

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN TIEMPO REAL MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ PARA DEFINIR LA EDAD DE POSTENSADO EN UNA VIGA DE CONCRETO F’C 210 kg/cm<sup>2</sup>, TRUJILLO,2022”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Oscar Manuel Fernandez Jimenez  
Alexhander Anthony Quipuscoa Cabrera

**Asesor:**

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
<https://orcid.org/0000-0001-9018-5763>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Germán Sagastegui Vásquez	45373822
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Nixon Peche Melo	70615775
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Sonia Rubio Herrera	42984416
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre Carmen Del Rosario Jimenez lozano, que desde la gloria de Dios me seguirá cuidando y guiando en cada logro de mi vida .

Fernandez Jimenez , Oscar Manuel

Lleno de regocijo dedico este proyecto:

A mi Mamá, por el apoyo moral y el entusiasmo que me brindaste para seguir adelante y no rendirme con mis propósitos.

A mi Papá, por tus consejos por mostrarme que si uno lucha por lo que desea puede cumplir sus sueños.

A nuestro Asesor, por el tiempo que me brindó para poder brindarme sus conocimientos, sin su instrucción profesional no habría podido llegar a completar esta meta.

Quipuscoa Cabrera, Alexander Anthony

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a mi padre por su apoyo en toda mi etapa universitaria , su entendimiento, los consejos y experiencia que me brindo para desarrollarme profesionalmente.

Fernandez Jimenez , Oscar Manuel

Agradezco a Dios por haberme iluminado y permitirme seguir adelante, con sabiduría, paciencia y hacer realidad una mis metas.

Agradezco a mis padres por la motivación de no rendirme y seguir adelante con cada una de mis metas.

Un agradecimiento especial al Ing. Alberto R. Vasquez Días por ser parte fundamental en la culminación de este proyecto, por habernos brindado sus conocimientos.

Quipuscoa Cabrera, Alexhander Anthony

## Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Antecedentes</b>	<b>13</b>
1.2.1. “Optimización del uso de encofrado para losas y columnas $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> con aditivo retardante de fragua utilizando el método de madurez del concreto.”	13
1.2.2. Influencia del Método de Madurez en la Resistencia del Concreto para un $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Huancavelica.	13
1.2.3. Estudio del tiempo desencofrado en vigas de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> con aditivo acelerante.	14
1.2.4. Implementacion del procedimiento del método de madurez del concreto ( Norma ASTM C1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos.	15
1.2.5. Importancia del método de madurez en la obtención de la resistencia del concreto para un $f'c= 21$ Mpa, con una mezcla de cemento Tipo I y Tipo ICo, en la ciudad de Trujillo, 2021	16
<b>1.3. Justificacion de la investigación</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Limitaciones</b>	<b>17</b>
<b>1.5. Bases teóricas</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Formulación del problema</b>	<b>40</b>
<b>1.7. Objetivos</b>	<b>40</b>

1.7.1. Obejtivos Especificos.	40
<b>1.8. Hipótesis</b>	<b>40</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS	47
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	68
REFERENCIAS	80
ANEXOS	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Compuestos Principales del cemento Portland</i> _____	18
<i>Tabla 2. Composición típica de los diferentes tipos de cementos portland</i> _____	19
<i>Tabla 3. Calor de hidratación de los compuestos principales del cemento portland</i> ____	21
<i>Tabla 4. Aumento promedio en porcentaje de la resistencia a la compresión</i> _____	25
<i>Tabla 5. Diseño de mezcla del concreto con tipo de cemento MS e ICo</i> _____	47
<i>Tabla 6. Resistencia a la compresión método tradicional cemento Tipo MS e ICo</i> _____	48
<i>Tabla 7. Control de temperatura en los testigos del cemento Tipo MS e Tipo ICo</i> _____	48
<i>Tabla 8. Relacion Resistencia-madurez del concreto con cemento MS e ICo</i> _____	49
<i>Tabla 9. Resultados de la edad de madurez del concreto diseño para los cementos MS y ICo</i> _____	53
<i>Tabla 10. Diseño de mezcla r a/c 0.60 con 1.00% y 1.50% Acelerante</i> _____	54
<i>Tabla 11. Temperatura máxima del concreto en probetas y vigas</i> _____	55
<i>Tabla 12. Resistencia a edades temprana rotura de probetas y vigas</i> _____	56
<i>Tabla 13. Índice de Madurez del concreto en probetas y vigas patron y con acelerante</i> _	56
<i>Tabla 14. Tiempo para alcanzar el 70% de la resistencia diseño</i> _____	58
<i>Tabla 15. Resistencia a la compresión del concreto autocompactante <math>f'c</math> 700 kg/cm<sup>2</sup></i> ____	59
<i>Tabla 16. Resistencia a la compresión del concreto CAD700, método tradicional</i> _____	62
<i>Tabla 17. Estimacion de la resistencia a la compresión del concreto SCC elaborado en el laboratorio, patio y viga model</i> _____	66
<i>Tabla 18. Estimacion de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 elaborado en el laboratorio, patio y la viga modelo</i> _____	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Curva de Calibracion de la mezcla</i>	32
<i>Figura 2. Curva de madurez valida</i>	33
<i>Figura 3. Curva Resistencia -Madurez cemento MS</i>	50
<i>Figura 4. Curva Resistencia- Madurez cemento Tipo ICo</i>	50
<i>Figura 5. Curva de estimación de la resistencia diseño del cemento MS- método de madurez</i>	51
<i>Figura 6. Curva de resistencia- tiempo en horas para el cemento MS</i>	51
<i>Figura 7. Curva resistencia del cemento Tipo ICo – madurez</i>	52
<i>Figura 8. Curva del cemento Tipo ICo- tiempo</i>	52
<i>Figura 9. Curva de madurez -temperatura del concreto con 1.50% de acelerante</i>	57
<i>Figura 10. Curva resistencia madurez del concreto con acelerante</i>	58
<i>Figura 11. Gráfica del control de temperatura de los testigos de concreto elaborados.</i>	60
<i>Figura 12. Curva de madurez-tiempo del concreto SCC700 .</i>	60
<i>Figura 13. Curva de madurez - temperatura del concreto SCC700</i>	61
<i>Figura 14. Ecuacion para la estimación de la resistencia a la compresión SCC700 – Laboratorio</i>	61
<i>Figura 15. Ecuacion para la estimación de la resistencia a la compresión SCC700 – Patio de la empresa</i>	62
<i>Figura 16. Registro de temperatura de los testigos de concreto CAD700</i>	63
<i>Figura 17. Curva madurez- tiempo del concreto CAD700</i>	64
<i>Figura 18. Curva temperatura- madurez del concreto CAD700</i>	64
<i>Figura 19. Ecuacion de la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 en laboratorio</i>	65
<i>Figura 20. Ecuacion de la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 en el patio</i>	65

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en tiempo real mediante el método de madurez para definir la edad de postensado en una viga de concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, Trujillo 2022” tuvo como objetivo principal determinar si la resistencia a la compresión del concreto en tiempo real mediante el método de la madurez sirve para definir la edad de postensado en una viga de concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, Trujillo 2022, para esto se realizó una investigación con un diseño no experimental, cualitativo transversal de enfoque descriptivo, la cual se valió de la revisión sistemática de la literatura como medio de recopilación de datos y la ficha resumen como instrumento de recolección de los mismos, se estudiaron 5 investigaciones previas las cuales utilizaban el método de la madurez para determinar la resistencia a la compresión de concreto con un  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo como conclusión que si es viable aplicar el método de la madurez para saber a que edad postensar una viga de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> siempre y cuando se cuenten con el mismo diseño de mezcla, los mismos materiales y la misma mano de obra.

**PALABRAS CLAVES:** Metodo de la madurez del concreto, resistencia a la compresión del concreto, postensado de vigas.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el Perú, la construcción ha aumentado de tal manera que se requieren de nuevas tecnologías tanto en maquinaria y procesos constructivos, así mismo se busca optimizar los recursos con los que se cuenta en campo. Uno de los recursos o instrumentos que determina la ruta crítica de la construcción es el encofrado, que suele ser de madera o de metal, es este recurso el que muchas veces repercute en el avance de las partidas. Es por ello que en la actualidad se suele utilizar aditivos u otros materiales que permitan reducir tiempos, los cuales se ven reflejados en los costos de la construcción. Según Alarcón y Méndez (2019), es de suma importancia el conocer y predecir el tiempo de desencofrado de una estructura para reducir los tiempos muertos en obra, de tal manera que conocer la evolución de la resistencia mediante el índice de madurez del concreto reduce el tiempo de desencofrado.

El concreto postensado es una forma de presfuerzo del concreto, que consiste en tensar tendones de acero y anclarlos en los extremos del elemento después de que el concreto ha fraguado y ha alcanzado una resistencia necesaria. Previamente al vaciado del concreto, se dejan los tendones con la geometría deseada, lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento con la trayectoria del tendón y de esa manera lograr deflexiones y esfuerzos que contrarresten los producidos por las cargas gravitacionales y obtener un comportamiento deseado. En el postensado existen dos sistemas, el sistema adherido y el sistema no adherido. En el sistema adherido las deformaciones en el tendón son compatibles con las del concreto; esta adherencia está garantizada por el cementante que circunda el cable dentro del dueto, el cual es

inyectado luego del tensado, logrando la adherencia al endurecer. En el sistema no adherido no existe compatibilidad de deformaciones; el tendón de presfuerzo se encuentra aislado del concreto y es capaz de desplazarse libremente. (Atalaya Villanueva, 2019)

Es por ello, que una posible solución es el concreto postensado que viene implementándose en nuestro país para reducir los efectos de sismo en las estructuras. Este sistema, lamentablemente no se está diseñando y ejecutando de forma adecuada; De ahí que el Ingeniero Civil Luis Bozzo de nacionalidad peruana en una entrevista para GESTIÓN en el 2013 asegura que: “Hay gente muy buena en sismos en el Perú. El postensado está viniendo desde otros países y también hay gente buena en eso, pero no sabe necesariamente de sismos”, los expertos en sismos están relegando el trabajo del postensado a quienes no saben necesariamente de ingeniería sísmica, por ejemplo: en el caso de las vigas que se utilizan en este proceso, en Lima, se utiliza cinco veces más cables que la norma norteamericana, que establece el uso de cables a un máximo de 25% de la capacidad por sección armada. El Ingeniero Bozzo, indicó que usar muchos cables en vigas ubicadas en zonas sísmicas reduce la ductilidad de las estructuras y es clave en el diseño sismorresistente; puesto que, el cable resiste cuatro veces más que la barra corrugada, pero es frágil y cuando hay terremotos, se rompe porque no tiene ductilidad. Por ello, en México donde hubo un destructivo terremoto en 1985 ya no se permite el uso de estos cables.

