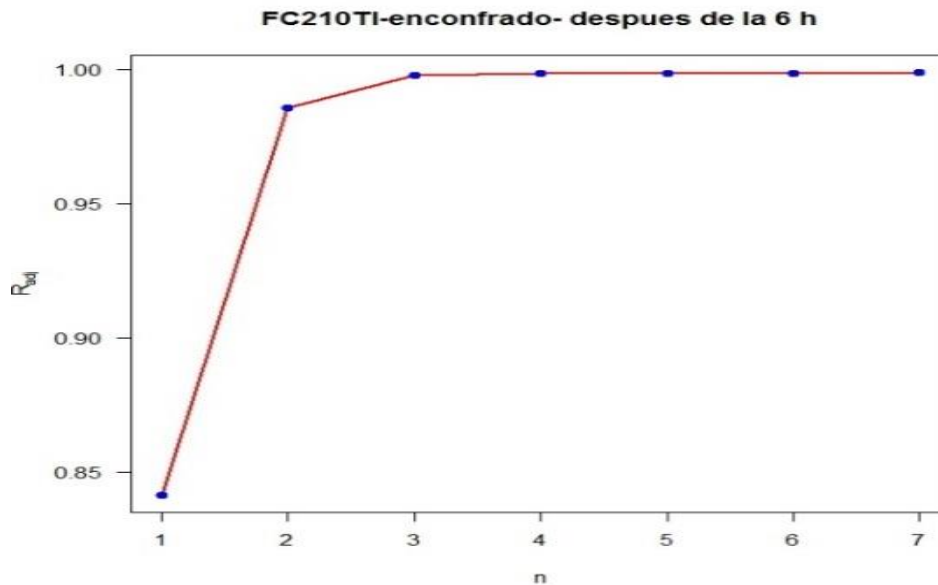
Debido a la correlación entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura del encofrado, se considera una superficie de respuesta que considera las variables predictoras de tiempo y temperatura del ambiente. Nótese que existe un comportamiento curvilíneo también. Así, la superficie de respuesta estimada para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = 18.19 + 1.17w_1 + 0.33w_1^2 + 8.27w_2 - 3214w_1w_2 + 11.09w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las gráficas de abajo muestran que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es de grado 2.

Gráfica 34

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.2. MODELO PARA T2K (CENTRO)

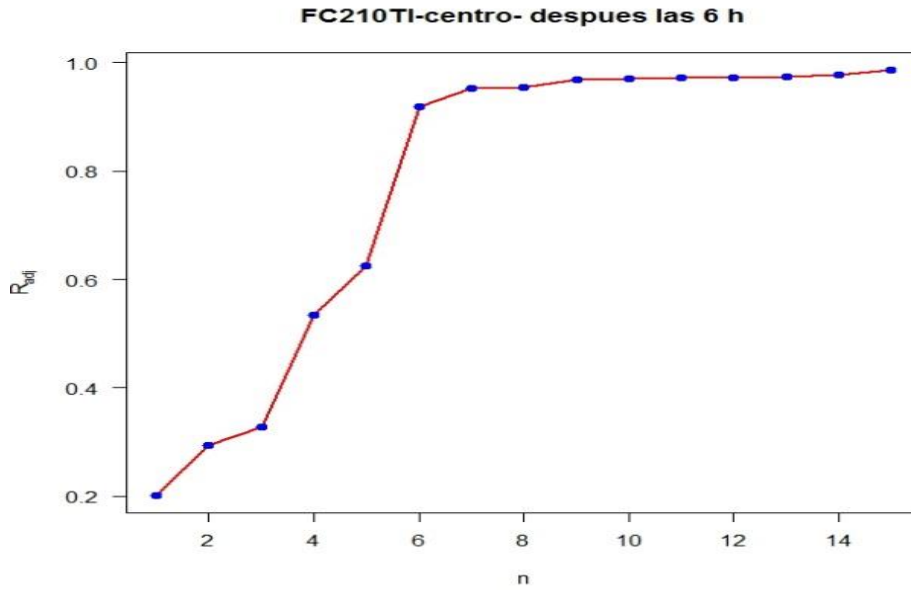
La correlación lineal entre “y2”, el tiempo y la temperatura ambiental es moderada; además, existe una correlación fuerte entre “t1” y “x”. El modelo considerado para el centro será polinomio en función del tiempo. Así, el polinomio estimado para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 18.85 + 3.1w + 2.11w^2 + 1.361w^3 - 3.08w^4 - 2.04w^5 + 3.59w^6 - 1.22w^7 - 0.35w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del polinomio.

Gráfica 35

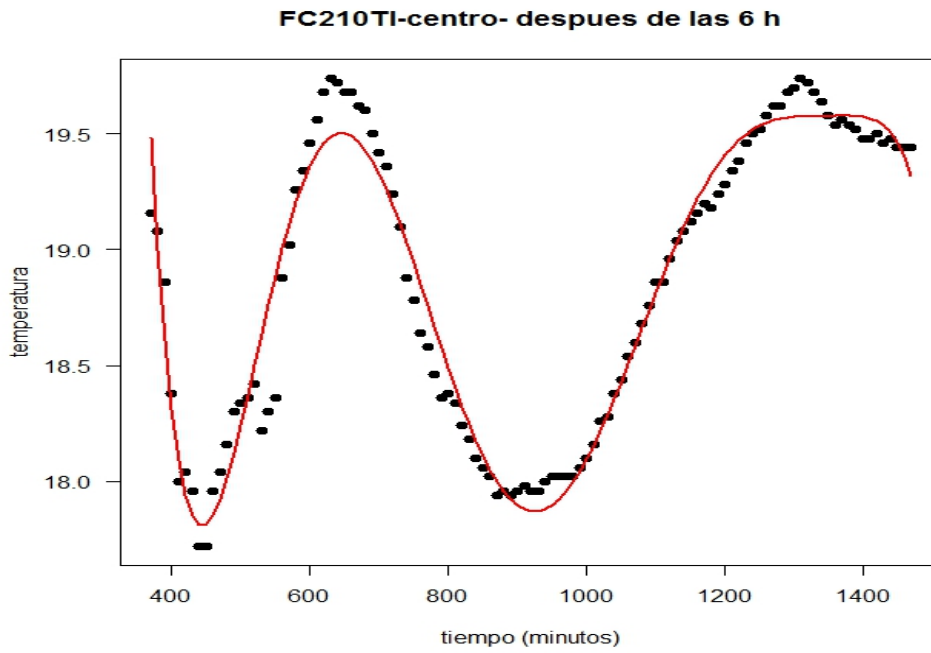
Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento T1



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 36

Ajuste del modelo polinomial T2K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento T1



Elaboración Propia

Fuente:

1.9.1.3. MODELO PARA T3K (PROBETA)

Por correlación fuerte entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura de la probeta se considera una superficie de respuesta que incluye las variables predictorias tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y3” es dado por:

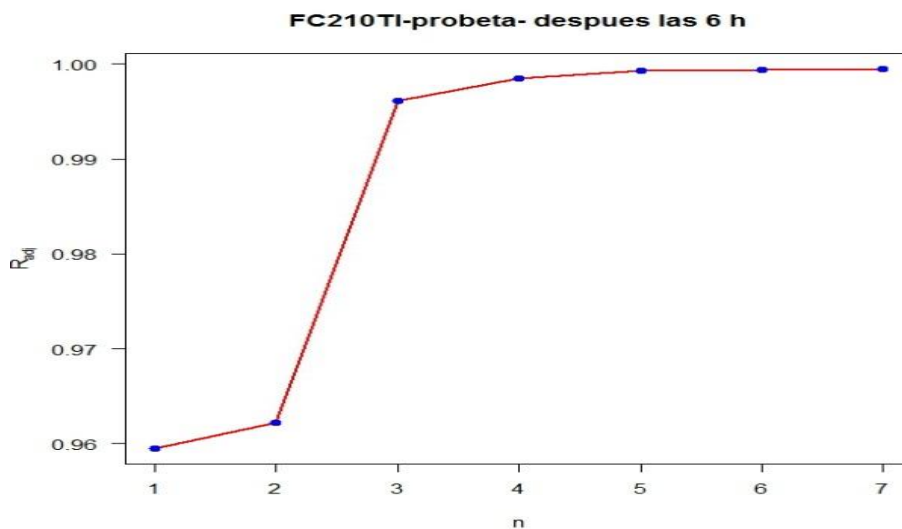
$$\hat{y}_3 = 19.41 - 5.6w_1 - 0.89w_1^2 + 0.19w_1^3 + 21.16w_2 + 99.38w_1w_2 - 9.95w_1^2w_2 + 12.23w_2^2 - 71.39w_1w_2^2 - 6.49w_2^3$$

, que es una superficie de respuesta de tercer orden.

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que cuando el grado es 3 se tiene un buen ajuste a los datos.

Gráfica 37

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 3 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento T1

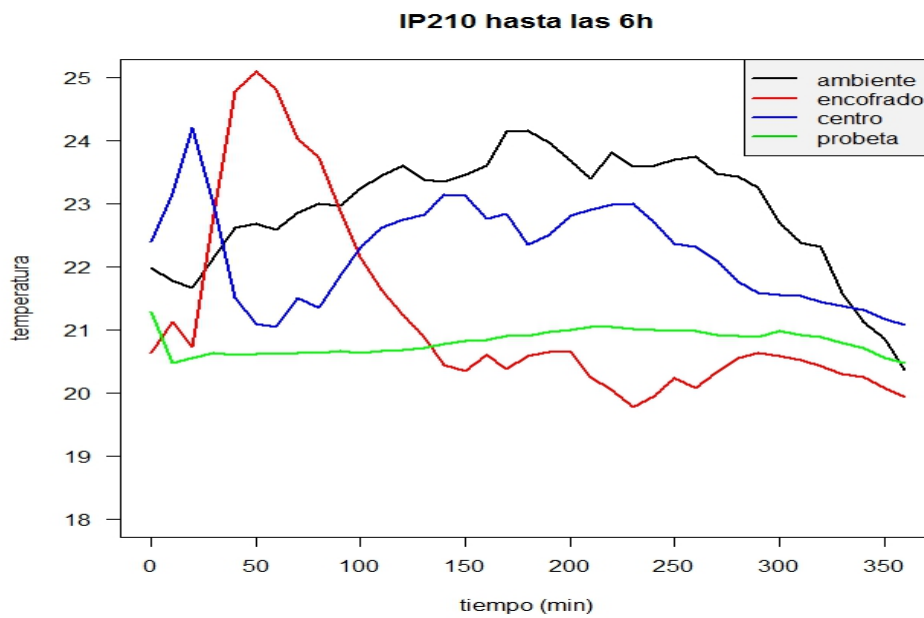


Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA $f'c$ 210 CEMENTO 1P – PRIMERA ETAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente.

Gráfica 38
Temperaturas del concreto $f'c=210$ kg/cm² para cemento 1P – 1° Etapa.



La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 45
Correlación de variables del concreto $f'c=210$ kg/cm² con cemento 1P

	tiempo	x	y1	y2	y3
tiempo	1	-0.1279	-0.6488	-0.3709	0.3027
x	-0.1279	1	-0.0638	0.4043	0.5047

Se observa que la correlación entre el tiempo y la temperatura del ambiente es débil.

El tiempo en relación a “y1”, “y2” y “y3” son moderadas. Para “x” y “y1” se tiene una relación casi nula y una relación moderada para “y2” y “y3”.

1.9.1.4. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

El modelo estadístico propuesto para “y1” será un polinomio en función del tiempo.

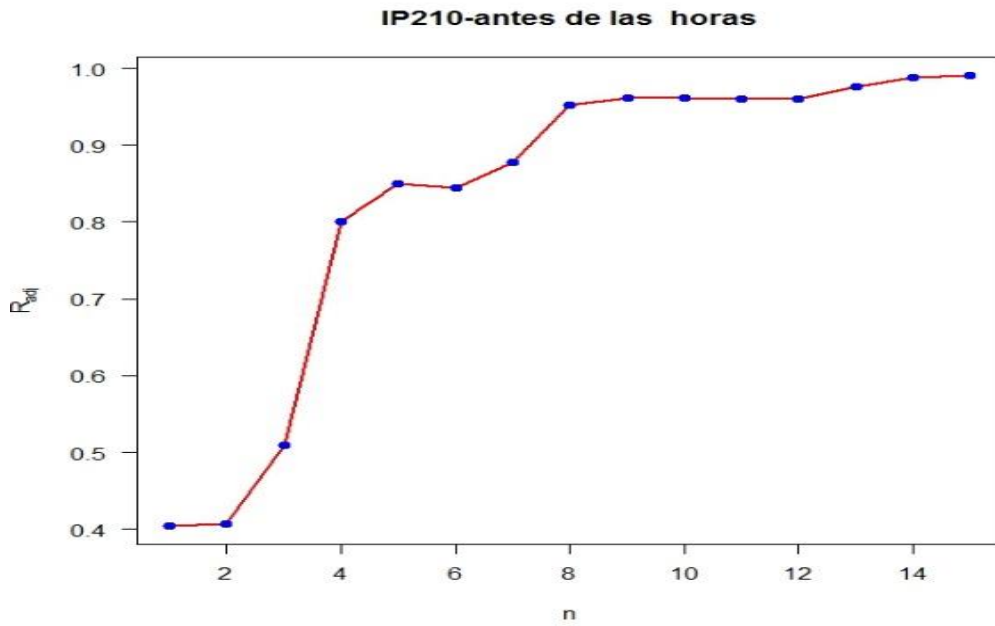
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = 21.19297 - 5.85485w + 1.23605w^2 + 3.00201w^3 - 4.70516w^4 + 1.98157w^5 - 0.03649w^6 - 1.57929w^7 + 2.24556w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

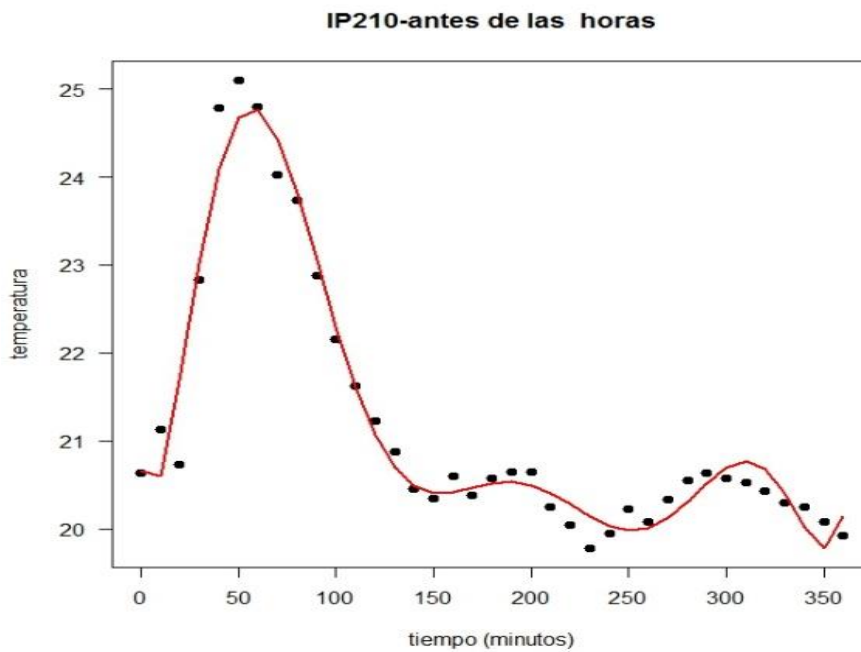
Gráfica 39

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento 1P



Gráfica 40

Ajuste del modelo polinomial T1K (encofrado) y t_1 (tiempo) para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.5. MODELO PARA T2K (CENTRO)

El modelo estadístico propuesto para “y2” será un polinomio en función del tiempo.