En países como Estados Unidos o Australia, esta técnica está muy extendida, en Europa su avance ha sido mucho menor. Mientras que el 75% del

acero de pretensar usado en Estados Unidos o Australia se ha empleado como postensado, en el caso de Europa el porcentaje sólo alcanza al 10% (Rodríguez et Cobo 2015, 320) En Perú la primera edificación en usar sistema de postensado es el edificio del aeropuerto Jorge Chávez donde se postensionaron las vigas continuas y ocurrió en el año 1961, luego edificaciones como fabrica Unión, la planta de ensamblaje de General Motors, la sede del banco popular, el edificio del Banco del Progreso en la avenida Abancay (hoy banco de la nación) y la torre del Centro Cívico de Lima en todas estas obras, los elementos postensados fueron las vigas. (Casabone Rasselet, 2002)

De esta manera, por los motivos expuestos anteriormente, utilizaremos el método de Madurez del concreto. Según Corro y Ramos (2015), el método de madurez es un método predictivo más eficiente, que resulta en un buen indicador para determinar el desarrollo de la resistencia en obra desde que el concreto se encuentra en estado fresco hasta cuando llega a endurecer. Al aplicar esta metodología; y siguiendo las indicaciones del ACI y las normas técnicas peruanas se podrá predecir el comportamiento del concreto, a fin de conocer si cuenta con resistencia suficiente para no ser afectado durante los procesos de desencofrado o conocer los tiempos mínimos de desencofrado de una mezcla de concreto para la construcción de multifamiliares en la ciudad de Trujillo, reduciéndose los tiempos no productivos en obra, afectando directamente el costo beneficio de los procesos constructivos.

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. “Optimización del uso de encofrado para losas y columnas $f'c$ 210 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo retardante de fragua utilizando el método de madurez del concreto.”**

Recabarren y Tafur (2019), en esta investigación los autores buscaron optimizar el costo de encofrado de una edificación prediciendo el tiempo de encofrado de una losa y columna, a través de una correlación entre madurez y resistencia a compresión de un concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con cemento tipo I y aditivo retardante de fragua mediante el análisis matemático y experimental para la aproximación de la resistencia a compresión in situ utilizando el método de madurez de concreto.

Como conclusiones de esta investigación, los autores señalan que las curvas de correlación permitieron establecer edades y valores de madurez que reflejaron la resistencia alcanzada por el concreto de las estructuras a edad temprana, por lo que es un método confiable y permite conocer el tiempo ideal para desencofrar los elementos estructurales, asimismo se podrá optimizar el tiempo de encofrado.

Otra conclusión de esta investigación señala que para un concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con aditivos retardante, el método de madurez les permitió determinar un tiempo óptimo de encofrado de 05 días, esto podría variar en el caso de aplicar acelerantes u otros aditivos. (pág. 97)

### **1.2.2. Influencia del Método de Madurez en la Resistencia del Concreto para un $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Huancavelica.**

Bedoya Espinoza (2018), el autor obtuvo que existe una relación inversamente proporcional entre el método de madurez y el de compresión en base al tipo de curado, ya que las probetas curadas con aditivo tuvieron una diferencia significativa cuando se compara las resistencias entre dichos métodos, dando una predominancia al método de madurez, en cambio cuando se trata del curado con agua, dicha diferencia se aminora con un aumento de la resistencia a compresión y una disminución de la resistencia mediante método de madurez. Interpretando las conclusiones del investigador, señala que los concretos con aditivos ofrece mejores resultados aplicando el método de madurez, si embargo este método no deja de ser confiable. ( pág. 126)

### **1.2.3. Estudio del tiempo desencofrado en vigas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con aditivo acelerante.**

Alarcon y Mendez (2019), dentro de esta investigación se tiene como objetivo evaluar el tiempo de desencofrado en vigas de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con la incorporación de aditivo acelerante, así se estimaron los valores de fraguado y temperaturas del concreto para calcular el incremento del índice de madurez a fin de evaluar las resistencias iniciales.

En esta investigación se concluyó que aplicando el método de madurez se puede monitorear la resistencia que adquiere el concreto en función al tiempo, lográndose evaluar que el tiempo de desencofrado en vigas  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con aditivo acelerante se reduce de 70.20 horas (concreto patrón) a 51 horas (concreto al 1% de acelerante). De esta manera se indica que, al aplicar el método de madurez, se logra garantizar un desencofrado a menor tiempo que utilizando un control

convencional de resistencia a compresión por carga axial. Debido a que, por lo general, se espera 07 días para realizar las roturas a compresión. (pág.46)

#### **1.2.4. Implementacion del procedimiento del método de madurez del concreto ( Norma ASTM C1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos.**

Dentro de esta investigación se tiene como objetivo implementar el procedimiento del método de madurez del concreto ( Norma ASTM C 1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos, por lo que se prepararon los sensores de temperatura, relojes digitales para poder censar la temperatura del concreto y poder desarrollar el método de madurez.

Llegado a la conclusión que la preparación de los sensores de temperatura, relojes digitales calibrados y placas genéricas programables para realizar el método de madurez, fue un éxito, se cumplió con la prueba de 24 horas, la de 3 días y la de 7 días, para luego realizar una prueba ininterrumpida de 35 días, los equipos implementados pudieron cumplir con el censado ininterrumpido.

La mayor parte de experiencias en el uso de la electrónica y software libre en procesos ingenieriles han sido exitosas, tengo que recalcar que en esta oportunidad se ha adaptado el equipo a la norma, y el desempeño en el cumplimiento de la norma ha sido verificado y con resultados favorables. Se puede afirmar que “Si fue posible la implementación de un equipo electrónico para la medición de la Madurez según la Norma ASTM C 1074” Rumiche Ormeño (2018, pág. 85)

### **1.2.5. Importancia del método de madurez en la obtención de la resistencia del concreto para un $f'c= 21$ Mpa, con una mezcla de cemento Tipo I y Tipo ICo, en la ciudad de Trujillo, 2021**

Adrianzen y Zavaleta (2021) buscaron estudiar el método de madurez en la obtención de la resistencia del concreto para un  $f'c= 21$  Mpa con mezclas de concreto elaborados con cemento tipo MS y tipo ICo, en Trujillo, otro de los puntos a conocer es la determinación de las curvas de calibración para la aplicación del método de madurez. (pág.50)

Llegaron a la conclusión que se determinaron las curvas de calibración del método de madurez para la mezcla de concreto con un  $f'c= 21$  MPa elaborados con cemento Tipo MS, obteniendo la ecuación  $f_c = 10.877 \ln(M) - 62.165$  y Tipo ICo,  $f_c = 9.8253 \ln(M) - 54.381$ , asegurando la validación que se establece en la norma NTP 339 217 donde la resistencia a compresión debe estar en un rango de 10 de la resistencia obtenida mediante el método:

- Tipo Ms: 2083 Cxh con un tiempo de 118 horas
- Tipo ICo: 2137 Cxh con un tiempo de 121 horas

Compararon el tiempo necesario para lograr el  $f'c$  objetivo según el método de madurez y resultados de ensayos de compresión en laboratorio basado en la norma ASTM C 39 para mezclas de concreto elaborados con cemento:

- Tipo Ms 118 con la NTP 339.217 horas y 128 horas con la ASTM C39.
- Tipo ICo 121 con la NTP 339.217 horas y 124 horas con la ASTM C39

### **1.3. Justificación de la investigación**

Como ya se conoce uno de los métodos principales para poder medir la resistencia a la compresión es mediante la prueba a muestras cilíndricas según lo normado ( NTP 339.034), no obstante este tipo de ensayo nos hace depender de un personal especializado para el manejo de la prensa y de igual manera de instituciones certificadas para ejecutar dichas pruebas, sin dejar de lado que los ensayos son programados a los 28 días y solo nos da una idea de la resistencia que el concreto elaborado puede llegar a desarrollar. Observándose que los tamaños de las estructuras y la temperatura juegan un papel muy importante en el desarrollo de la resistencia a la compresión, ya que no es igual evaluar un testigo de 4 x 8 pulgadas a estructura de 0.25 x 0.20 x 2.50 metros y a su vez los factores ambientales son distintos debido a esto es que se investiga el uso del método de la madurez para la estimación de la resistencia a la compresión in situ.

### **1.4. Limitaciones**

El método se limita a que la curva de madurez se relaciona directamente a las propiedades de las materias primas empleadas en la mezcla de concreto empleada, si se cambia de ubicación geográfica pero el concreto se produce con las mismas materias primas la relación madurez-resistencia es equivalente.

### **1.5. Bases teóricas**

Según (Rivera, pág. 15) define al cemento como “ Un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro, que por adición de una cantidad adecuada de agua, forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto el agua como el aire”.

El cemento usado en el Perú es el cemento portland quien (Rivera, pág. 15) define como un “ Producto que se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio”.

**Tabla 1.**

**Compuestos Principales del cemento Portland**

<b>Nombre del Compuesto</b>	<b>Formula</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Silicato Dicálcico</b>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
<b>Silicato Tricálcico</b>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{F}$
<b>Aluminato Tricálcico</b>	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
<b>Aluminoferrito Tetracálcico</b>	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

*Nota.* Componentes del cementos según (Rivera, pág. 20) .

De acuerdo a la variación de los compuestos principales del cemento portland se origina distintas presentaciones del cemento portland

Cemento Portland Tipo 1: Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.

Cemento Portland Tipo 1-M: Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales pero tiene resistencias superiores a las del tipo 1.

Cemento Portland Tipo 2 : Es el destinado en general a obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y a obras donde se requiera moderado calor de hidratación.

Cemento Portland Tipo 3: Es el que desarrolla altas resistencias iniciales.

Cemento Portland tipo 4: Es el que desarrolla bajo calor de hidratación.

Cemento Portland tipo 5: Es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.

**Tabla 2.**

**Composición típica de los diferentes tipos de cementos portland**

Tipos de Cemento Portland	Composicion (%)			
	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
<b>Normal</b>	24	50	11	8
<b>Moderado</b>	33	42	5	13
<b>Alta resistencia Inicial</b>	13	60	12	8
<b>Bajo Calor de Hidratacion</b>	50	26	5	12
<b>Resistencia a los sulfatos</b>	40	40	4	9

*Nota.* Según lo investigado por (Rivera, pág. 22)

### **El fraguado**

Según Rivera nos dice que el fraguado se refiere al paso de la mezcla del estado fluido o plástico al estado sólido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere alguna resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

El falso fraguado se da en los primeros minutos después de haberlo mezclado con el agua, aquí se pone en evidencia por una gran pérdida de plasticidad, sin generar mucho calor poco después de haberse realizado la mezcla. Cuando esta pasta endurecida se remezcla, sin adicionar agua, su plasticidad se recupera y fragua normalmente sin pérdida

de resistencia. Si por el contrario, la mezcla no recupera su plasticidad y desprende calor en forma apreciable se dice que lo que ocurrió fue un fraguado relámpago, o sea un verdadero fraguado pero en muy corto tiempo.

El falso fraguado es motivado generalmente por deshidratación del yeso cuando se mezcla con un clinker demasiado caliente (mayor a 120°C), se produce hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} 2\text{H}_2\text{O}$ ) o anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y cuando se mezcla el cemento con el agua, estos compuestos se hidratan para formar yeso. Para evitar la deshidratación del yeso, en la práctica normal se enfría el clinker antes de la molienda. Otra causa del falso fraguado puede asociarse con los álcalis del cemento; al almacenarse el cemento, los álcalis pueden carbonatarse y los carbonatos alcalinos reaccionan con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  liberado por la hidrólisis del  $\text{C}_3\text{S}$  para formar  $\text{CaCO}_3$ , este precipita e induce a una rigidización de la pasta. (Rivera, pág. 28).

### **El Calor de Hidratación**

Para Rivera,(pág. 31), nos dice que el calor de hidratación es el calor generado cuando reaccionan el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento; a tasa de generación de calor la afecta la finura y temperatura de curado, así como la composición química. De acuerdo con las reacciones químicas, la hidratación de compuestos del cemento es exotérmica, y pueden liberar hasta 500 joules por gramo (120 calorías/gramo). Puesto que la conductividad del concreto es relativamente baja, actúa como aislante, y en el interior de una masa grande de concreto, la hidratación puede producir un fuerte aumento en temperatura. Al mismo tiempo, la masa exterior del concreto pierde algo de calor, de modo que se produce un fuerte gradiente de temperatura y durante el enfriamiento posterior del interior, pueden producirse

graves agrietamientos. Esto es especialmente importante en estructuras como aquellas de gran masa, donde la rapidez y la cantidad de calor generado son importantes; si no se disipa este calor rápidamente, puede ocurrir una importante elevación de temperatura en el concreto, lo cual puede resultar inconveniente al ir acompañada de una dilatación térmica. El enfriamiento posterior del concreto endurecido a la temperatura ambiente puede crear contracciones en la masa conocidas como retracción de fraguado, y originar esfuerzos perjudiciales. En el otro extremo, el calor producido por hidratación puede impedir el congelamiento del agua en los capilares de concreto recientemente aplicado, en aguas heladas y es, por lo tanto, ventajoso que haya una fuerte dispersión de calor. Sin duda, es aconsejable conocer las propiedades productoras de calor de diferentes cementos para poder elegir el cemento más adecuado para cada finalidad. El calor de hidratación es la cantidad de calor en calorías por gramo de un cemento deshidratado, dispersado por una hidratación completa a una temperatura dada. El método más común para medir el calor de hidratación consiste en determinar el calor de solución de cemento deshidratado e hidratado en una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico; la diferencia entre estos dos valores representa el calor de hidratación (norma NTC 117).

**Tabla 3.**

***Calor de hidratación de los compuestos principales del cemento portland***

Compuesto	Calor Liberado (Calorias/gramo)			
	7 Días	28 Días	6 meses	Total hidratación
<b>C<sub>2</sub>S</b>	20	45	60	62
<b>C<sub>3</sub>S</b>	110	120	120	120
<b>C<sub>3</sub>A</b>	185	205	207	207
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	40	50	70	100

## **Agregados para el concreto.**

Rivera,(s.f, pág.37) defino a los agregados como “también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.”

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activo, entre otros.

Unas de propiedades importantes para el sustento de la investigación son las propiedades térmicas, Rivera, (s.f. Pág. 47) nos dice que, el coeficiente de dilatación de los áridos y su relación con el coeficiente de dilatación de la pasta de cemento influyen en las presiones internas que aparecen en el hormigón al variar la temperatura. No se han establecido valores cuantitativos de dilatación térmica, pero se presume que debe ser similar que para los ladrillos (por ser materiales cerámicos). Una de las ventajas del hormigón ligero armado respecto al normal es su mejor comportamiento como aislante térmico, esto se debe a la menor conductividad térmica de los áridos ligeros, por la porosidad de los mismos.

Debido a la alta temperatura alcanzada en su fabricación los áridos ligeros son muy refractarios.

### **Agua de mezcla**

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón. La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el hormigón queden trabajables. Rivera, (s.f., Pág.73).

### **El concreto**

La manejabilidad del concreto, para Rivera (s.f., Pág.78) es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue). El grado de manejabilidad apropiado para cada estructura, depende del tamaño y forma del elemento que se vaya a construir, de la disposición y tamaño del refuerzo y de los métodos de colocación y compactación. Así por ejemplo, un elemento delgado o muy reforzado necesita una mezcla más fluida que un elemento masivo o poco reforzado. Un método indirecto para determinar la manejabilidad de una mezcla, consiste en medir su

consistencia o fluidez por medio del ensayo de "asentamiento con el cono o slump" .Es una prueba que se usa comúnmente en las construcciones de todo el mundo; la prueba no mide la trabajabilidad del concreto, sino que determina la consistencia o fluidez de la mezcla; es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas.

La fluidez de la pasta es una parte importante, según Rivera (s.f., Pág 82) la plasticidad de la mezcla dependerá de las cantidades relativas de agua y cemento en la pasta. Una pasta con poca agua y mucho cemento será muy rígida, no podrá admitir la adición de los agregados sin llegar a ser enteramente inmanejable. Por el contrario, si el contenido de agua es alto y del cemento es bajo, la pasta puede llegar a ser tan fluida que no es capaz de impedir la segregación de los agregados (especialmente de los tamaños gruesos); los sólidos más pesados se asentarán y el agua se acumulará en la superficie de la mezcla produciendo el fenómeno conocido como exudación. La pasta fresca es una suspensión, más no una solución de cemento en agua. Mientras más diluida, mayor será el espacio entre las partículas de cemento y entonces más débil será la estructura de la pasta en cualquier estado de hidratación de la misma. Por lo tanto, en mezclas plásticas la resistencia del concreto variará como una función inversa de la relación agua/cemento, la cual es una manera de expresar el grado de dilución de la pasta.

Uno de los factores que afecta a el concreto es el tiempo, la temperatura y la humedad, Rivera (s.f., Pág. 139) nos dice que Una vez que el agua ha entrado en contacto con el cemento, el concreto empieza a endurecer gradualmente hasta que pasa del estado plástico al rígido, entonces se dice que el concreto ha "fraguado". Una elevación en la temperatura de curado acelera las reacciones químicas de hidratación, incrementando la resistencia temprana del concreto, sin efectos contrarios en la resistencia posterior; sin embargo, una

temperatura más alta durante la colocación y el fraguado, aunque incrementa la resistencia a muy temprana edad, puede afectar adversamente la resistencia a partir de aproximadamente los 7 días. Esto es debido, a que una rápida hidratación inicial parece formar productos de una estructura física más pobre, probablemente más porosa. La exposición al aire del concreto, debido a la pérdida de humedad, impide la hidratación completa del cemento y por lo tanto la resistencia final disminuirá. La velocidad e intensidad del secamiento depende de la masa de concreto relativa al área de la superficie expuesta, así como también de la humedad ambiente.

Por otra parte, si la temperatura de curado es más alta que la temperatura inicial de moldeo, la resistencia resultante a los 28 días será mayor y viceversa; para unos 5 oC de diferencia entre las temperaturas de moldeo y de curado, la variación de resistencia es del orden de 8%. El aumento promedio de resistencia con el tiempo está indicado en la tabla.

**Tabla 4.**

***Aumento promedio en porcentaje de la resistencia a la compresión***

Temperatura °C	Tiempo (Días)				
	3	7	14	21	28
<b>10</b>	25%	40%	63%	76%	82%
<b>23</b>	34%	52%	76%	91%	100%
<b>35</b>	40%	60%	87%	102%	110%

*Nota.* Se observa como varia la resistencia a través del tiempo y de acuerdo a la temperatura, según Rivera (s.f., Pág.140)

Proceso Estándar de Ensayo de Probetas a Compresión: Actualmente, el concreto es muy importante en las estructuras de los diversos elementos que se construyen en el día a

día. Esta importancia se debe a que el concreto tiene una alta capacidad de resistencia a la compresión.

La resistencia de un elemento de concreto se determina por medio de diferentes métodos de ensayo, hoy por hoy, el método que se utiliza en nuestro país es el proceso estándar de ensayo de probetas o testigos de concreto a compresión. Para llevar a cabo este ensayo es necesario tener en cuenta diversas consideraciones, como las normas y especificaciones en las que se basa dicho ensayo y/o método, las contemplaciones que se deben tener con los equipos a utilizar, el proceso de elaboración de las probetas de concreto y finalmente el proceso de ensayo a compresión de las probetas o testigos de concreto para obtener la resistencia de los mismos.

#### Dosificaciones de Mezcla del concreto

Debe establecerse que uno de los requisitos para el cálculo de la Madurez del concreto es realizar todo el método cada vez que se modifica el peso de cualquier material del diseño de mezcla, así que se debe deducir que la formulación del diseño de mezcla tiene muchas variables como para establecer una correlación de los cambios que afectan al resultado final del Método de Madurez, por tanto sólo se establecerá que el sistema de diseño de mezcla lo establece el el Código ACI 211 (ACI 211,2002)

#### Generacion de calor en el concreto

Hemos referido que los primeros indicios de establecer una relación entre la generación de calor y la resistencia del concreto es evaluando el comportamiento que ha tenido el concreto en construcciones sometidas a temperatura de ambiente altas y a temperatura de ambiente bajas, de esto hay mucha información e incluso hay mucha prudencia de parte de los encargados de la autoconstrucción en nuestro país, “maestro de

obra vecinales”, solo para nombrar un ejemplo los “maestros” saben que en Lima se debe mantener como mínimo 14 días el encofrado de un techo aligerado 20 de concreto sin embargo en Huancayo se debe mantener el encofrado del mismo techo 30 días como mínimo. Referimos que la generación de calor del concreto genera como consecuencia el aumento de la resistencia del mismo, es admitir que debido a la practica con el tiempo y por el uso en más de cien años del cemento dentro la construcción se ha deducido que esto es un hecho, y que gracias a las investigaciones en varias instrucciones avocadas al estudio de materiales de construcción ya tenemos certeza de como ocurre este efecto químico-físico, pero no es la finalidad en esta oportunidad de explicar los efectos de las reacciones químicas pero si es importante ver los efectos de tipo físicos, y es que el concreto fluye en estados diferentes he incluso dentro de las reacciones químicas producidas de la mezcla del cemento y agua también produce gases como subproducto, pero debemos centrarnos en los cambios físicos que son los que finalmente aportaran al desarrollo de la resistencia del concreto.

Debido a que la resistencia del concreto depende de la edad y de la temperatura, se puede decir que la resistencia está en función de  $\sum(\text{tiempo} * \text{temperatura})$  y esta suma se llama "MADUREZ"; la regla de la madurez se aplica convenientemente cuando la temperatura inicial del concreto está entre 16 y 27 oC y no hay pérdida de humedad por secado durante el período considerado, el rango de temperatura de curado se recomienda considerarlo por encima de 0 oC hasta 50 oC. La madurez se mide en "oC-Horas" o "oC-Días". Rivera (s.f. Pág.140)

Método de madurez:

Actualmente, la resistencia del concreto se obtiene a través de testigos cilíndricos ensayados a compresión, pero, estos resultados son ideales debido a que los testigos son

elaborados y manipulados de distinta manera en comparación con la estructura. Así mismo, estos se mantienen curados a una temperatura y ambiente controlado, mientras que muchas veces en la estructura no se sigue el mismo cuidado, es así que se producen evoluciones de resistencia distintas. Debido a esto, los valores de resistencia obtenidos por el ensayo a compresión de probetas, varía en función a la resistencia real de la estructura, siendo estos resultados no correctamente representativos de la resistencia que tiene la estructura. Por este motivo, se busca aplicar un método que sea confiable y brinde la facilidad de obtener la resistencia inmediata de una estructura en campo. Entonces, el método que se aplicará en la presente tesis es el método de madurez. Este tuvo orígenes en trabajos realizados en Inglaterra a fines de la década de los años 40 y a inicios de los años 50 por McIntosh, 1949; Nurse, 1949 y Saul, 1951. Estos investigadores desarrollaron la famosa función de madurez, la cual “...considera los efectos combinados de tiempo y temperatura en el desarrollo de la resistencia.” Existen dos funciones de madurez, la de Nurse-Saul y la de McIntosh, la cual se encuentra basada en la función de edad equivalente de Arrhenius. Ambas funciones se desarrollarán en el siguiente subcapítulo.