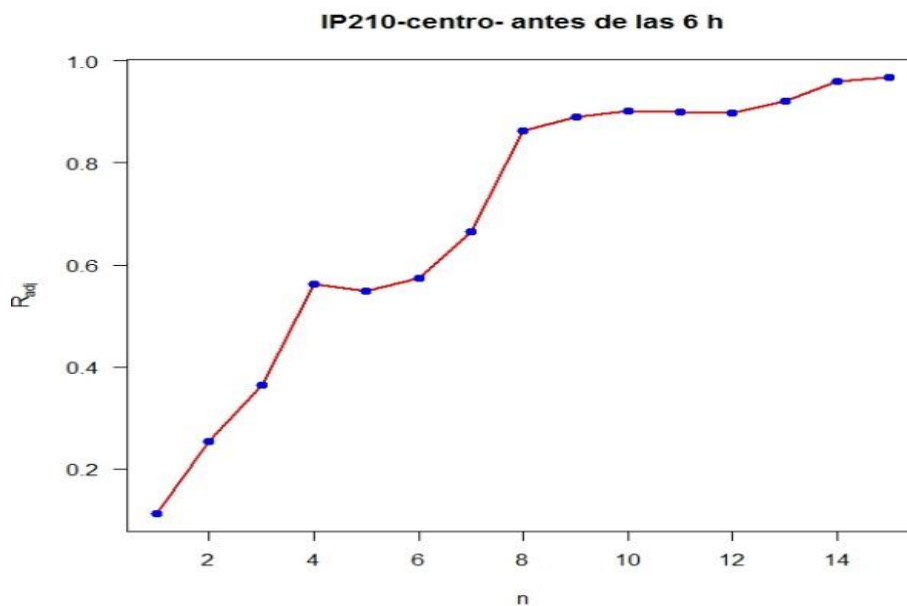
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 22.22324 - 1.71989w - 1.84131w^2 - 1.62321w^3 + 2.03964w^4 + - 0.14994w^5 - 0.84067w^6 + 1.35803w^7 - 1.87052w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos

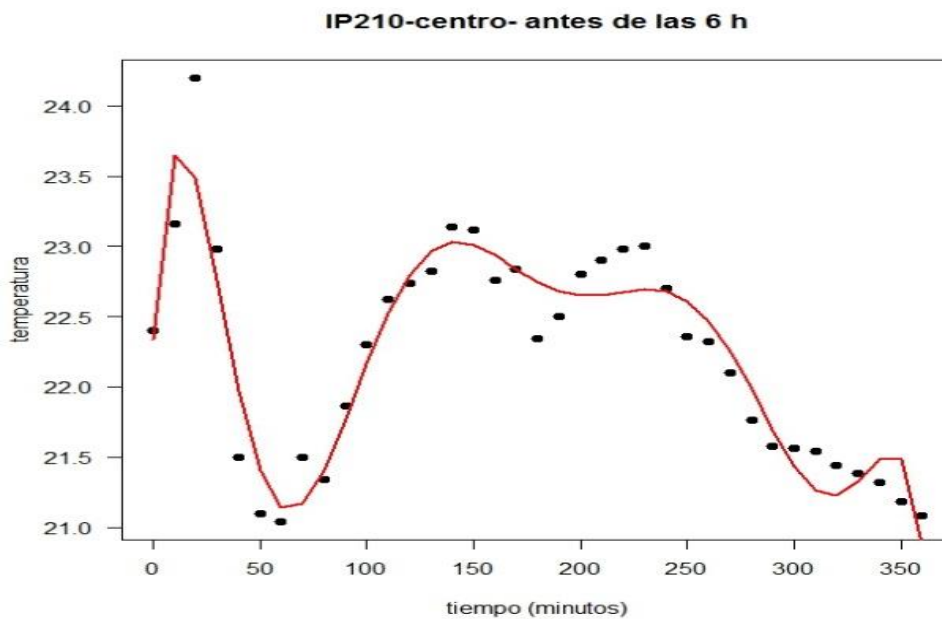
Gráfica 41

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 42
Ajuste del modelo polinomial T2K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño f'c=210 kg/cm2 para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.6. MODELO PARA T3K (PROBETA)

El modelo estadístico propuesto para “y3” será un polinomio en función del tiempo.

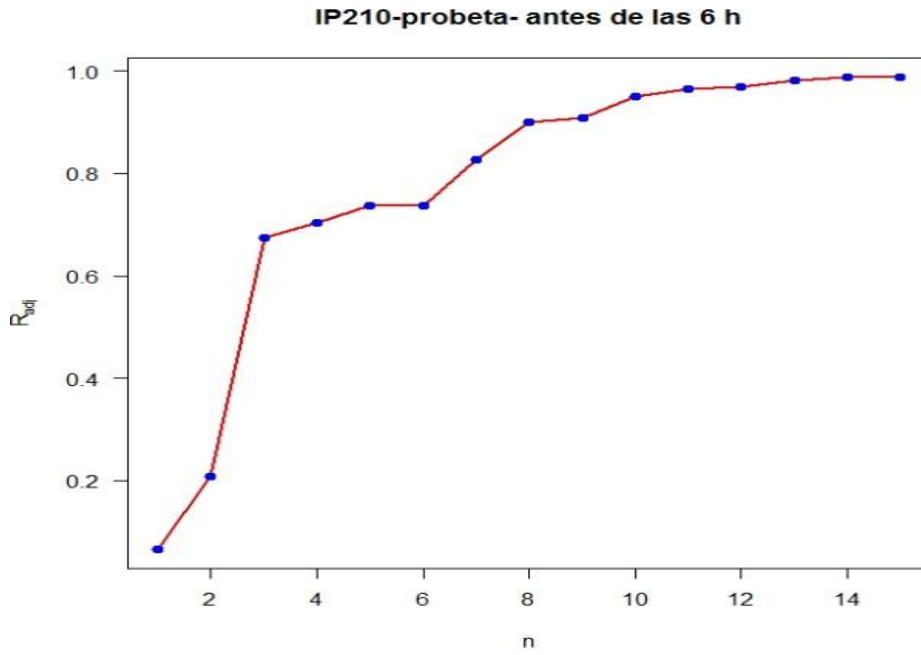
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 20.8038 + 0.3403w - 0.4489w^2 - 0.75521w^3 + 0.2094w^4 + - 0.2151w^5 + 0.0976w^6 - 0.3181w^7 + 0.2796w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos

Gráfica 43

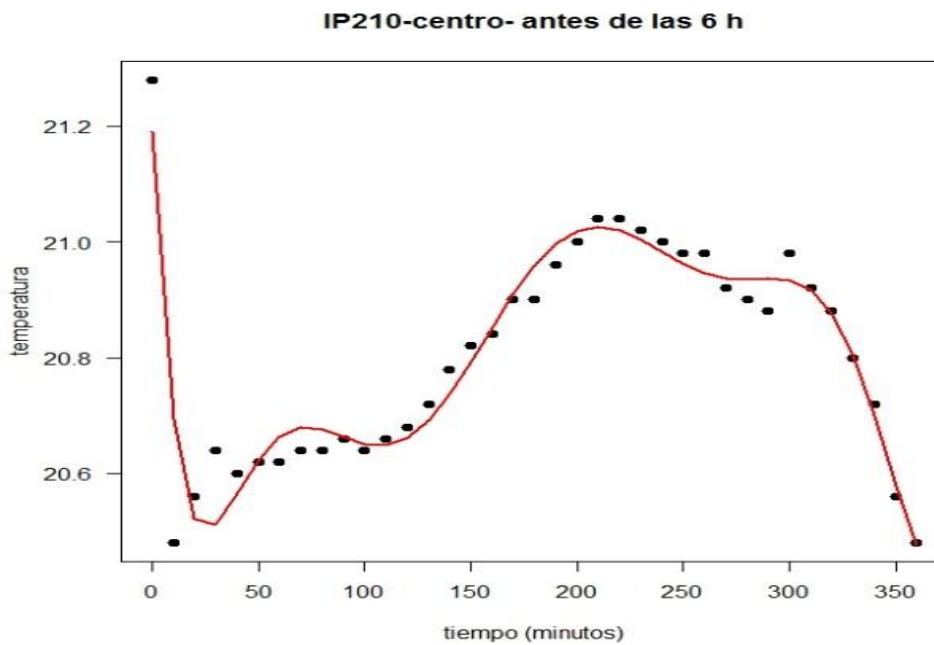
Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 44

Ajuste del modelo polinomial T3K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA F'c 210 CEMENTO IP – SEGUNDA ETAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que existe un comportamiento parecido entre ellas.

Gráfica 45
Temperaturas del concreto f'c=210 kg/cm2 para cemento 1P –2° Etapa

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 46
Correlación de variables del concreto f'c=210 kg/cm2 con cemento 1P

	t1	X	y1	y2	y3	
t1		1	0.0388	-0.7853	-0.7053	-0.5895
X	0.0388		1	0.5515	0.6613	0.7514

Se observa que no existe una correlación entre el tiempo y la temperatura ambiental. Además, el tiempo tiene una correlación fuerte con “y1” y “y2” y moderada con “y3”, la temperatura ambiente tiene una correlación moderada con “y1” y “y2”, además, se tiene una relación fuerte con “y3”.

1.9.1.7. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

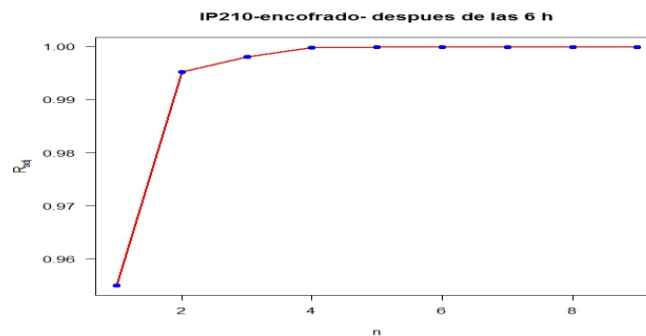
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura del encofrado se considera una superficie de respuesta con las variables predictorias tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y1” es dada por:

$$\hat{y}_1 = 15.59 + 4.58w_1 + 2.72w_1^2 - 23.15w_2 + 57.79w_1w_2 + 9.74w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 46

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.8. MODELO PARA T2K (CENTRO)

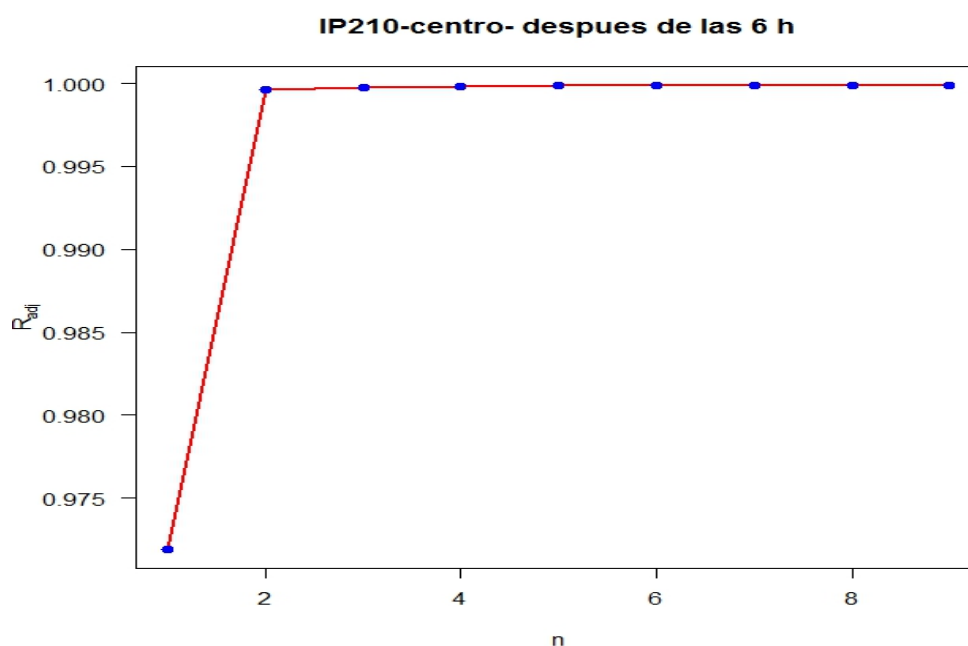
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura de "y2" se considera una superficie de respuesta que considera las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para "y2" es dado por:

$$\hat{y}_2 = 14.87 - 12.87w_1 + 4.7w_1^2 - 23.98w_2 + 38.98w_1w_2 - 1.64w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 47

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

MODELO PARA T3K (PROBETA)