El método de madurez tuvo mayor profundización debido a que el 2 de marzo de 1973 en la ciudad de Fairfax, Virginia se produjo un accidente en un edificio en construcción de varios pisos. Una losa cedió y murieron 14 trabajadores y 34 resultaron heridos, a lo que posteriormente al accidente se procedió a realizar una investigación para encontrar el motivo de lo sucedido, dando como resultado que el desencofrado de la losa fue prematuro. Para esto, al momento de desencofrar la losa, a los 4 días después del vaciado, no tomaron en cuenta la temperatura del lugar, que fue lo que principalmente produjo que el concreto no consiga obtener la resistencia necesaria. A partir de esto, los investigadores de la NBS (The National Bureau of Standards) encontraron dificultad en el uso de datos obtenidos bajo

condiciones de temperatura constante, por lo que se desencadenó el interés por obtener la resistencia a través de la temperatura en el mismo lugar de trabajo. Entonces, se comenzó a investigar mucho más sobre el método de madurez, debido a que este método no sólo nos permite obtener la resistencia en el lugar de trabajo sino también, nos da la posibilidad de estimar la resistencia de un elemento o una estructura bajo condiciones de temperatura variables. En el año 1987 el método de madurez fue aprobado y especificado por la ASTM C 1074.10 Por otro lado, el ACI 318 (American Concrete Institute) menciona el método de madurez en el capítulo 6 (R6.2).

“La evaluación de la resistencia del concreto durante la construcción puede ser demostrada mediante cilindros curados en terreno o algún otro procedimiento aprobado por el inspector como ser Mediciones de Factor de Madurez y correlaciones de acuerdo con ASTM C 1074”(COVARRUBIAS, Juan Pablo, 2011) .

El método de madurez es un método no destructivo para estimar, de manera confiable, la resistencia de elementos de concreto en el área de trabajo. Esto se basa en que el concreto gana resistencia no sólo con la edad, sino también cuando la temperatura se eleva. Es así que, “este método de madurez utiliza el historial térmico del hormigón para poder estimar el desarrollo de resistencia durante el periodo de curado.” Por lo que es posible conocer la resistencia de la estructura en tiempo real, inclusive a edad temprana. El concepto de madurez indica la magnitud de hidratación del material cementante y se basa en que la temperatura es un factor influyente en el proceso de hidratación de las partículas del cemento y por consiguiente también en la resistencia del concreto. Así mismo, las pruebas que se han realizado demuestran que cuando la madurez es igual en dos elementos, entonces éstos tienen la misma resistencia. Además, si dos elementos de igual tipo de concreto, son curados a distintas temperaturas y tienen edades diferentes, es posible que tengan la misma madurez

debido a que uno de estos elementos puede haber sido curado a baja temperatura, logrando una resistencia en un mayor tiempo, mientras que otro elemento puede haberse curado a una temperatura elevada, consiguiendo así la misma resistencia en menor tiempo

### **Fundamentos teóricos del método de madurez**

El método de madurez se basa en el historial de temperatura del concreto para la estimación del desarrollo de resistencia, siempre y cuando exista humedad disponible para la hidratación del cemento durante el tiempo de curado, utilizando ese historial de temperatura se calcula el índice de madurez. Es importante mencionar que para cada mezcla de concreto la relación entre la resistencia y el índice de madurez es establecida de antemano (calibración de la mezcla). La relación y las mediciones del índice de madurez en campo son usadas para determinar la resistencia en el sitio.

#### La teoría de Nurse-Sául

Los orígenes del método de la madurez se remontan a una serie de documentos en Inglaterra, donde se utilizaban métodos de curado acelerado [McIntosh, 1949; Nurse, 1949; Saúl, 1951]. Existiendo la necesidad de un procedimiento que explicara los efectos combinados del tiempo y temperatura sobre el desarrollo de resistencia bajo temperaturas de curado elevado. Fue así que se propuso que el producto del tiempo y temperatura se podría utilizar para ese fin. Estas ideas condujeron a la famosa función de madurez de Nurse-Saúl.

$$M = \sum_0^t (T - T_o) \Delta t$$

Donde:

M: Índice de madurez, en °C-horas ó °C-días

T: Temperatura promedio del concreto, en °C, durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$

To: Datum de temperatura

t: Tiempo transcurrido  $\Delta t$ : Intervalo de tiempo (días u horas)

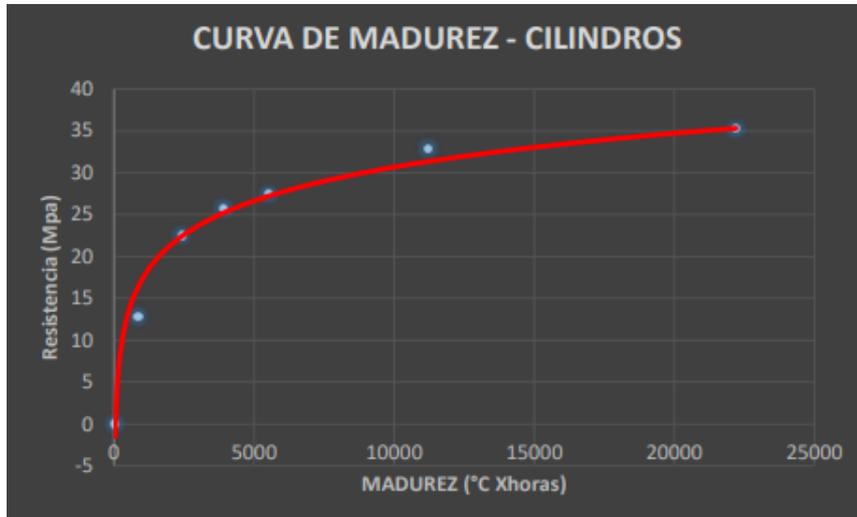
### **Normativa estándar para la determinación de la madurez**

En 1987, gracias a los aportes de la NBS la Sociedad Americana para ensayos y materiales (ASTM por sus siglas en inglés), por primera vez aprobó la norma C 1074 que estandarizó el procedimiento para desarrollar relaciones de resistencia-madurez.

Los pasos más sobresalientes que plantea la normativa, consisten en desarrollar primero un diseño de mezcla que se planea utilizar en la estructura (pavimento o losa). Luego, colar y curar 17 cilindros en el laboratorio usando esta mezcla, con sensores empotrados en el centro de dos de estos cilindros. Cabe mencionar que varios proveedores fabrican sensores que proporcionan lecturas de temperaturas a través de tiempo, o proporcionan directamente el TTF o valores de edad equivalente. A varias edades (1, 3, 7, 14, y 28 días), se toma un valor de madurez de los cilindros con sensores, y dos cilindros se ensayan a compresión (más uno extra en caso de algún resultado dudoso), y así contar con valores de resistencia a compresión para la respectiva madurez. Llamándosele a este proceso calibración de la mezcla.

**Figura 1.**

**Curva de Calibracion de la mezcla**

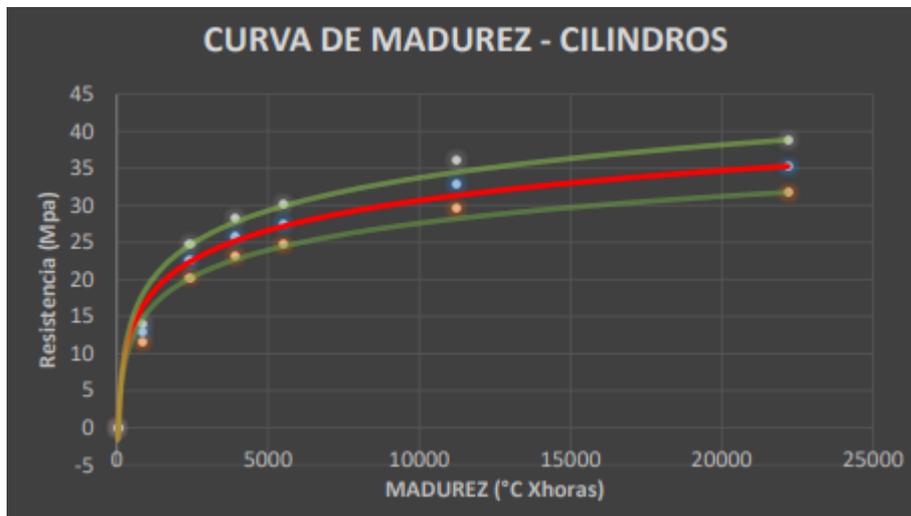


*Nota.* Esta curva se determinará en la primera fase, para la obtención de la resistencia por el método de madures

Ahora tenemos una relación entre índice de madurez - edad equivalente o el factor de temperatura-tiempo y la resistencia del concreto. Si se conoce el índice de madurez de este concreto en cualquier momento, entonces se sabrá su resistencia y así poder validar la curva obtenida, por medio de resultados de resistencia de cilindros curados en condiciones diferentes a las que estuvieron los cilindros ensayados para obtener la curva de calibración.

**Figura 2.**

**Curva de madurez valida**



*Nota.* Para que un resultado de resistencia a la compresión sea valido este valor debe estar dentro de un más menos 10% de la resistencia obtenida por el método de madurez.

**Beneficios y aplicaciones del método de madurez**

El principal beneficio de usar este método es que proporciona un medio no Destructivo relativamente rápido para supervisar continuamente la resistencia del Concreto mejorando así notablemente el nivel de confiabilidad en la verificación del cumplimiento de especificaciones técnicas del concreto, optimizando los tiempos y tecnificando los sistemas de aseguramiento y control de calidad en obra.

Los beneficios y aplicaciones típicas del método de madurez se resumen a continuación:

1. Se estima que el tiempo de construcción para proyectos de autopistas podría reducirse en más del 50 %.

2. Requiere un menor número de especímenes (vigas o cilindros) para los ensayos, reduciendo así los costos de control de calidad y tiempo en la preparación.
3. Permite monitorear permanentemente y tomar acciones correctivas en forma oportuna en los efectos del clima frío sobre la ganancia de resistencia del concreto. Así mismo detener rápidamente los sistemas de calentamiento.
4. Los cables de pos tensado pueden ser tensados más pronto, acelerando el flujo de trabajo.
5. Predecir con alto grado de exactitud el momento en el cual el concreto lanzado en las paredes del túnel adquiriría la resistencia requerida, así como para determinar las condiciones mecánicas del concreto.
6. Los encofrados en proyectos de puentes o edificios pueden retirarse más rápido, agilizando la construcción y disminuyendo costos de arrendamiento y horas hombre.

### **Método de presforzado**

En el concreto presforzado existen dos categorías: pretensado o postensado, el de que el concreto este endurecido, a diferencia del postensado en el cual primero se recibe la precarga al tensar los tendones entre los anclajes del elemento, luego de que el concreto este curado correctamente, los tendones los cuales son elementos utilizados para el presfuerzo son generalmentecables torcidos con torones de diferentes diámetros, los cuales dependerán de las especificaciones de diseño requeridas por el constructor, en el caso del pretensado actuaran en el elemento por medio de una trayectoria recta, a diferencia que en el postensado que puede variar entre recta y curva. Los sistemas de presfuerzo se entiende como los

métodos y maquinarias utilizados para aplicar la precarga a un elemento, estos varían de acuerdo al método del pretensado que se utilizara, sin embargo habrán sistemas que pueden ser usados en ambos casos. Meza Quintanilla,( s.f. , pág.24)

### **Metodo del Postensado o potesado**

El presfuerzo o postensado se define como un estado especial de esfuerzos y deformaciones que es inducido para mejorar el comportamiento estructural de un elemento. Por medio del presfuerzo se aumenta la capacidad de carga y se disminuye la sección del elemento. Se inducen fuerzas opuestas a las que producen las cargas de trabajo mediante cable de acero de alta resistencia al ser tensado contra sus anclas. La aplicación de estas fuerzas se realiza después del fraguado, utilizando cables de acero enductados para evitar su adherencia con el concreto. Contrario al pretensado el postensado es un método de presforzado en el cual el tendón que va dentro de unos conductos es tensado después de que el concreto ha fraguado. Así el presfuerzo es casi siempre ejecutado externamente contra el concreto endurecido, y los tendones se anclan contra el concreto inmediatamente después del presforzado. Este método puede aplicarse tanto para elementos prefabricados como colados en sitio. Generalmente se colocan en los moldes de la viga conductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Cuando se hace el presforzado por postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando este ha adquirido suficiente

resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado. Meza Quintanilla ( s.f. , pág. 29)

La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero, los tendones se tensan normalmente todos a la vez o bien utilizando el gato monotoron. Normalmente se rellenen de mortero los ductos de los tendones después de que estos han sido reforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto. Meza Quintanilla, (s.f. pág. 30)

### Ventajas

Eficiencia en la utilización del concreto, reducción de secciones hasta un 30%, reducción de acero de refuerzo a cantidades mínimas, aligeramiento de la estructura, menor peso de estructura, disminuye los efectos de simos, controlar deflexiones de los elementos estructurales dentro de límites aceptables.

### Tipos de concreto utilizados para concreto postensado

El concreto utilizado en los elementos postensados debe cumplir con la resistencia requerida para que en las diferentes etapas de carga no se sobrepasen los esfuerzos admisibles, tanto de tensión como de compresión. Una ventaja del postensado sobre el pretensado es que el concreto puede ganar resistencia fuera del molde, por lo que no es necesario obtener altas resistencias iniciales para optimizar la producción. El concreto que se usa para presforzarse por tener mayor calidad y resistencia con respecto al utilizado en construcciones ordinarias. Los valores comunes de  $f'$  oscilan entre 350 y 500 kg/cm<sup>2</sup> , siendo el valor estándar 350

kg/cm<sup>2</sup>. Se requiere esta resistencia para poder hacer la transferencia del presfuerzo cuando el concreto haya alcanzado una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Tipos de Acero utilizados para concreto postensado

Los cables de postension consisten usualmente de conjuntos de torones de acero de alta resistencia. Esta es una característica importante pues el uso de aceros de resistencias de fluencia menores lleva a altos porcentajes de pérdida de fuerza. Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener alambres redondos que, después del enfriamiento, pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta su tamaño requerido. El proceso de estirado, se ejecuta en frío lo que modifica notablemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. Posteriormente se les libera de esfuerzos residuales mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas prescritas. Los alambres se fabrican en diámetros de 3, 4, 5, 6, 7, 9.4 y 10 mm y las resistencias varían desde 16000 hasta 19000 kg/cm<sup>2</sup>. Los alambres de 5, 6 y 7 mm pueden tener acabado liso, dentado y tridentado. Ductos Los ductos en los cuales se enhebran los cables pueden ser de diversos materiales. La Asociación Americana de Carreteras del Estado y Funcionarios de Transporte (AASHTO por sus siglas en inglés) tienen requerimientos básicos para ductos de algunos materiales, como los metálicos y los plásticos. En Productos de Concreto S.A. se utilizan ductos de fleje metálico en diversos diámetros según así lo requiera el cable a enhebrar. Lechada de inyección Esta se utiliza para completar los ductos una vez que ha concluido la operación de tensado. La lechada debe ser lo suficientemente fluida como para garantizar el correcto llenado de toda la longitud del ducto. Normalmente la lechada se compone de cemento más agua y se suele incluir un plastificante retardante, sin embargo si el ducto es muy grande puede emplearse un material de relleno como arena fina. Anclajes Los anclajes tienen la función de transmitir la fuerza

de tensado de los cables a la superficie de concreto endurecido. Estos pueden ser de dos tipos, anclajes muertos o fijos y anclajes vivos o activos. Los anclajes muertos son aquellos que quedan embebidos en la pieza de concreto y no permiten la operación de tensado a través de ellos. Trabajan por adherencia y tiene la ventaja que suelen ser más económicos. Los anclajes vivos si permiten la labor de tensado y normalmente consisten en una placa o bloque de acero que reacciona contra el concreto.

### **Características del concreto postensado**

Según Javier (2019), en su artículo en Argos 360 el concreto postensado tiene una serie de características relevantes como:

- La eficiencia y durabilidad del sistema. Las estructuras postensadas fundidas en sitio porveen a menudo ahorros iniciales, comparados con otros sistemas constructivos. Además requieren menor mantenimiento y presentan una alta durabilidad y resistencia en edificaciones. A lo largo del tiempo, el concreto postensado ha demostrado un buen desempeño en regiones de alta sismicidad y áreas con altos niveles de corrosión como los son los ambientes costeros o donde se esparce sal para disolver nieve. El adecuado diseño, el detallado y la cuidadosa construcción de una estructura postensada minimizar la aparición de fisuras. Por ejemplo, tener una baja relación agua/cemento, incluir aire al concreto y unos buenos materiales de sello, darán como resultados sistemas de piso que exigen mínimo mantenimiento.
- El control de fisuras y estanques en los sistemas postensados fundidos en sitio con losas colocadas a compresión biaxial, ayudan a controlar y a contrarrestar la contracción y las fisuras por flexión. Así, se evita que el agua y agentes contaminantes ingresen por las fisuras y afecten la matriz o núcleo del concreto.

- Los elementos postensados permiten salvar grandes luces, logrando vanos más largos, y permitiendo construir espacios con menos columnas.
- Posee una alta reducción en deflexiones y control de vibraciones. Debido a la pre-compresión a la que es sometida el concreto, durante el proceso de postensado, se incrementa la rigidez del elemento. De esta manera, toda la sección de concreto trabaja de manera efectiva. Gracias a la configuración de este sistema, los tendones de postensado transmiten una porción importante de carga muerta directamente a las columnas, lo cual reduce la carga.
- Flexibilidad es decir la construcción en sitios de elementos postensados facilita el diseño de losas de formas irregulares.
- Cuando en este sistema se realizan conexiones monolíticas entre losas, vigas y columnas, se puede eliminar el mantenimiento intensivo a las juntas entre elementos .
- Este sistema utiliza eficientemente los materiales. Es muy versátil y ofrece al diseñador un amplio rango de soluciones estructurales para satisfacer las necesidades específicas de un proyecto. Además de esto, mejora la agilidad y el método de construcción del mismo.
- Presenta un importante ahorro de materiales, pues debido a que las losas tienen menor espesor, en edificios, por ejemplo, disminuye la altura final de los mismos y , por lo tanto, reduce la cantidad de material de acabados y el uso de equipos mecánicos para enfriar, calentar o ventilar la edificación. Eso además genera beneficio ambiental.
- La aplicación de estas tecnologías en puentes atirantados o vaciados por tramos han revolucionado el tendido de puentes de grandes luces y ha permitido construir

viaductos en lugares donde era casi imposible. Le dan más estética a las estructuras, pues resalta el diseño de las estructuras.

## **1.6. Formulación del problema**

¿ De que manera influye el método de la madurez del concreto para determinar la resistencia a la compresión en tiempo real para definir la edad de postensado en una viga de concreto, Trujillo 2022?

## **1.7. Objetivos**

- Determinar los criterios pertinentes para determinar la edad de postensado de una viga de concreto en base a la resistencia a la compresión determinada en tiempo real mediante el método de madurez, Trujillo 2022

### **1.7.1. Objetivos Especificos.**

- Dar a conocer la aplicación del método de madurez para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.
- Determinar el correcto proceso de la aplicación del método de madurez para determinar la edad de postensado de una viga de concreto.

## **1.8. Hipótesis**

La determinación de la edad del postensado de una viga de concreto mediante la aplicación del método de madurez permitirá reducir el tiempo para el post tensado de manera tradicional.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptiva.

La presente investigación es descriptiva cuantitativa, es un método para recopilar información cuantificable para ser utilizada en el análisis del problema. Este método permite realizar comparaciones a diferentes grupos de estudio enfocados al mismo problema de investigación.

La investigación es transversal porque permite la recolección de datos con el propósito de describir las variables y analizar su comportamiento en un mismo tiempo. (Mario Tamayo y Tamayo, 1994)



### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Unidad de Estudio

La aplicación del método de madurez para estimar la resistencia a la compresión del concreto.

#### 2.2.2. Población

- Investigaciones dedicadas a la aplicación del método de madurez y la estimación de resistencia mediante este método.

#### 2.2.3. Muestra

La muestra está comprendida dentro de características de un concreto, según el reglamento Nacional de Edificaciones, como el más usado o el más común, y corresponde a una resistencia a compresión estándar para una

vivienda o un edificio cuyas estructuras no son exigidas por altas prestaciones de esfuerzo, nos avocamos a realizar pruebas con un concreto cuya característica de resistencia a compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

### **2.3. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **A. Técnica de Recolección de Datos**

Para la técnica de recolección de datos se empleará la Norma Técnica Peruana NTP 339.217. “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el Método de Madurez”.