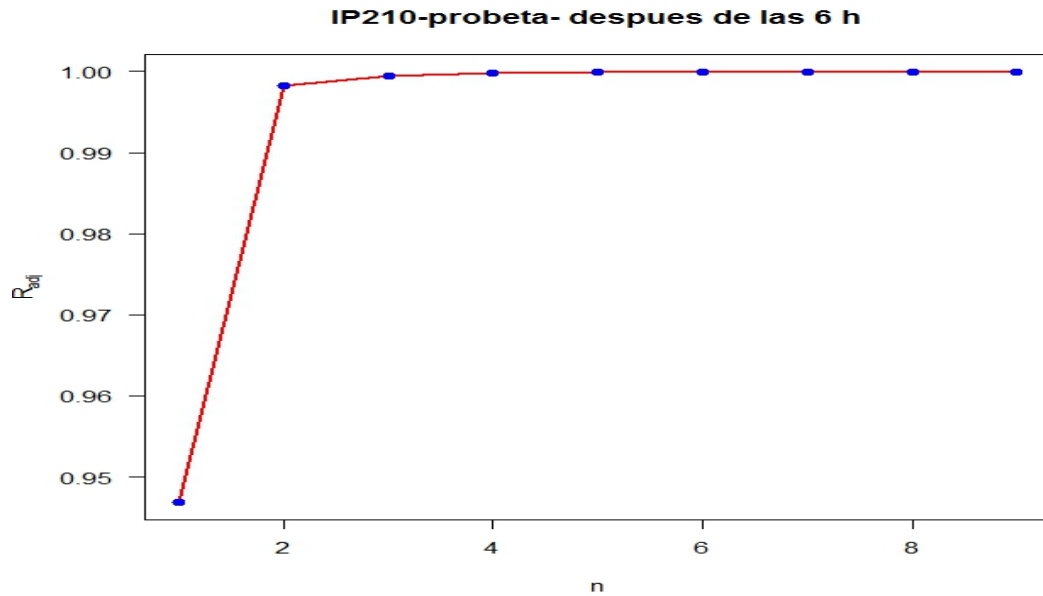
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura de la probeta se considera una superficie de respuesta que considera las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 15.15 + 8.26w_1 + 4.85w_1^2 - 22.12w_2 + 63.78w_1w_2 + 7.59w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 48

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento 1P

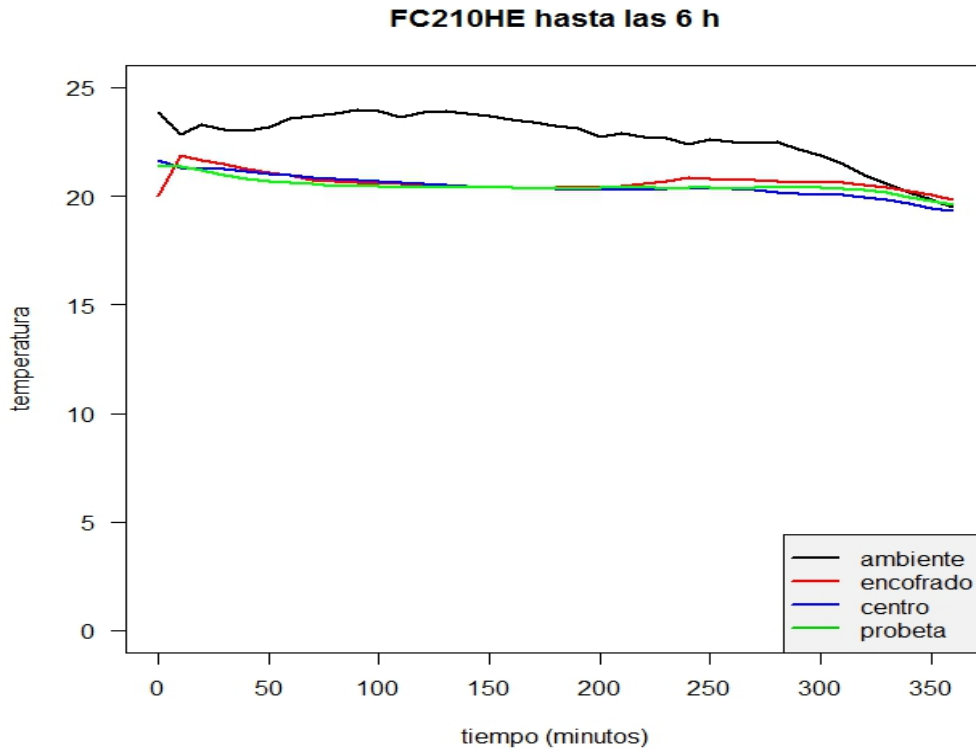


Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA F'c 210 CEMENTO HE- PRIMERA ESTAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las tres muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que en la temperatura del encofrado, centro y probeta tienen un comportamiento similar, sin embargo, la temperatura del ambiente muestra un comportamiento diferente.

Gráfica 49
Temperaturas del concreto $f'c=210$ kg/cm² para cemento HE –1° Etapa.



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la tabla de abajo

Tabla 47
Correlación de variables del concreto $f'c=210$ kg/cm² con cemento HE.

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1.000	0.4805	-0.2172	0.1024	0.4023
x	0.4805	1.000	0.6984	0.9015	0.9575

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura del ambiente es moderada. La correlación entre “t1” y “T1K” es débil y negativa, con “T2K” débil y “T3K” moderada.

La temperatura ambiente, T4K, tiene una correlación moderada con “T1K” y correlación fuerte con “T2K” y “T3K” todas las correlaciones con positivas.

1.9.1.9. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

El modelo estadístico considerado para T1K es un modelo polinomial en función de t1, esto debido a que estas variables tienen una correlación mayor que en relación a T4K.

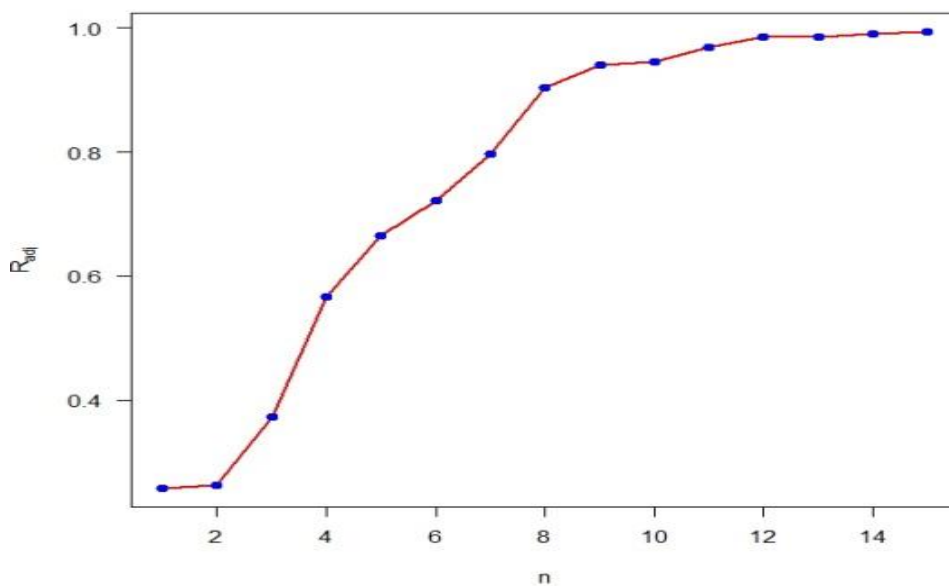
Así, el modelo estimado para y1 es dado por

$$\hat{y}_1 = 20.64 - 1.32w + 0.39w^2 - 0.87w^3 - 1.096w^4 + 0.78w^5 - 0.59w^6 + 0.65w^7 - 0.75w^8$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las gráficas de abajo muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

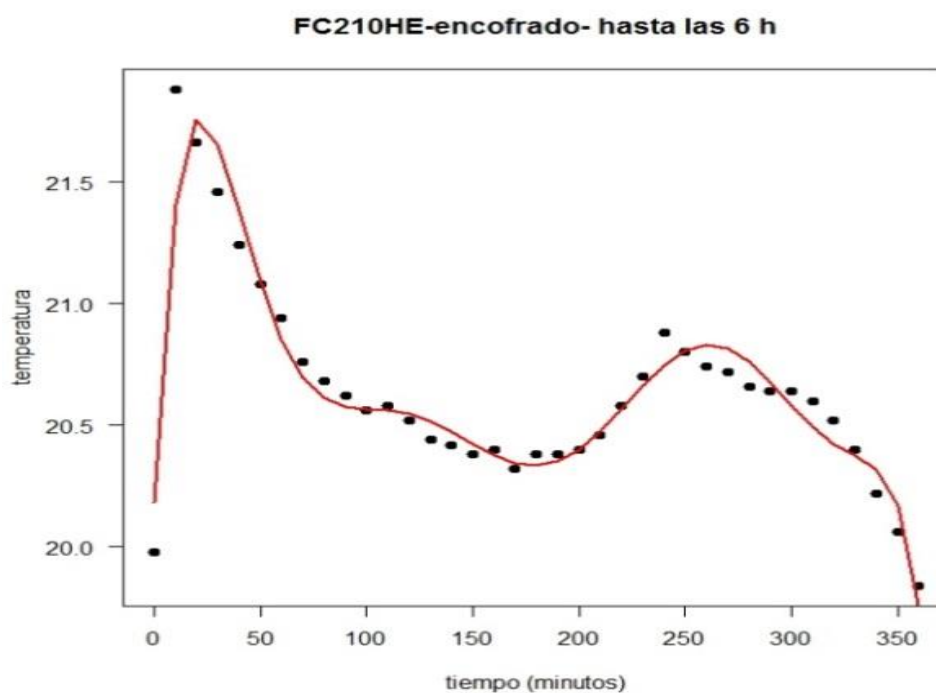
Gráfica 50

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 51
Ajuste del modelo polinomial T1K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño f'c=210 kg/cm2 para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.10. MODELO PARA T2K (CENTRO)

Un modelo estadístico propuesto para y_2 será un polinomio en función del tiempo. Esto porque entre y_2 y t_1 tienen una correlación fuerte.

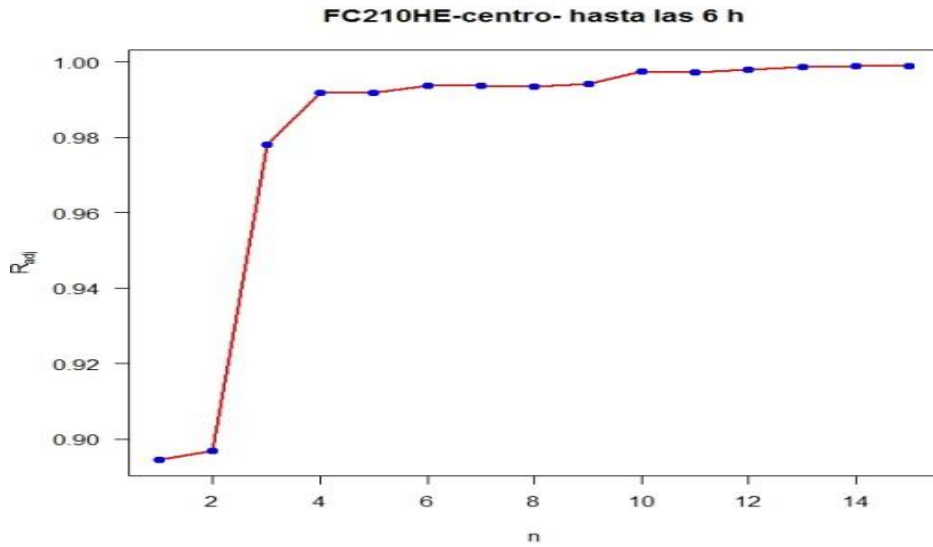
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para el centro, y_2 , es dado por

$$\hat{y}_2 = 20.54 - 2.86w + 0.22w^2 - 0.84w^3 - 0.34w^4$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las gráficas de abajo muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 4 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 4 se tiene un ajuste adecuado a los datos

Gráfica 52

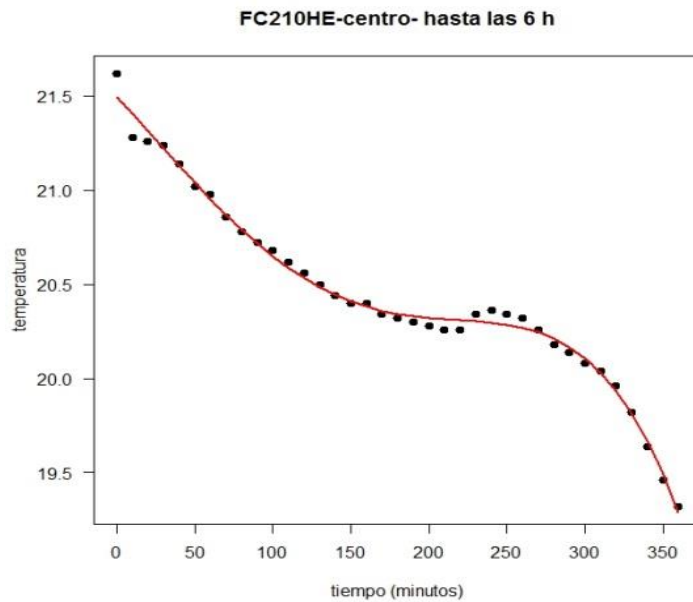
Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 4 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 53

Ajuste del modelo polinomial T2K (centro) y t_1 (tiempo) para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.11. MODELO PARA T3K (PROBETA)

Un modelo estadístico propuesto para y_3 será un polinomio en función del tiempo. Esto porque entre y_3 y t_1 tienen una correlación fuerte.

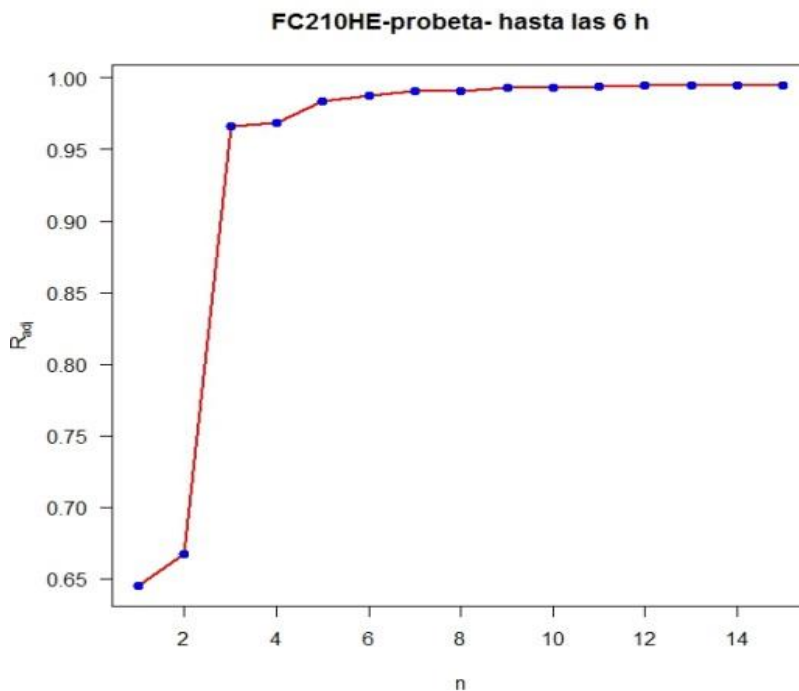
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para probeta, y_3 , es dado por

$$\hat{y}_3 = 20.45 - 2.86w + 0.22w^2 - 0.84w^3 - 0.34w^4 - 0.04w^5$$

El modelo polinomial de grado 5 tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.9917$; es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste a los datos. Las gráficas abajo muestran el ajuste del polinomio, a los puntos así como los diferentes valores de R_{adj} para diferentes grados considerados.