Para la recolección de datos, se emplea la técnica de la observación en la cual se observará y registrará los valores de las propiedades obtenidas mediante el uso de una ficha validada por tres especialistas, para todos los ensayos a realizar, los cuales siguen la normativa técnica peruana. (Arias ,2006)

#### **B. Instrumentos de Recolección de Datos**

El instrumento que se usará para poder recoger y registrar los datos de la investigación, será mediante hoja de observación, ya que este instrumento de recolección de datos es el que mejor se ajusta a nuestra investigación, ayudándonos a describir todo lo observado a lo largo de cada ensayo realizado para cada propiedad tanto física como mecánica. Para la verificación de técnica e instrumento. (Arias ,2006)

#### **C. Validación del Instrumento de Recolección de Datos**

#### **D. Técnica de Análisis de Datos**

Los métodos usados para el procedimiento de datos son:

- Estadística descriptiva: para estimar medidas de resumen como media aritmética y desviación estándar de la variable respuesta. Lo cual es importante porque luego se verificará con los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis.

- Estadística inferencial: porque a partir de la muestra evaluada, se podrá obtener conclusiones estadísticamente válidas y significativas para la población.

Para ellos se usará las pruebas de Normalidad, de Hipótesis de Análisis de Varianza y las Post Análisis de Varianza.

### **E. Instrumentos de Análisis de Datos**

Los instrumentos estadísticos utilizados son las hojas de cálculo en Microsoft Excel.

#### **2.4. Procedimiento:**

La resistencia del concreto es una característica importante que sirve para el cálculo estructural; esta característica permite establecer la estabilidad o la tolerancia de carga que una estructura de concreto puede soportar. El inconveniente es que esta característica es variable en el tiempo; podemos afirmar que dentro de los primeros 28 días es ascendente, es decir naturalmente por las reacciones químicas la resistencia se ve incrementada, luego de los 28 días el incremento se puede alargar, esto dependiendo de los compuestos químicos que contiene el cemento. Sin embargo al hablar de 28 días que demora las reacciones químicas es una convención en la que todas las normas referentes al concreto coinciden; realmente el incremento de la resistencia se debe a la característica llamada madurez del concreto y el calor producido por la reacciones químicas del cemento (algo ya hemos descrito en los capítulos anteriores). Como vemos la resistencia es muy relevante en el proceso constructivo, sobre todo en el momento del desencofrado y

en el momento en que se incrementa la carga en una estructura. La resistencia para la madurez, es una variable muy importante, porque ambas son incrementadas por las reacciones químicas, así que ambas pueden ser correlacionadas, aquí viene la ventaja que debe tener esta correlación. La resistencia a la compresión se mide siguiendo procedimientos estándares. El procedimiento de la medición de la resistencia requiere de un equipamiento estandarizado y calibrado y consta de aplicar una fuerza distribuida uniformemente en el área plana del testigo.

### **El tiempo**

Esta característica define el posicionamiento de las reacciones químicas en un proceso de endurecimiento, ordena la secuencia y el incremento. Sin duda alguna para simplificar el concepto el tiempo define el presente de un proceso, registra el pasado del mismo y si este proceso define un comportamiento predecible puede estimar el proceso en el futuro. Sin duda el tiempo en general es una variable infaltable para definir o estimar el comportamiento futuro de un proceso. La característica de esta variable es que su incremento es lineal, a pesar que en la actualidad hay múltiples investigaciones para discutir la linealidad de su comportamiento, nosotros tomamos su incremento lineal para lograr definir la madurez y su cálculo. Una ventaja es que esta variable está muy estudiada y tiene acuerdos convenciones que están reglamentadas 41 en todo el planeta, lo cual hace muy fácil su utilización en nuestras tomas de datos, en esto, todos los instrumentos de medición de tiempo están debidamente reglamentados.

### **Temperatura**

El proceso de recolección de datos de temperatura se realiza con un sensor calibrado de temperatura, y debe de hacerse sumergiendo el sensor dentro del

concreto y debe de estar totalmente sumergido y además sujeto en el área en donde se necesita el registro de datos. El proceso puede ser manual, pero esta forma es muy tediosa, costosa y este grado de dificultad lo hace imposible de obtener un registro de datos confiables. Por tal motivo el método de madurez siempre fue impopular dentro de los constructores, a pesar que el método fue hecho justamente para que lo usaran los constructores. A los grados de dificultad se le suman el hecho de que la temperatura dentro de una estructura no es uniforme y solo para dar una causa podemos nombrar que el comportamiento de la temperatura es afectada por el tipo de encofrado, la temperatura del ambiente, la forma de la estructura, etc. Tenemos que resaltar que el método de madurez hace una estimación de la resistencia con un rango +/- 10%, lo cierto es que el método de madurez calcula la resistencia en base a un buen registro de temperatura solo en la zona en donde se necesita saber la resistencia. Para saltar y evitar tanta dificultad en la toma de datos se ha decidido por usar el sensor electrónico tipo DS18B20 de protocolo de comunicación 1 – wire, y cuenta con 3 terminales: una de alimentación (VCC), otro de tierra (GND), y el ultimo de transmisión de datos, este sensor digital con una resolución de 9/12 bits, con un rango de lectura de -50 / 150 °C y con una precisión de 0.5°C, y con esta resolución puede hasta dar la lectura cada segundo, sin intervención de mano humana alguna.

## **Resistencia**

Es una característica directa del concreto tiene todo un proceso estandarizado para obtener este dato, y todo está en la norma ASTM C39/C39M – NTP 339.034 “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas”. La resistencia debe de hacerse

del mismo concreto del que está sujeto al sensor de temperatura, y además debe de estar afectado por el mismo ambiente, la misma humedad relativa, la misma temperatura, en pocas palabras los cilindros estándares de concreto para evaluar la resistencia del concreto debe de estar en las mismas condiciones y dimensiones del cilindro en donde se encuentra el sensor de temperatura. La resistencia a la compresión del concreto es medida mediante un mecanismo de prensa hidráulica y para el ensayo se debe preparar la muestra de acuerdo a la norma mencionada. Para los ensayos que realizaremos vamos a considerar probetas de 4 x 8 pulgadas, la norma al respecto establece que los moldes deben ser estandarizados, para la cual hemos adquirido moldes estandarizados de la empresa Humboldt, para cada medición de la resistencia a la compresión de concreto se considerara el promedio de 3 muestras ensayadas.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Adrianzen y Zavaleta,(2021), realizaron diseños de mezcla para dos tipos de cemento en el cual se trabajo bajo una relacion a/c 0.558 con el fin de no variar los diseños, solamente variar las cantidades que ocupa los agregados y asi como la variante del pesos especifico de dicho cemento, tal como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 5.**

***Diseño de mezcla del concreto con tipo de cemento MS e ICo***

<b>Diseño de mezcla con cemento MS e ICo</b>	
<b>Dosificación del concreto cemento MS</b>	
<b>Material</b>	<b>Pesos</b>
Agua (kg)	205
Cemento (kg)	367.38
Arena (kg)	755.51
Piedra (kg)	997.56
Relación a/c	0.558
<b>Dosificación del concreto cemento ICo</b>	
<b>Material</b>	<b>Pesos</b>
Agua (kg)	205
Cemento (kg)	367.38
Arena (kg)	769.13
Piedra (kg)	997.56
Relación a/c	0.558

*Nota.* Diseño de Mezcla del concreto a elaborar para la calibración del método de madurez, es primordial que se respete el diseño de mezcla y la caracterización de los agregados al momento de la aplicación en las estructuras a realizar la evaluación puesto que obedece a dichas características la ecuación obtenida para la estimación de la resistencia a la compresión. (Adrianzen y Zavaleta, 2021)

Una vez realizadas las probetas, Adrianzen y Zavaleta (2021), se procedió al curado para posteriormente realizar la roturas por carga axial de las probetas tanto del diseño con el cemento Tipo MS como el cemento Tipo ICo, como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 6.**

***Resistencia a la compresión método tradicional cemento Tipo MS e ICo***

<b>Resultados de ruptura de probetas por el método tradicional (MPa)</b>					
<b>Diseño de mezcla</b>	<b>01 días</b>	<b>03 días</b>	<b>05 días</b>	<b>07 días</b>	<b>09 días</b>
Cemento MS	3.52	16.39	20.13	25.67	27.12
Cemento ICo	5.16	16.61	20.64	25.21	27.26

*Nota.* (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021), realizaron la rotura de probetas de manera tradicional a edades de 01,03,05,07 y 09 días ya que se requiere mínimo 5 puntos para la calibración de la curva de madurez con la cual se obtendrá el desarrollo de la resistencia a la compresión de elementos reales cuya caracterización y diseño de mezcla sean igual a los realizados en el laboratorio.

Se destinaron 2 probetas del diseño con cemento MS y 2 probetas del diseño ICo, con el fin de registrar la temperatura interna del concreto, para eso se procedió a colocar sensores dentro de la probeta, en la siguiente tabla se muestra el control de la temperatura de los diseños a través del tiempo de curado:

**Tabla 7.**

***Control de temperatura en los testigos del cemento Tipo MS e Tipo ICo***

<b>Temperatura por día de estudio en °C</b>					
<b>Diseño de mezcla</b>	<b>01 días</b>	<b>03 días</b>	<b>05 días</b>	<b>07 días</b>	<b>09 días</b>
Cemento MS	17.88	17.70	17.56	17.65	17.74
Cemento ICo	17.79	18.63	18.55	18.74	18.75

*Nota.* Se registró la temperatura de los testigos destinados a la calibración de la curva de madurez, la temperatura permite el desarrollo mediante el proceso de liberación de calor de que el concreto adquiera su resistencia a través del tiempo, se controló y registró la temperatura para la elaboración de las curvas de calibración para la aplicación del método de madurez. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

Adrianzen y Zavaleta (2021), procedieron a cruzar los resultados del control de la temperatura y las horas de curado para poder tener la curva de calibración para la aplicación del método de madurez, como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 8.**

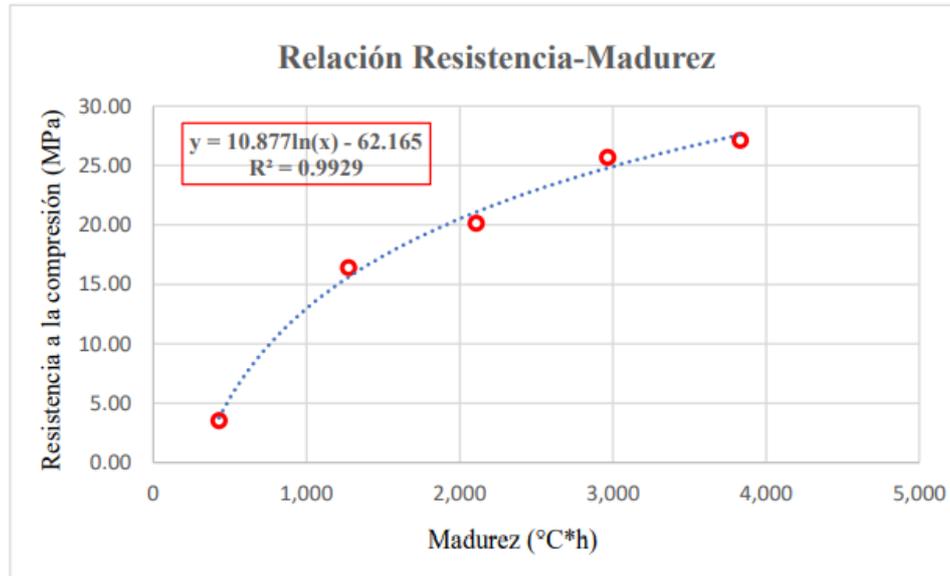
**Relacion Resistencia-madurez del concreto con cemento MS e ICo**