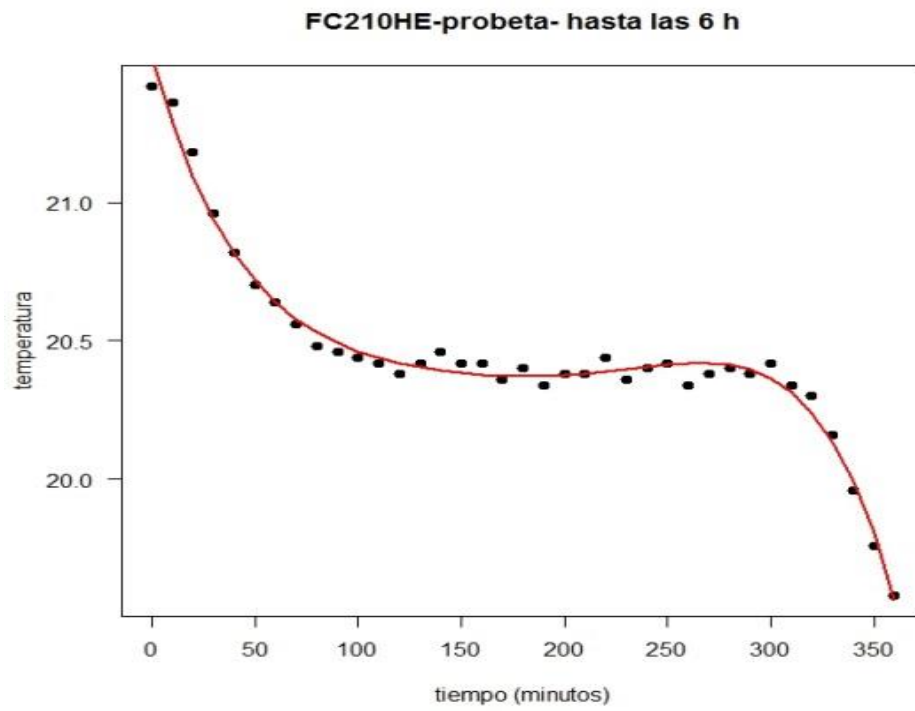
Gráfica 54

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 5 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 55
Ajuste del modelo polinomial T3K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño $f'c=210$ kg/cm² para cemento HE

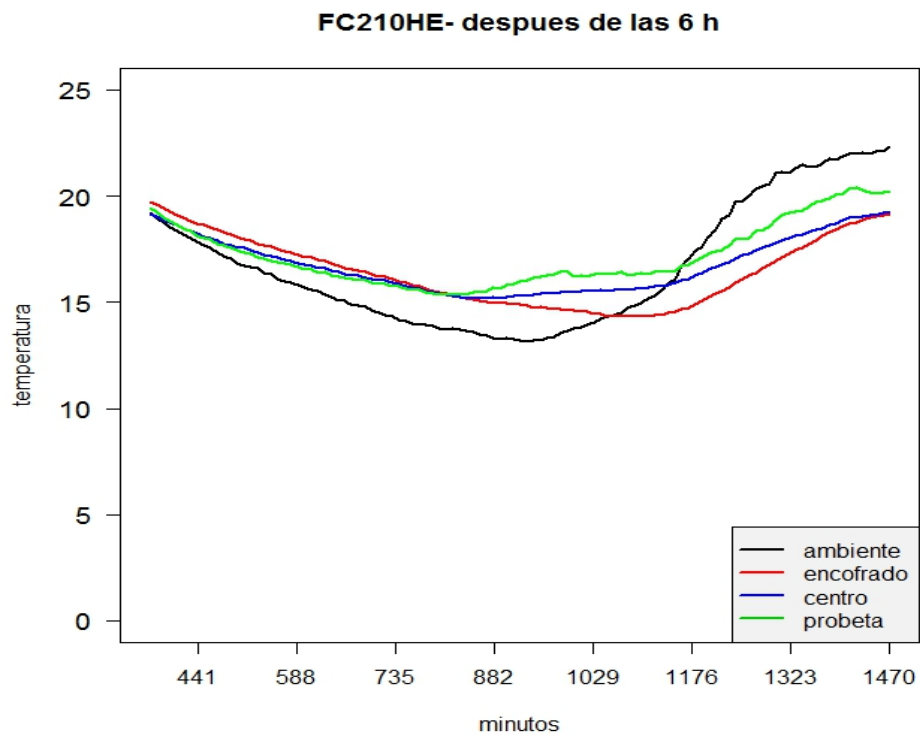


Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA F'c 210 CEMENTO HE-SEGUNDA ESTAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que el comportamiento de la temperatura de las muestras y del ambiente es curvilínea a través del tiempo..

Gráfica 56
Temperaturas del concreto f'c=210 kg/cm2 para cemento HE -2° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 48
Correlación de variables del concreto $f'c=210$ kg/cm2 con cemento HE.

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1.000	0.4805	-0.2172	0.1024	0.4023
X	0.4805	1.000	0.6984	0.9015	0.9575

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura del ambiente es debil. La correlación entre “y1” y “y2” con “t1” es débil, mas con “y3” es moderada.

La temperatura ambiente tiene una correlación moderada con “y1” y fuerte con “y2” y “y3”. Con estos resultados, se debe considerar el modelamiento matemático.

1.9.1.12. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

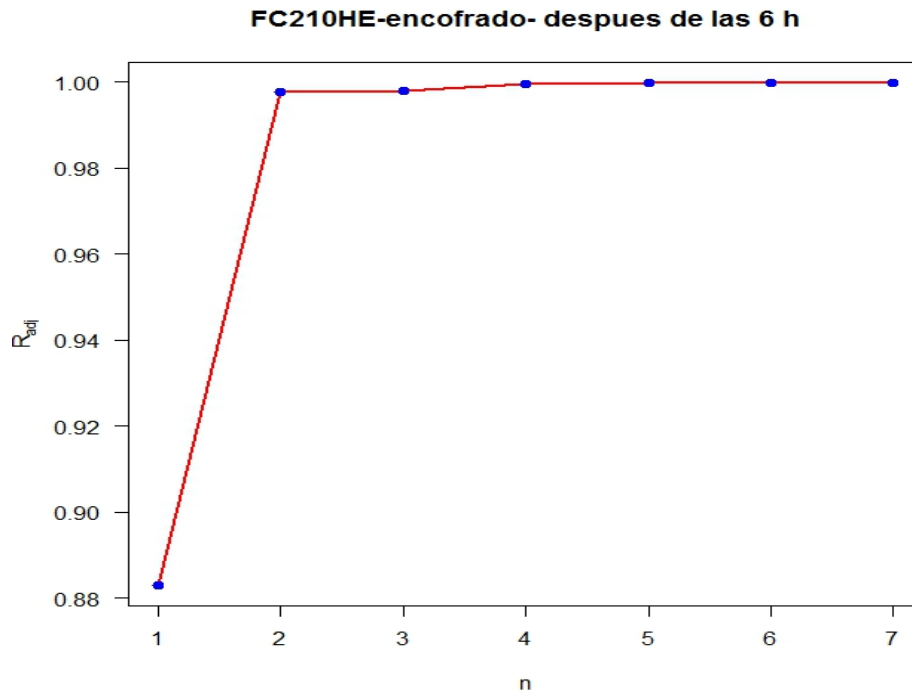
Debido a la correlación entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura del encofrado se considera una superficie de respuesta que considera las variables predictorias tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y1” es dada por:

$$\hat{y}_1 = 16.22 + 5.06w_1 + 2.23w_1^2 - 11.23w_2 + 54.56w_1w_2 + 10.2w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es de grado 2.

Gráfica 57

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 5 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Elaboración Propia

Fuente:

1.9.1.13. MODELO PARA T2K (CENTRO)

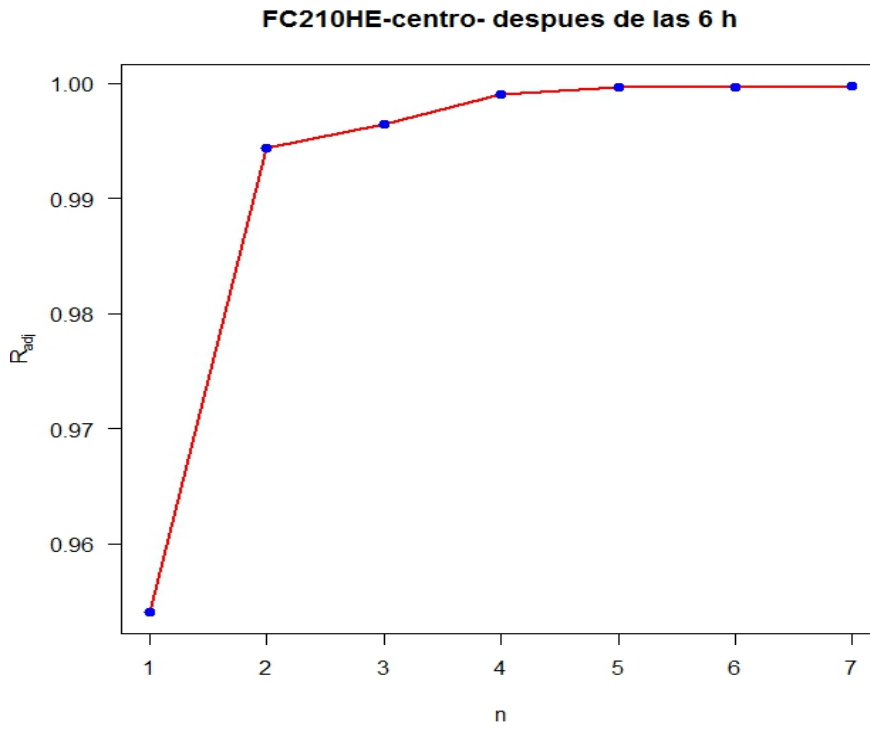
La correlación lineal entre “y2”, el tiempo y temperatura ambiente es moderada; además, existe correlación fuerte entre “t1” y “x”, luego el modelo considerado para el centro será polinomio en función del tiempo. Así, el polinomio estimado para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 16.75 + 6.42w_1 + 0.8w_1^2 - 2.37w_2 + 3.46w_1w_2 + 8.01w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra los valores de R_{adj} para diferentes grados para la superficie. Nótese que se tiene un buen ajuste de los datos cuando el orden es 2.

Gráfica 58

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.14. MODELO PARA PROBETA

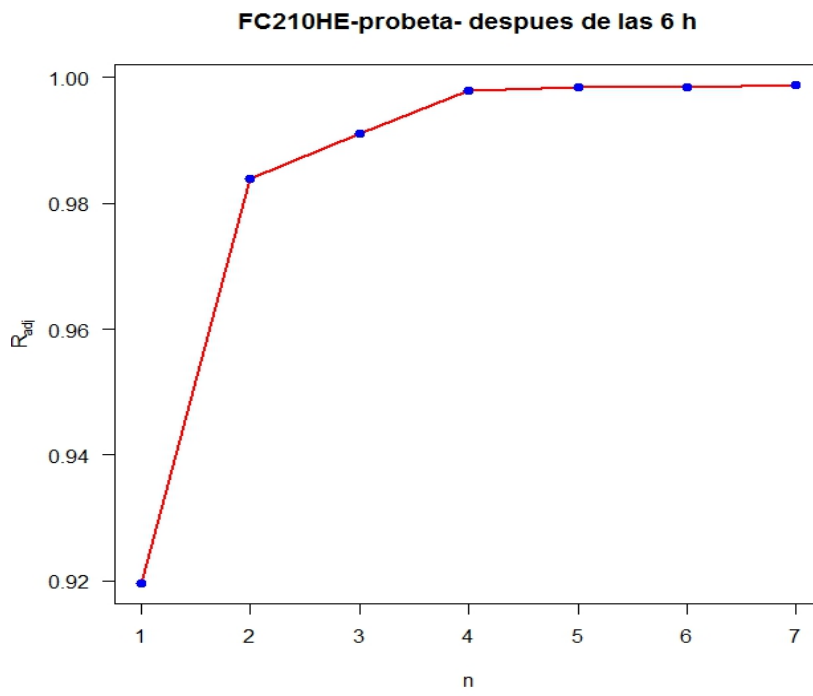
Por la correlación fuerte entre el tiempo, la temperatura ambiente con la temperatura de probeta, se considerará una superficie de respuesta donde las variables predictoras son tiempo y temperatura ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 17.37 + 9.51w_1 + 3.28w_1^2 - 2.67w_2 - 38.4w_1w_2 + 8.02w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que cuando el grado es 2 se obtiene un buen ajuste a los datos.

Gráfica 59

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE.