<b>Relación resistencia-madurez de las mezclas de concreto</b>			
	<b>Horas (h)</b>	<b>Madurez (°C×h)</b>	<b>F'c promedio convencional (Mpa)</b>
<b>Cemento MS</b>	24	429	3.52
	72	1275	16.39
	120	2107	20.13
	168	2966	25.67
	216	3832	27.12
<b>Cemento ICo</b>	24	427	4.20
	72	1341	15.99
	120	2226	20.00
	168	3149	25.63
	216	4050	28.25

*Nota.* Se relacionó la temperatura y la resistencia obtenida de manera convencional para poder formar la curva de calibración para la aplicación del método de madurez como se observa en la graficas siguientes, (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 3.**

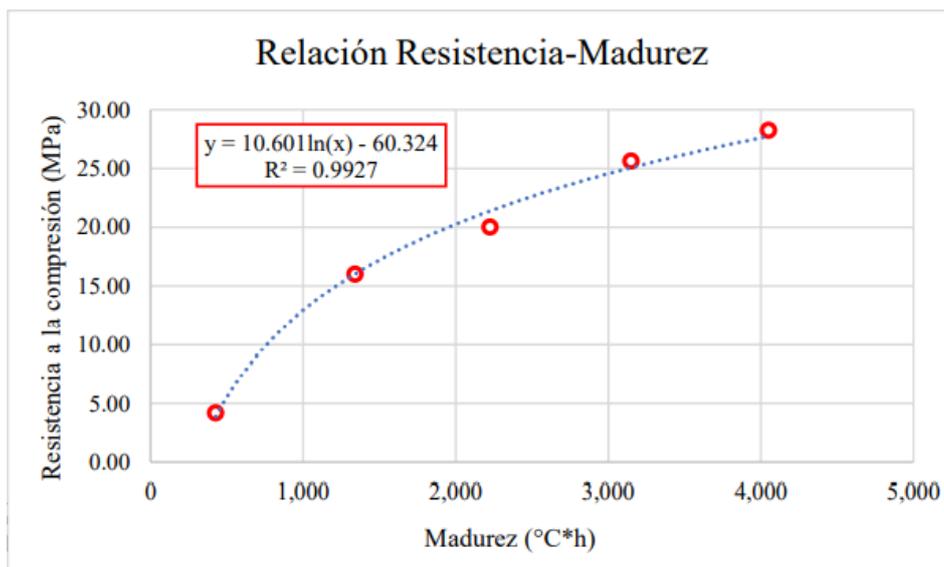
**Curva Resistencia -Madurez cemento MS**



*Nota.* Se realizó la curva de resistencia madurez, con esta curva se obtiene la ecuación la cual nos permite determinar a que hora o día se logra obtener la resistencia diseño con el fin de poder acortar tiempos en el desencofrado y puesta en servicio, se observó que el grado de confiabilidad de dicha curva es de un 99.2% para el cemento Tipo MS. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 4.**

**Curva Resistencia- Madurez cemento Tipo ICo**

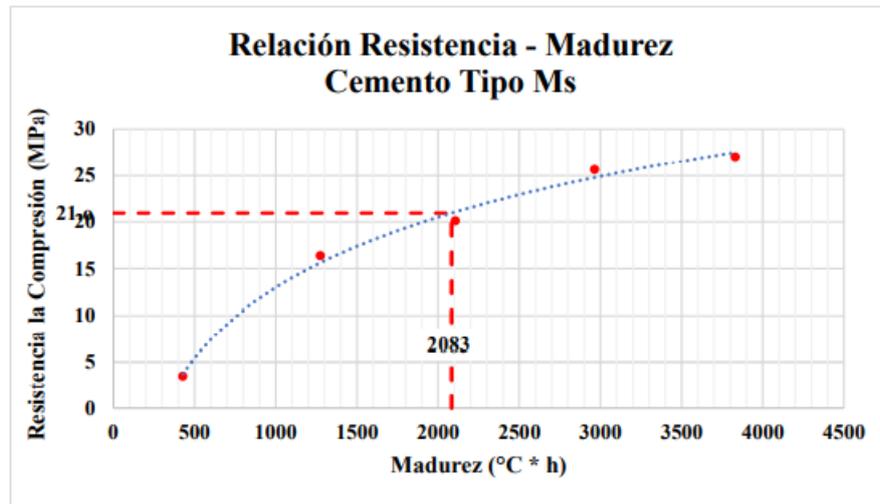


*Nota.* Se realizó la curva de resistencia madurez, con esta curva se obtiene la ecuación la cual nos permite determinar a que hora o día se logra obtener la resistencia diseño con el fin de poder acortar tiempos

en el desencofrado y puesta en servicio, se observo que el grado de confiabilidad de dicha curva es de un 99.27% para el cemento Tipo ICo. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 5.**

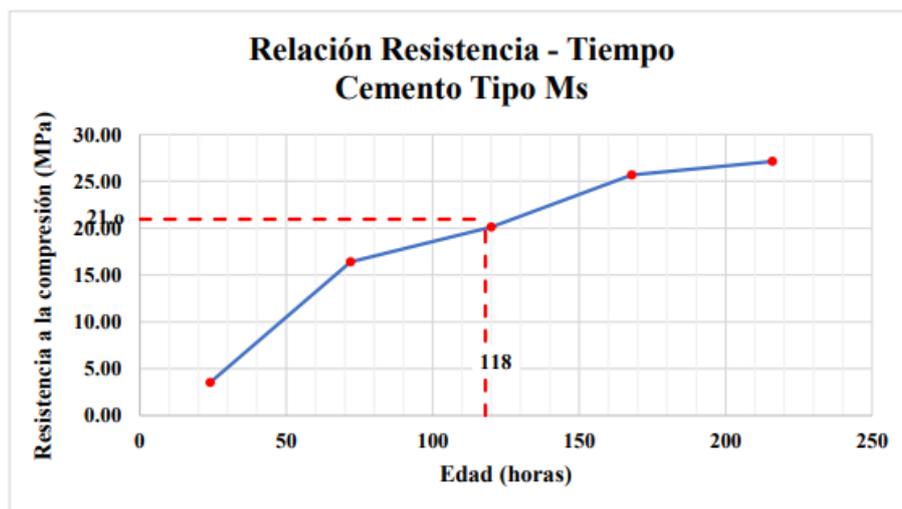
**Curva de estimación de la resistencia diseño del cemento MS- método de madurez**



*Nota.* La grafica muestra que para la resistencia diseño del cemento Tipo MS de 21 Mpa le corresponde una madurez de 2083 con la cual, esta se ingresara a las ecuaciones y se determina la edad donde el concreto alcanza este valor. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 6.**

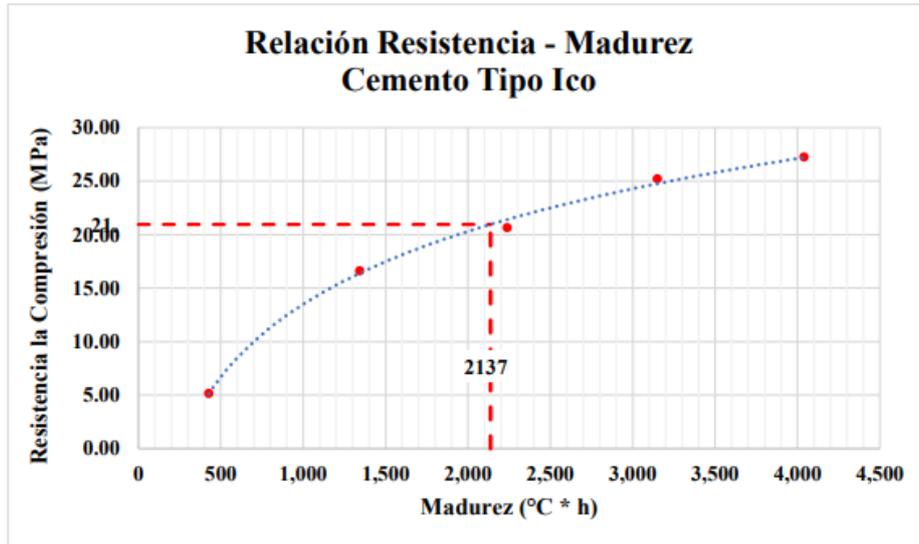
**Curva de resistencia- tiempo en horas para el cemento MS**



*Nota.* Como se observa se traza la curva en la cual se coloca la resistencia de diseño para poder así trazar una línea perpendicular con la cual se obtendrá la edad en horas, en la cual el concreto alcanzar esta resistencia de diseño. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 7.**

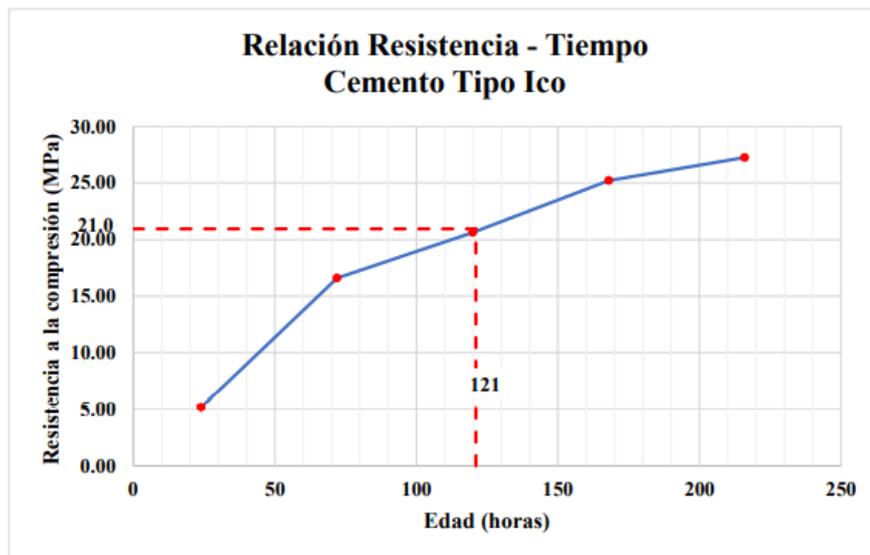
**Curva resistencia del cemento Tipo Ico – madurez**



*Nota.* Se realizó la curva resistencia-madurez en la cual se procedió a buscar el índice de madurez para el concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> (resistencia diseño), lo cual nos indica que el índice de madurez para este concreto es de 2137. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

**Figura 8.**

**Curva del cemento Tipo ICo- tiempo**



*Nota.* Se procedió a buscar en que tiempo alcanza la resistencia diseño (21 Mpa) dentro de la curva, la edad de madurez está dada en horas. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

Adrianzen y Zavaleta (2021) encontraron que al estimar la resistencia a la compresión para ambos diseños mediante el método de madurez se observa una reducción en el tiempo donde el concreto alcanzar la resistencia diseño ( 210 kg/cm<sup>2</sup>), como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 9.**