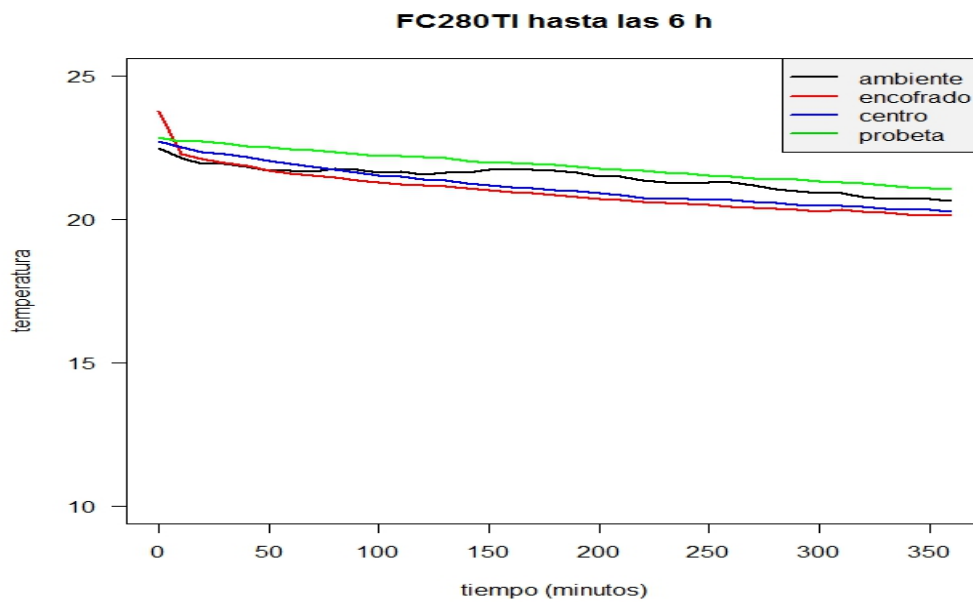


fuente: Elaboración Propia

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO TI-PRIMERA ESTAPA

El siguiente gráfico manifiesta las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que existe un comportamiento similar entre las muestras y la temperatura ambiente.

Gráfica 60
Temperaturas del concreto f'c=280 kg/cm2 para cemento TI – 1° Etapa.



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 49
Correlación de variables del concreto $f'c=280$ kg/cm² con cemento T1

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1.0000	-0.9419	-0.9118	-0.9755	-0.9755
X	-0.9419	1.0000	0.8911	0.9010	0.9393

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura ambiente es fuerte. La correlación entre “t1” y “y1”, “y2” y “y3” es fuerte.

La temperatura ambiente tiene una correlación fuerte con todas las muestras. Con estos resultados, se debe considerar el modelamiento teniendo en cuenta “t1” y “x”.

1.9.1.15. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

El modelo estadístico considerado para “y1” es un modelo de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = -21.3 + 1.99t_1 + 0.124x - 0.00594t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos y es un modelo que simplifica la complejidad de crear un modelo mayor. Nótese que el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.9714$ es cercano a uno indicado que tiene un buen ajuste.

1.9.1.16. MODELO PARA T2K (CENTRO)

Similar al caso anterior, un modelo estadístico considerado para el centro será un modelo de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 11.43295 + 0.05818t_1 + 0.50281x - 0.00302t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.9958$; es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste

1.9.1.17. **MODELO PARA T3K (PROBETA)**

Similar al caso anterior, un modelo estadístico considerado para la probeta será un modelo de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado para “y3” es dado por:

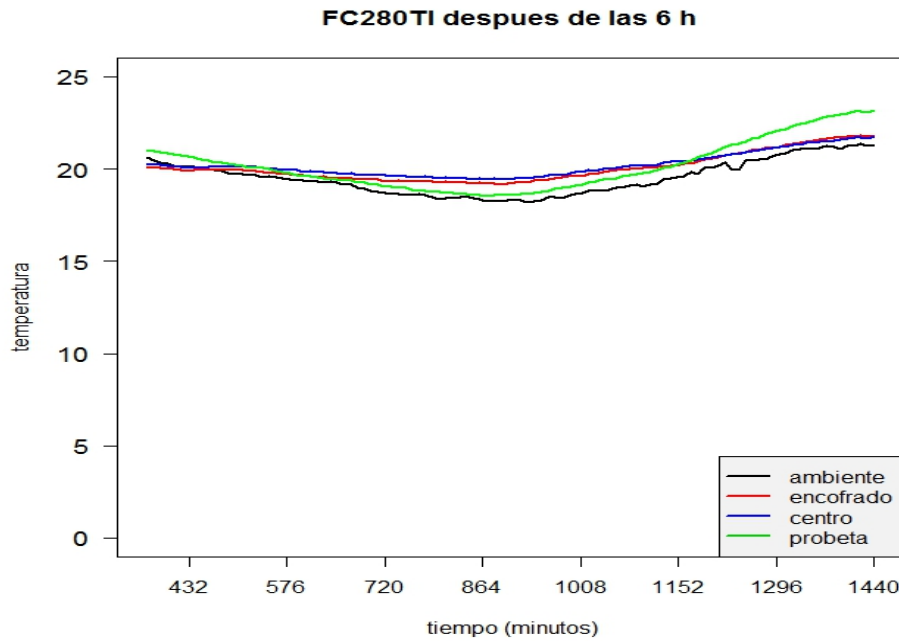
$$\hat{y}_3 = 20.4 + 0.00555t_1 + 0.107x - 0.00048t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.9987$; es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste.

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO TI-SEGUNDA ESTAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que existe un comportamiento parecido entre las temperaturas. La relación que se puede visualizar entre las temperaturas tienen una tendencia curvilínea.

Gráfica 61
Temperaturas del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento TI -2° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 50
Correlación de variables del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento TI

	t1	x	y1	y2	y3
t1	1.0000	0.3673	0.6895	0.6687	0.5191
X	0.3673	1.0000	0.9199	0.9305	0.9802

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura del ambiente es debil. La correlación entre "t1" y las tres muestras es moderada.

La temperatura ambiente, x, tiene una correlación fuerte con todas las muestras. Se debe considerar el modelamiento para la temperatura del encofrado, centro y probeta llevando en cuenta “t1” y “x”.

1.9.1.18. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

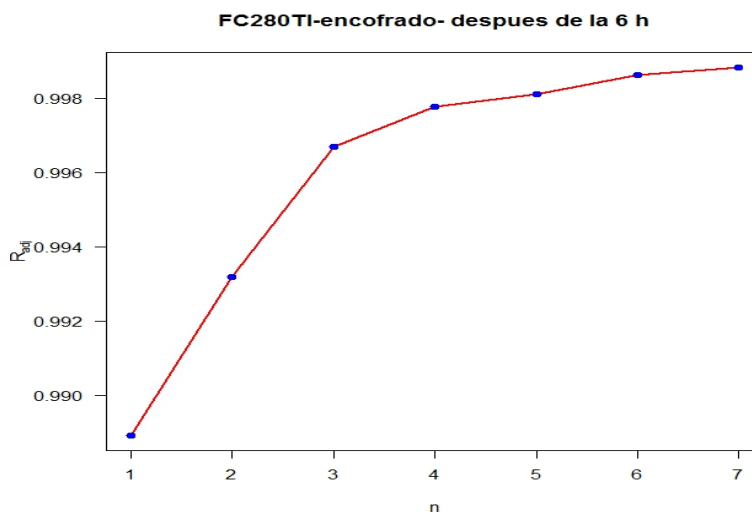
Debido a la correlación entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura del encofrado se considera una superficie de respuesta que incluye las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = 20.03 + 2.59w_1 - 0.69w_1^2 + 4.34w_2 + 7.28w_1w_2 + 3.08w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es de grado 2.

Gráfica 62

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento TI



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.19. MODELO PARA T2K (CENTRO)

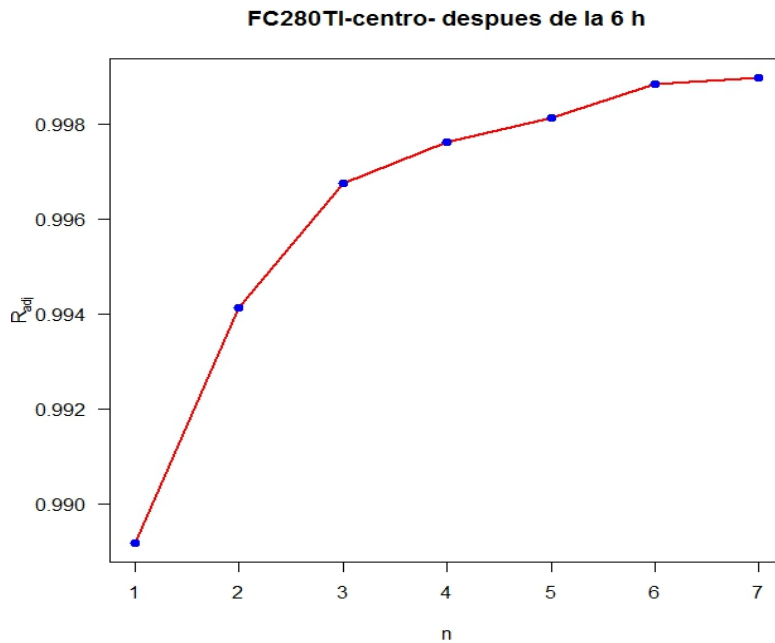
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura del encofrado se considera una superficie de respuesta que implicó las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 20.17 + 2.03w_1 - 0.86w_1^2 + 3.54w_2 + 8.86w_1w_2 + 2.79w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 63

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento TI



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.20. MODELO PARA T3K (PROBETA)

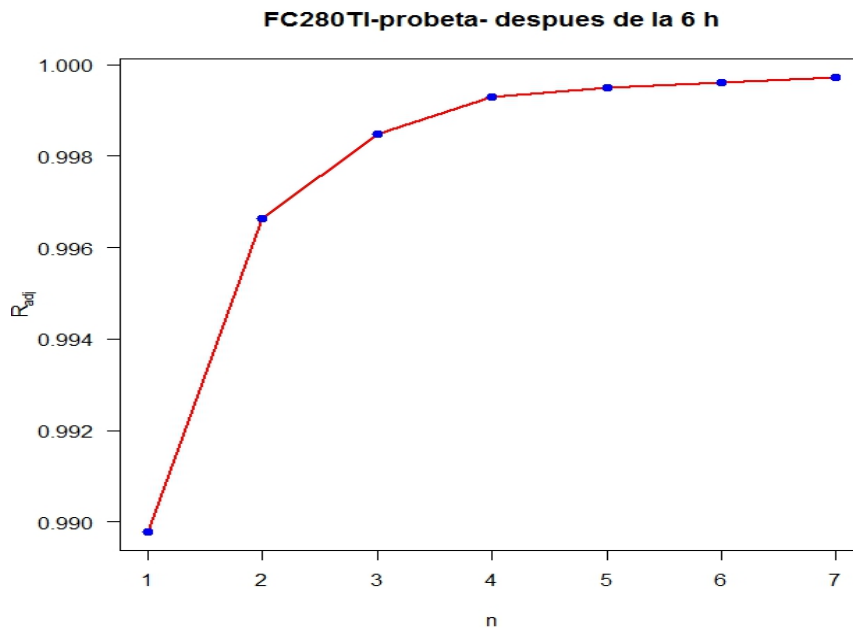
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura de la probeta se considerará una superficie de respuesta donde las variables predictorias sean el tiempo y la temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimado para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 20.13 + 6.24w_1 - 0.76w_1^2 + 4.41w_2 + 11.17w_1w_2 + 5.67w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 64

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento TI

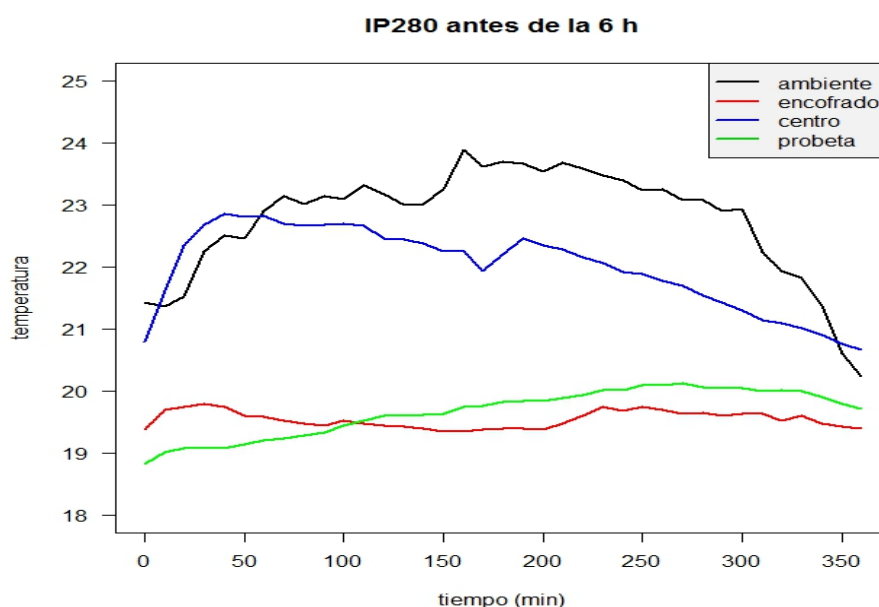


Fuente: Elaboración Propia

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO 1P-PRIMERA ETAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura ambiente. Se observa la poca relación que existen entre ellas.

Gráfica 65
Temperaturas del concreto f'c=280 kg/cm2 para cemento 1P – 1° Etapa



La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 51
Correlación de variables del concreto f'c=280 kg/cm2 con cemento 1P

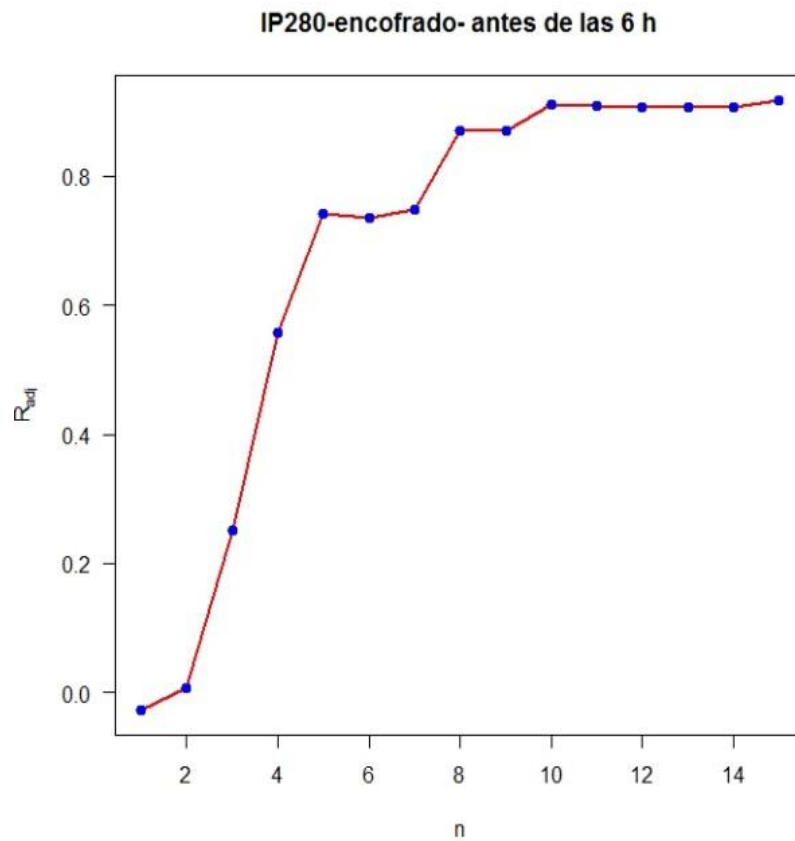
	t1	X	y1	y2	y3
t1	1	-0.138	-0.0392	-0.7009	0.8918
X	-0.138	1	-0.0924	0.6206	0.2852

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura ambiente es débil. La correlación entre t1 en relación a “y1” es casi nula, a diferencia de “y2” y “y3” que es fuerte.

La temperatura ambiente tiene una correlación casi nula con “y1”, una correlación moderada con “y2” y débil con “y3”.

Gráfica 66

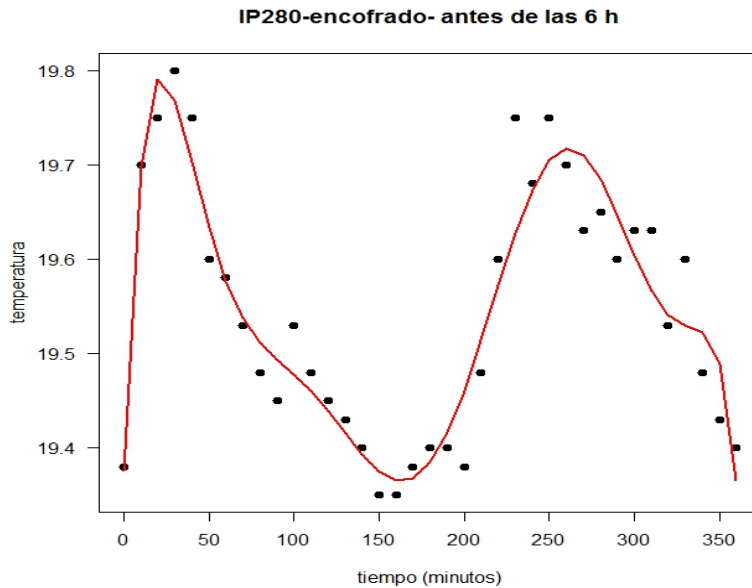
Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 8 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 67

Ajuste del modelo polinomial T1K (encofrado) y t1 (tiempo) para un diseño $f'c=280$ kg/cm² para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.21. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

Un modelo estadístico propuesto para “y1” será un polinomio en función del tiempo.

Así, el modelo estimado polinomial obtenido para y1 es dado por:

$$\hat{y}_1 = 19.54 - 0.03w_1 + 0.2w_2 - 0.4w_3 - 0.44w_4 + 0.33w_5 - 0.03w_6 + 0.11w_7 - 0.26w_8$$

Para elegir el grado del polinomio, del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 8 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 8 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

1.9.1.22. MODELO PARA T2K (CENTRO)

Un modelo estadístico propuesto para “y2” será un polinomio en función del tiempo.

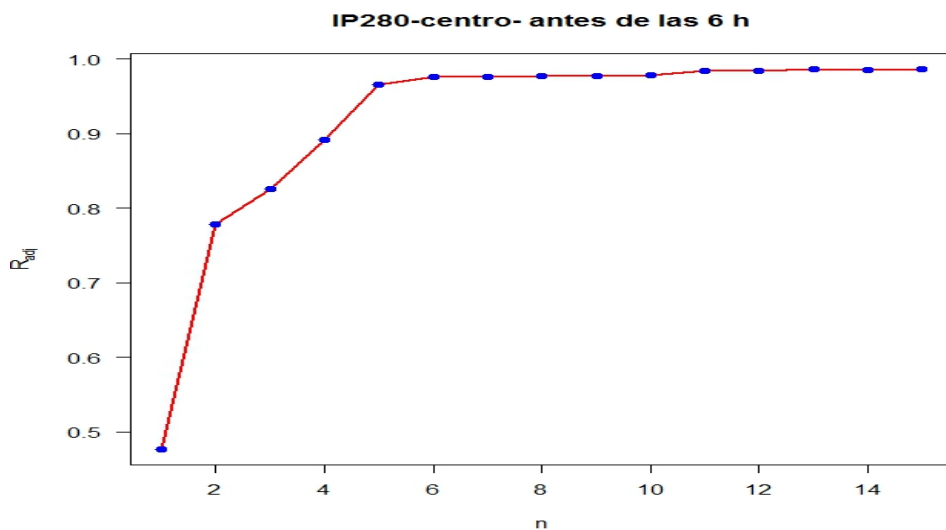
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para el centro es dado por:

$$\hat{y}_2 = 21.99 - 2.8w_1 - 2.18w_2 + 0.89w_3 - 1.01w_4 + 1.03w_5$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 5 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 5 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

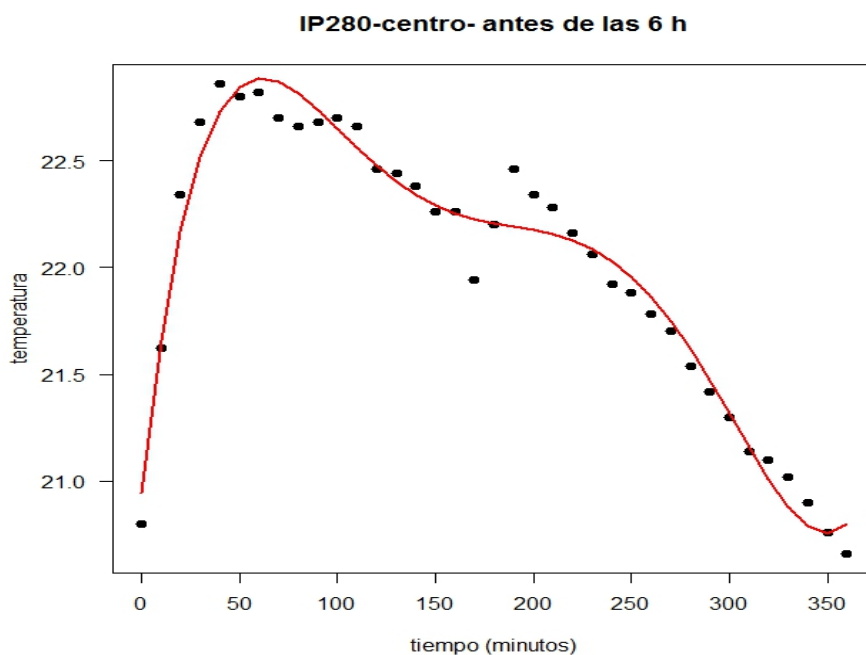
Gráfica 68

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 5 para un diseño $f'c=280$ kg/cm² para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 69
Ajuste del modelo polinomial T2K (centro) y t1 (tiempo) para un diseño f'c=280 kg/cm2 para cemento 1P



1.9.1.23. MODELO PARA T3K (PROBETA)

Un modelo estadístico propuesto para la probeta será un polinomio en función del tiempo.

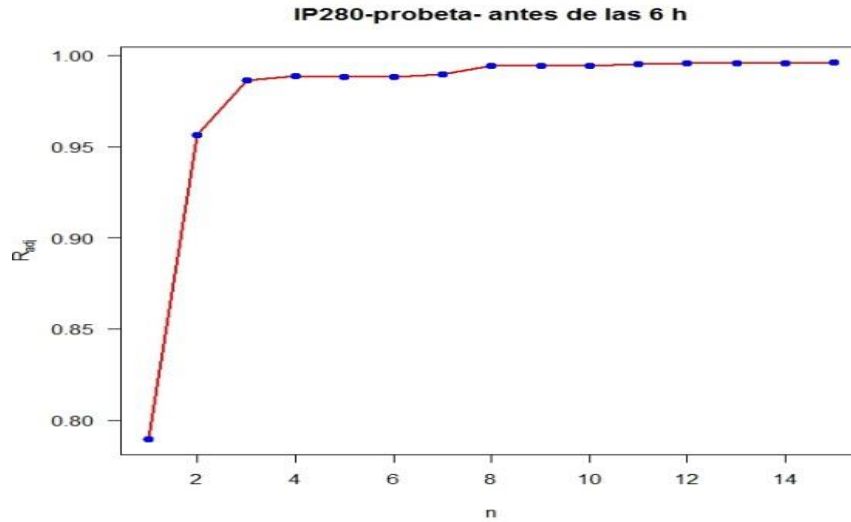
Así, el modelo estimado polinomial obtenido para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 19.66 + 2.01w - 0.91w^2 - 0.381w^3$$

Para elegir el grado del polinomio, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . Las siguientes gráficas muestran el ajuste del modelo polinomial de grado 3 y los diferentes valores para R_{adj} . Nótese que a partir del grado 3 se tiene un ajuste adecuado a los datos.

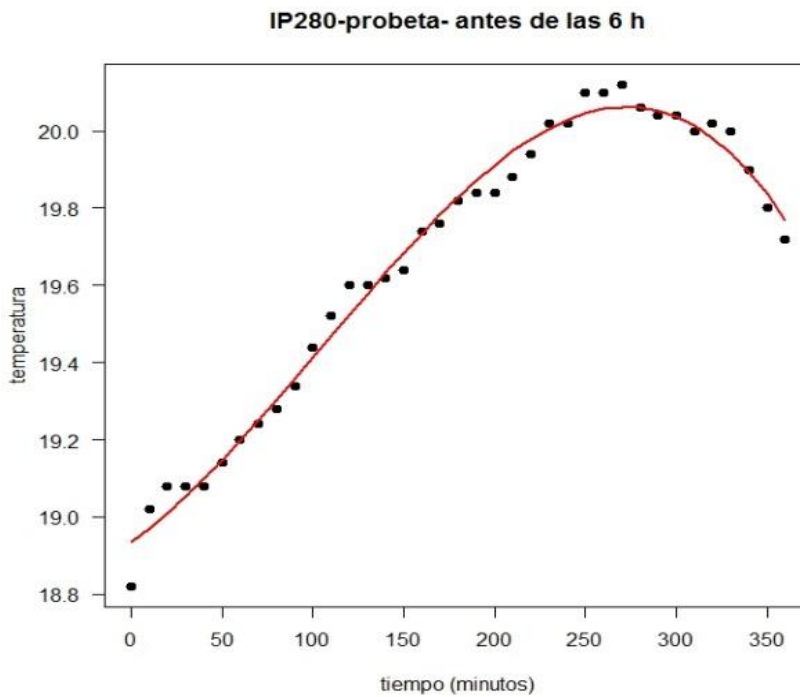
Gráfica 70

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 3 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Gráfica 71

Ajuste del modelo polinomial T3K (probeta) y t_1 (tiempo) para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P

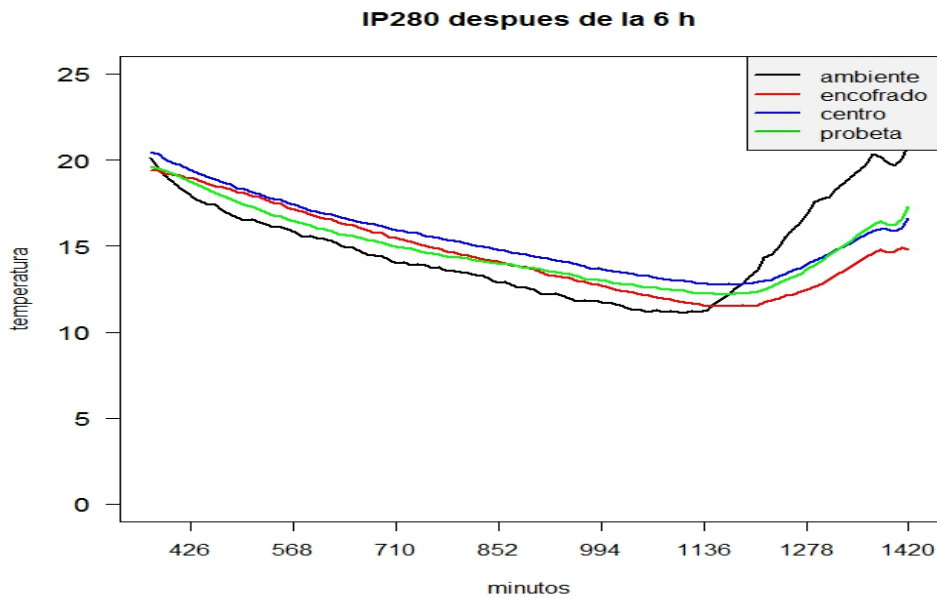


Fuente: Elaboración Propia

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO 1P DESPUÉS DE LAS SEIS HORAS

El siguiente gráfico manifiesta las temperaturas de las muestras y de la temperatura ambiente. Se observa que existe un comportamiento parecido entre las temperaturas.

Gráfica 72.
Temperaturas del concreto f'c=280 kg/cm2 para cemento 1P –2° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 52
Correlación de variables del concreto f'c=280 kg/cm2 con cemento 1P

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1	-0.0803	-0.8343	-0.7735	-0.6506
x	-0.0803	1	0.5995	0.6801	0.7865

Se observa que no existe una correlación entre el tiempo y la temperatura ambiental. Además, la correlación es moderada y fuerte pero negativa entre el tiempo y las 3 muestras consideradas.

Por otro lado, la temperatura ambiente, tiene una correlación moderada y fuerte con las 3 muestras siendo que tales correlaciones son todas positivas.

1.9.1.24. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

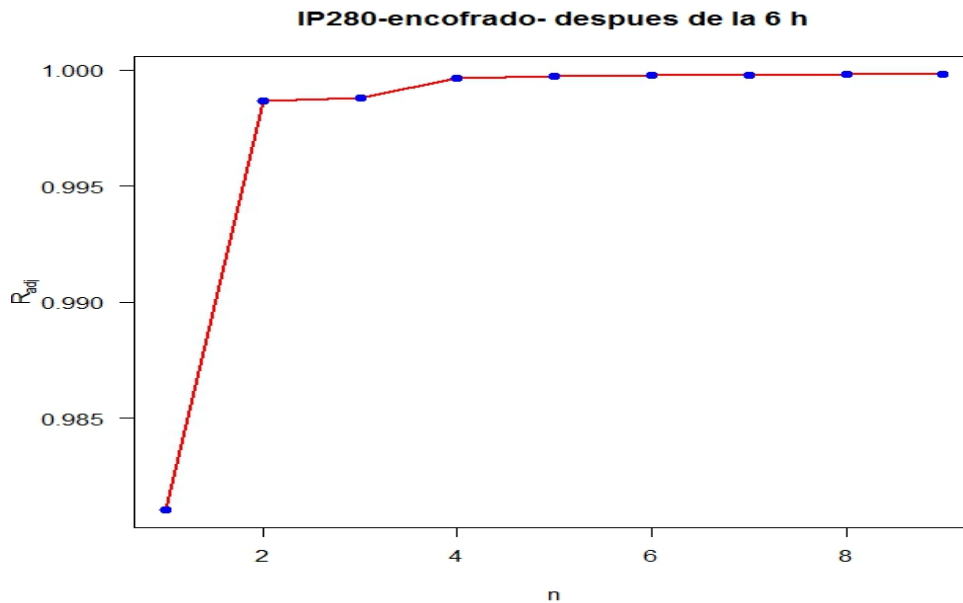
Debido a la correlación entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura del encofrado se considera una superficie de respuesta que comprende las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para y_1 es dado por

$$\hat{y}_1 = 14.65 + 1.82w_1 + 1.58w_1^2 - 26.34w_2 + 67.65w_1w_2 + 8.62w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta, es de grado 2.

Gráfica 73

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.25. MODELO PARA T2K (CENTRO)

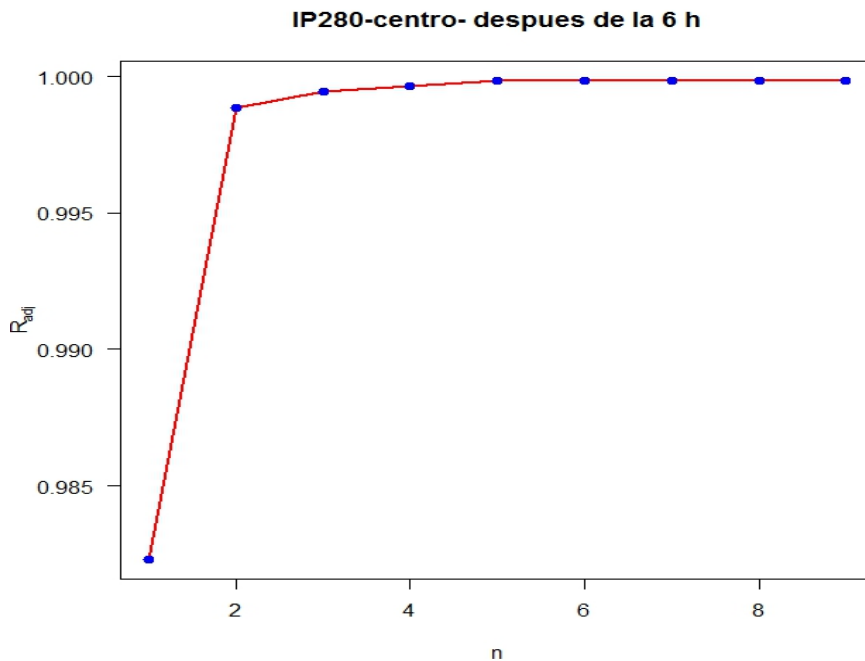
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo, la temperatura del ambiente con la temperatura del encofrado se toma una superficie de respuesta que considera las variables predictoras tiempo y temperatura del ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para y_2 es dado por

$$\hat{y}_2 = 15.46 + 7.05w_1 + 2.56w_1^2 - 20.04w_2 + 34.25w_1w_2 + 4.95w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 74

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P



1.9.1.26. MODELO PARA T3K (PROBETA)

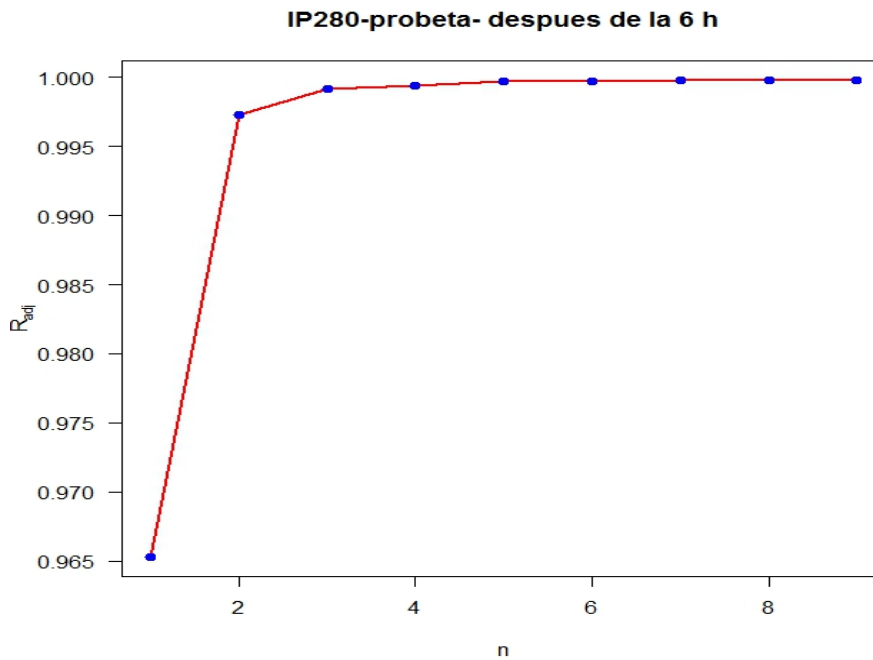
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura de probeta, se considera una superficie de respuesta que involucra las variables predictoras tiempo y temperatura ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 14.85 + 6.47w_1 + 3.4w_1^2 - 18.38w_2 + 45.49w_1w_2 + 7.22w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 75

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento 1P

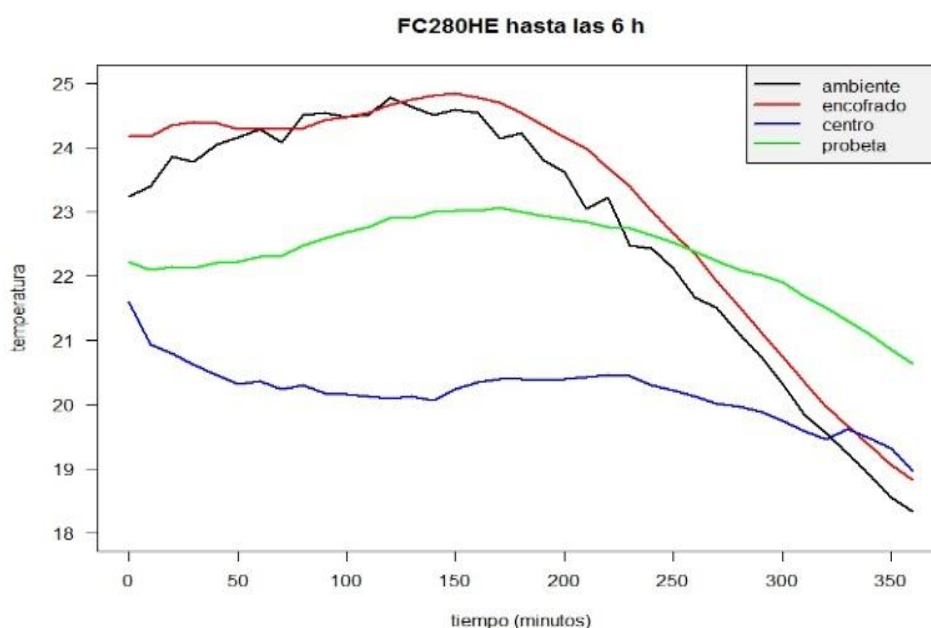


Fuente: Elaboración Propia

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO HE-PRIMERA ETAPA

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y la temperatura ambiente. Se observa que existe un comportamiento similar entre las temperaturas de las 3 muestras y la temperatura del ambiente.

Gráfica 76
Temperaturas del concreto $f'c=280$ kg/cm² para cemento HE – 1° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 53
Correlación de variables del concreto $f'c=280$ kg/cm² con cemento HE

	t1	X	y1	y2	y3
t1	1.000	-0.841	-0.8417	-0.7901	-0.4868
X	-0.841	1.000	0.9905	0.7104	0.8558

Se observa que la correlación lineal entre el tiempo y la temperatura ambiente es fuerte y negativa. La correlación entre “t1” y las tres muestras “y1”, “y2” y “y3” es fuerte, siendo todas las correlaciones negativas.

La temperatura ambiente tiene una correlación fuerte con “y1” y correlación de moderada a fuerte con las otras muestras; todas las correlaciones con positivas.

1.9.1.27. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

El modelo estadístico considerado para “y1” es de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = 15.0352 + .0.3873t_1 - 0.0425x + 0.0018t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos. Nótese que el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.991$ que es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste a los datos.

1.9.1.28. MODELO PARA T2K (CENTRO)

Similar al caso anterior, un modelo estadístico considerado para “y2” será un modelo de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado es dado por:

$$\hat{y}_2 = 36.0938 - 0.0561t_1 - 0.64281x + 0.0022t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.8988$; es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste a los datos.

1.9.1.29. MODELO PARA T3K (PROBETA)

Similar al caso anterior, un modelo estadístico considerado para “y3” será un modelo de primer orden con interacción. Así, el modelo estimado es dado por:

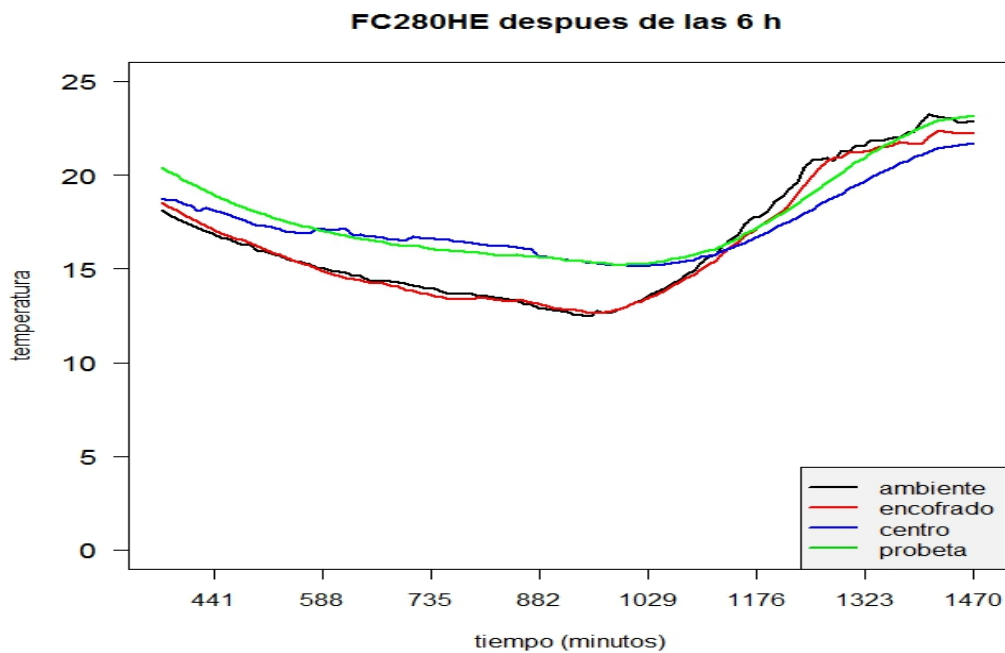
$$\hat{y}_3 = 21.4112 + 0.0269t_1 - 0.0305x + 0.0015t_1x$$

El modelo de primer orden con interacción tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.985$; es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste a los datos.

MODELO MATEMÁTICO PARA F'c 280 CEMENTO HE DESPUÉS DE LAS SEIS HORAS

El siguiente gráfico muestra las temperaturas de las muestras y de la temperatura del ambiente. Se observa que existe un comportamiento parecido entre las temperaturas. La relación que se puede visualizar entre las temperaturas tienen una tendencia curvilínea.

Gráfica 77
Temperaturas del concreto f'c=280 kg/cm2 para cemento HE -2° Etapa



Fuente: Elaboración Propia

La correlación asociada entre las variables consideradas es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 54
Correlación de variables del concreto f'c=280 kg/cm2 con cemento HE

	t1	x	y1	y2	y3
t1	1.000	0.5944	0.3932	0.6687	0.4068
X	0.5944	1.000	0.9959	0.9223	0.9458

Se observa que la correlación lineal entre “t1” y la temperatura ambiente es moderada y positiva. La correlación entre “t1” y las tres muestras “y1”, “y2” y “y3” es débil y moderada, correspondientemente.

La temperatura “x” tiene una correlación fuerte con todas las muestras. Por lo cual se debe considerar el modelamiento teniendo en cuenta “t1” y “x”.

1.9.1.30. MODELO PARA T1K (ENCOFRADO)

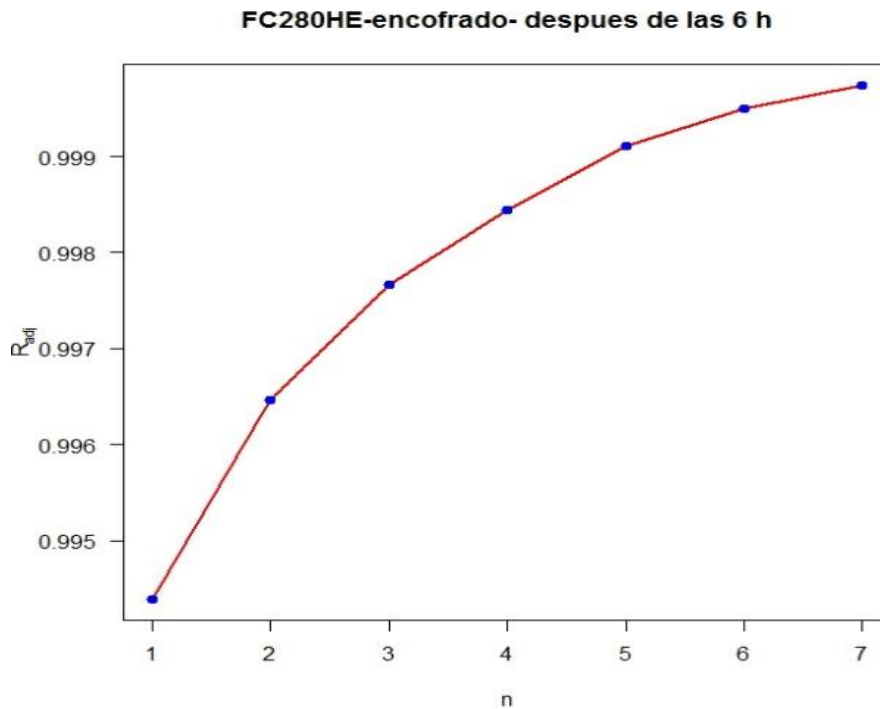
Debido a la correlación entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura del encofrado se toma una superficie de respuesta que considera las variables predictoras tiempo y temperatura ambiente. Nótese que existe un comportamiento curvilíneo también. Así, la superficie de respuesta estimada para “y1” es dado por:

$$\hat{y}_1 = 15.50 + 36.33w_1 + 2.14w_1^2 - 1.88w_2 - 39.33w_1w_2 + 0.964w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es de grado 2.

Gráfica 78

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.31. MODELO PARA T2K (CENTRO)

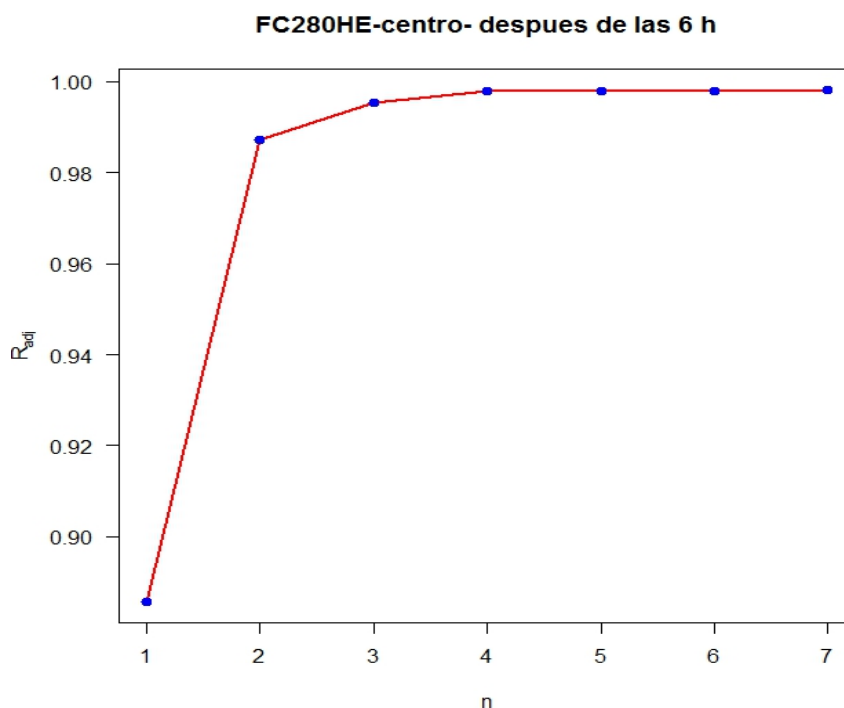
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura ambiente con la temperatura del encofrado, se considera una superficie de respuesta que involucra las variables predictoras tiempo y temperatura ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y2” es dado por:

$$\hat{y}_2 = 16.97 + 11.93w_1 + 3.06w_1^2 - 5.35w_2 + 66.34w_1w_2 + 4.78w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 79

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

1.9.1.32. MODELO PARA T3K (PROBETA)

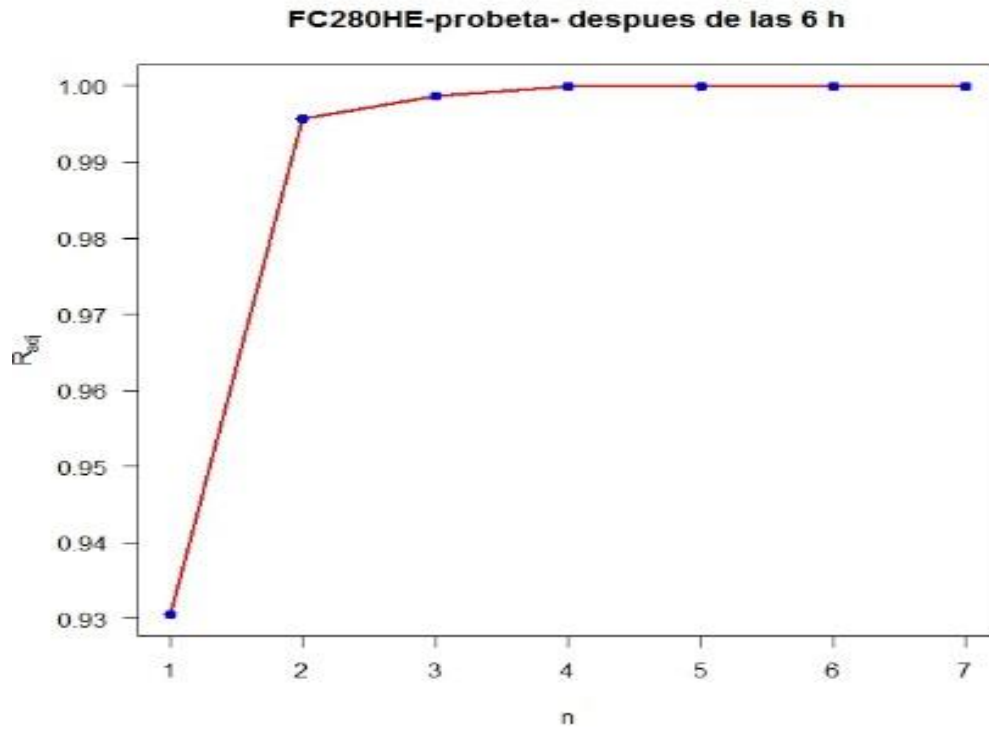
Debido a la correlación más evidente entre el tiempo y la temperatura del ambiente con la temperatura de probeta, se consideró una superficie de respuesta que considera las variables predictoras tiempo y temperatura ambiente. Así, la superficie de respuesta estimada para “y3” es dado por:

$$\hat{y}_3 = 17.69 + 17.64w_1 + 4.87w_1^2 - 3.19w_2 + 8.5w_1w_2 + 9.44w_2^2$$

Para elegir el grado de la superficie de respuesta, fue considerado el coeficiente de determinación ajustado, R_{adj} . La siguiente gráfica muestra que el grado con un buen ajuste para la superficie de respuesta es 2.

Gráfica 80

Valores de R_{adj} ajustado al modelo del polinomio, de grado 2 para un diseño $f'c=280$ kg/cm² para cemento HE



Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- PRIMERA:** Los resultados obtenidos validan lo señalado en el método mejorado de Schmidt que considera cantidad de cemento y características químicas del cemento. El cemento que mejor performance presentó fue el HE ya que su incremento de temperatura en nodo central de espécimen viga registra temperaturas que están comprendidas entre los 19°C y 21°C para ambos diseños de mezclas.
- SEGUNDA:** Sobre la incidencia de los diseños de mezclas por un tema de mayor contenido de cemento por metro cúbico: medidos en los T2K de vigas: para el cemento tipo 1P se obtuvo que en el diseño $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$ se tienen temperaturas de 24,1°C y 22,5°C respectivamente - No cumple. Para el cemento tipo HE de 21.62°C y 21,6°C – No cumple. Y finalmente para el cemento tipo 1 de 46,74°C y 22,76°C No cumple. Es decir, no tiene una correlación los mayores contenidos de cemento por metro cúbico de concreto.
- TERCERA:** El tipo de cemento tomando en cuenta las temperaturas presentadas en la conclusión 2, podemos señalar que tiene una correlación siendo la composición del cemento HE el que menor desarrollo registró, seguido por el cemento 1P y dejando como última opción el cemento tipo 1.
- CUARTA:** Para establecer la relación y el comportamiento con la temperatura ambiente se analiza lo registrado en el sensor T1K que muestra que el comportamiento térmico tiene dos fases bien definidas, la primera la hemos definido en la comprendida en las primeras 6 horas en donde el concreto marca independientemente su variación térmica y la variabilidad es

alta. Y en la segunda fase 18 horas restantes tiene mayor estabilidad y guardan una correlación con la temperatura ambiente.

QUINTA: La temperatura ambiente que a su vez influye en la temperatura de los elementos (agregados, agua, cemento) a intervenir en las muestras de concreto, son influyentes y determinantes en el comportamiento térmico del concreto. Entre mayor sea la condición térmica inicial tanto del ambiente como de los componentes del concreto, mayor será la temperatura inicial del concreto y por ende su desarrollo térmico total.

SEXTA: Los modelos matemáticos desarrollados como un aporte adicional a la presente investigación han permitido analizar el comportamiento y ajustar un polinomio a un conjunto de datos es un caso particular en el Modelo Regresión multilínea. En todos los casos analizados se han desarrollado ecuaciones polinómicas de diferentes grados, siendo la ecuación para el cemento HE del sensor ubicado en el medio de la viga la que desarrolló un modelo matemático polinomial de grado 5 tiene un buen ajuste a los datos, el coeficiente de determinación ajustado es $R_{adj} = 0.9917$ es cercano a uno indicando que tiene un buen ajuste a los datos.

RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Es recomendable profundizar la investigación con toma de más datos y distintas condiciones ambientales para obtener una mayor información que permitirá una mayor precisión
- SEGUNDA:** Se recomienda tomar en cuenta el volumen deL material y el espesor o potencia del concreto, ya que podría ser importante al momento de la reacción del cemento; este trabajo no ha considerado este factor
- TERCERA:** Los datos de la investigacion sOlo aplican para este caso en particular por lo que es muy probable que bajo otras condiciones los resultados varíen.
- CUARTA:** Los modelos matemáticos son referentes y deberían comprobarse mediante procedimientos lógicos con datos
- .
- .
- .

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C403 / C403M-16, Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org
- BOBKO, Christopher; ZANJANI, Vahid y SERÁCINO, Rudolf (2015) Improved Schmidt Method for Predicting Temperature Development in Mass Concrete, pp. 579 – 584. En: ACI Materials Journal, vol. 112, N° 4.
- Colegio de Ingenieros del Perú.
- COTTIER CAVIEDES, Juan Luis (2008) El concreto Masivo (Tesis de maestría en Ingeniería) Mexico D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- ERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2002) Norma técnica peruana 339.184: Hormigón. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón.
- GASTAÑADUÍ, Fernando (2004) Control de calidad de concreto. Lima.
- HERMIDA, Germán (2010) Madurez del concreto y determinación de la resistencia. En: Blog 360° en concreto, 5 de septiembre (consulta: 27 de abril de 2017).
- PASQUEL CARBAJAL, Enrique (1998) Topicos de Tecnología del concreto en el Perú. Lima:
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2011) Norma técnica peruana 400.010: Agregados. Extracción y preparación de las muestras.
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2013) Norma técnica peruana 400.011: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2011) Norma técnica peruana 400.017: Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados #a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M- 2009).
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2013) Norma técnica peruana 400.018: Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamizado 75um (N°200) por lavado de agregado.
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2013) Norma técnica peruana 400.021: Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado grueso.
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2013) Norma técnica peruana 400.022: Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado fino.
- PERU. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI (2002) Norma técnica peruana 339.036: Hormigón. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- RIVERA LOPEZ, Gerardo (2013) Concreto simple. Civilgeeks. En: <http://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- SOROKA, Itzhak (1993) Concrete in hot environments. London. E & FN Spon.

ANEXOS

GALERÍA DE FOTOS

Foto 1

Cancha de agregados para la toma de muestra de agregado



Foto 2

Batido de agregado para la homogenización.

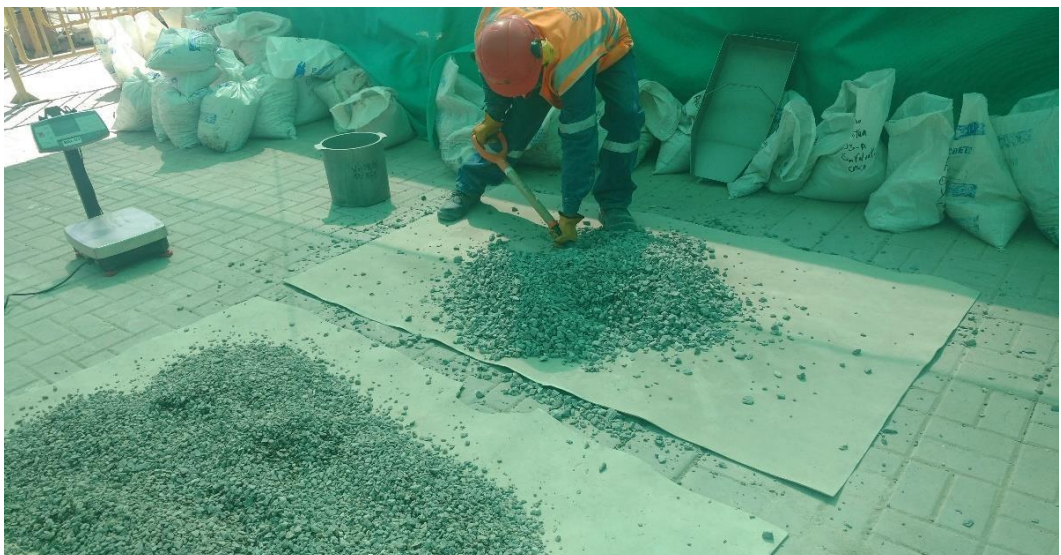


Foto 3

Ensayo de granulometría agregado grueso.



Foto 4

Ensayo de granulometría agregado grueso.



Foto 5

Ensayo de peso unitario suelto (PUS) y peso unitario compactado (PUC).



Foto 6

Ensayo de peso unitario suelto (PUS) y peso unitario compactado (PUC)



Foto 7

Ensayo de peso unitario suelto (PUS) y peso unitario compactado (PUC) agregado fino



Foto 8

Ensayo pasante malla #200.



Foto 9

Medida de temperatura inicial y pesado de agregados.



Foto 10

Medida de temperatura inicial y pesado del agua.



Foto 11
Preparación de concreto.



Foto 12
Medida de teperatura incial del concreto.



Foto 13.

Medida de temperatura durante 24 horas.



Foto 14.

Muestras para ensayo de resistencia a la compresión.