**Resultados de la edad de madurez del concreto diseño para los cementos MS y ICo**

<b>Comparación del tiempo necesario para lograr la resistencia objetivo para las mezclas de concreto</b>				
	Ensayo de Resistencia a la compresión (ASTM C39)		Método de Madurez (NTP 339.217)	
	Horas	Días	Horas	Días
<b>Cemento MS</b>	128	5.33	118	4.92
<b>Cemento ICo</b>	124	5.17	121	5.04

*Nota.* Como se observa en la tabla, se aprecia una disminución en el tiempo donde el concreto adquiere esta resistencia diseño, por lo que podemos decir que mientras con el ensayo de rotura de probeta a 128 horas el método de madurez nos indica que esta resistencia es alcanzada a las 118 horas con la cual uan reducción de 10 horas, son notorias si se desea producir concreto en masa , mientras que para el tipo ICo se aprecia una reducción de 3 horas. (Adrianzen Jordan & Zavaleta Rosales, 2021)

Alarcon y Mendez, realizaron 03 diseños de mezcla , ellos se plantearon un concreto patron, uno con el 1.00% de acelerante y el otro diseño con el 1.50% de acelerante, trabajaron con una relación a/c de 0.60 , como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 10.**
**Diseño de mezcla r a/c 0.60 con 1.00% y 1.50% Acelerante**

<b>Dosificación del concreto patrón</b>	
<b>Material</b>	<b>Pesos</b>
<b>Agua (kg)</b>	210
<b>Cemento (kg)</b>	350
<b>Arena (kg)</b>	899
<b>Piedra (kg)</b>	913
<b>Aditivo (kg)</b>	0.00
<b>Relación a/c</b>	0.60
<b>Dosificación del concreto patrón +1% de Sika acelerante</b>	
<b>Material</b>	<b>Pesos</b>
<b>Agua (kg)</b>	210
<b>Cemento (kg)</b>	350
<b>Arena (kg)</b>	899
<b>Piedra (kg)</b>	913
<b>Aditivo (kg)</b>	3.50
<b>Relación a/c</b>	0.60
<b>Dosificación del concreto patrón +1.50% de Sika acelerante</b>	
<b>Material</b>	<b>Pesos</b>
<b>Agua (kg)</b>	210
<b>Cemento (kg)</b>	350
<b>Arena (kg)</b>	899
<b>Piedra (kg)</b>	913
<b>Aditivo (kg)</b>	5.25
<b>Relación a/c</b>	0.60

*Nota.* Realizaron el diseño de mezcla del concreto patrón, 1.00% acelerante, 1.50% acelerante, con el fin de elaborar 51 probetas de control para estimación de la resistencia mediante el método de madurez, recordar que cuando se desea aplicar de manera correcta el método de madurez, se debe aplicar el mismo diseño de mezcla tanto en el laboratorio como en campo. (Alarcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019)

Se elaboraron 51 probetas y 02 vigas para poder desarrollar el control de la temperatura para la calibración de la curva de madurez, así como el registro de la resistencia a la compresión mediante la carga axial, como se observa en la tabla 11 se registró las temperaturas máximas en el concreto tanto en las probetas como en el concreto de las vigas:

**Tabla 11.**

***Temperatura máxima del concreto en probetas y vigas***

<b>Dosificación</b>	<b>Temperatura máxima del concreto en probetas (°C)</b>		<b>Temperatura máxima del concreto en vigas °C</b>	
<b>Patrón</b>	28.5	28.5	36	38.25
	28.5		40.5	
<b>Patrón +1% Aditivo acelerante</b>	30	30.5	40.5	42.75
	31		45	
<b>Patrón+ 1.50%</b>	31.5	31.5	43.5	44.5
<b>Aditivo acelerante</b>	31.5		45.5	

*Nota.* (Aларcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019), en el desarrollo de la investigación registraron la temperatura tanto en las probetas como en la viga modelo, datos que se usaron para poder crear la curva de calibración para el método de madurez, tanto para el concreto con acelerante al 1.00% como para el concreto con acelerante al 1.50%

Se registro la resistencia a la compresión a edades tempranas de las vigas, las vigas se realizaron con una armazón de fierro, simulando así una viga real de 1m de longitud, se tomo registro de la resistencia tanto a 1/3 del centro y en el centro obteniéndose así los siguientes valores:

**Tabla 12.**

**Resistencia a edades temprana rotura de probetas y vigas**

<b>Resistencias Iniciales a edades de 1 y 3 días</b>					
<b>Curva de Resistencias 1 días <math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup></b>					
<b>Dosificación</b>	<b>Patrón</b>	<b>Patron+1%</b>	<b>Patron+1.50%</b>	<b>Diferencia del patrón y 1.50%</b>	<b>und</b>
<b>Centro</b>	103.60	120.53	124.20	20.60	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/3 de la viga</b>	101.16	112.88	118.49	17.34	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Curva de Resistencias 3 días <math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup></b>					
<b>Centro</b>	150.82	163.56	164.58	12.75	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/3 de la viga</b>	148.27	159.48	161.81	11.22	Kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* (Aларcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019), registraron la resistencia a la compresión de los testigos de concreto y de la viga modelo, a edades de 1 día y 3 días con el fin de establecer la curva de resistencia- madurez, debido a que el acelerante tiende a actuar a edades tempranas es por lo que se opto a tener control desde el día uno y día 3.

Una vez estimada la resistencia a la compresión, la norma para el desencofrado de vigas nos indica que debe tener al menos un 70% de la  $F'c$  esto quiere decir que calculares mediante el método de madurez a qué edad se podría realizar el desencofrado.

**Tabla 13.**

**Indice de Madurez del concreto en probetas y vigas patron y con acelerante**

<b>Resultados obtenidos del Índice de Madurez del concreto</b>				
<b>Índice de madurez en Probetas</b>				
<b>Dosificación</b>	<b>1 día</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>

<b>Patrón</b>	575	1591	3625	7076
<b>Patrón +1% Aditivo acelerante</b>	602	1639	3698	7214
<b>Patrón+ 1.50% Aditivo acelerante</b>	604	1644	3710	7249
<b>Incremento del 1.50% con respecto al patrón</b>	29	53	85	173
<b>Incremento del 1.50% con respecto al 1.0%</b>	2	5	12	35

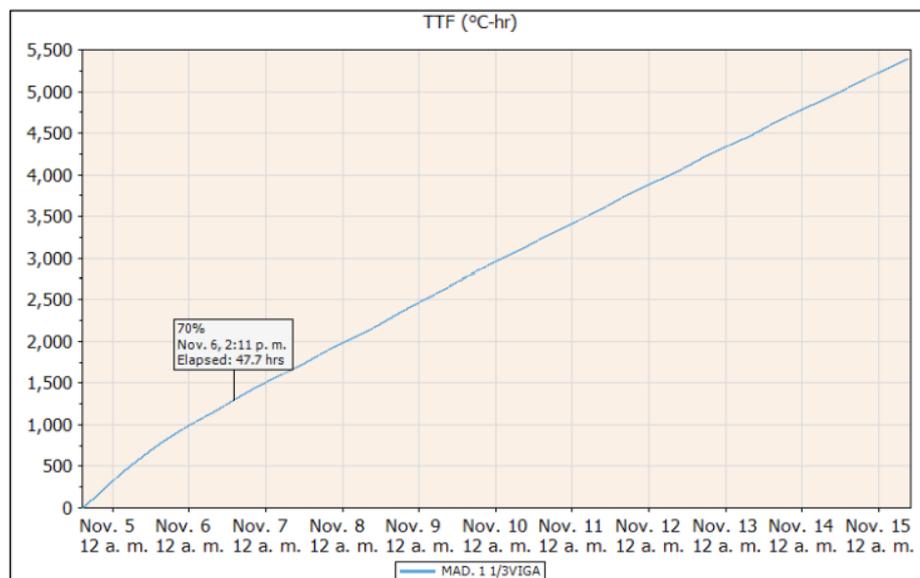
### Índice de madurez en Vigas

<b>Dosificación</b>	1 día	3 días	7 días	14 días
<b>Patrón</b>	854	1994	4161	7743
<b>Patrón +1% Aditivo acelerante</b>	933	2126	4320	7844
<b>Patrón+ 1.50% Aditivo acelerante</b>	844	1914	3865	7072
<b>Incremento del 1.50% con respecto al patrón</b>	79	132	159	101
<b>Incremento del 1.50% con respecto al 1.0%</b>			No se realizo	

*Nota.* Se calcula el índice de madurez del concreto tanto en las probetas como en la viga, para las distintas edades, la aplicación para el calculo es  $T^{\circ} \times Hr$  (Aларcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019)

**Figura 9.**

### *Curva de madurez -temperatura del concreto con 1.50% de acelerante*

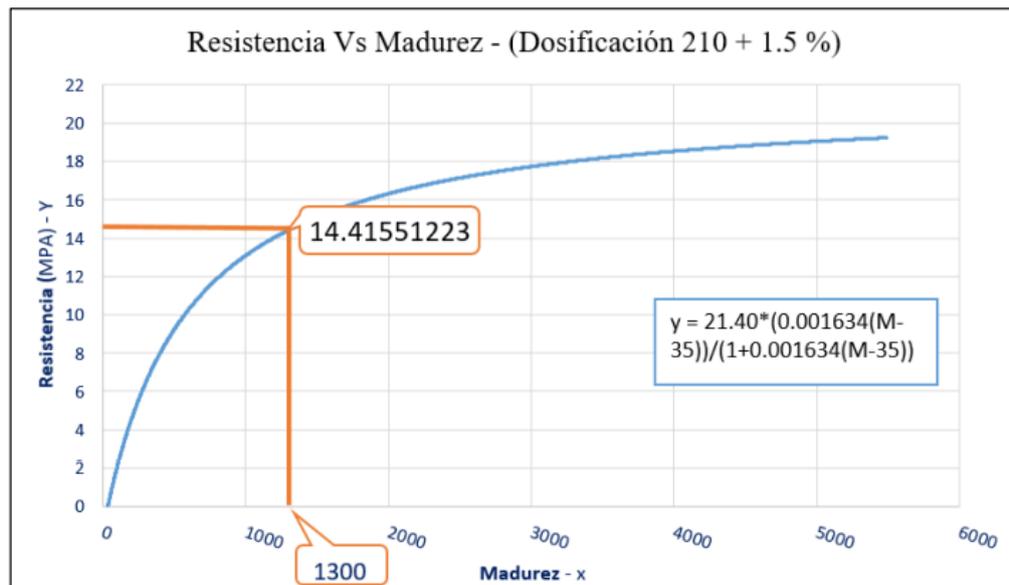


*Nota.* Se trabajo en la curva de control, el f'c pero al 70% , ya que la normal indica que para el desencofrado de vigas, la resistencia mínima que debe presentar el elemento estructural es del 70% del F'c ( resistencia diseño ) , por lo cual se aplico la curva de madurez para poder determinar en que momento el concreto alcanza dicho valor. (Aларcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019)

Al conocer la resistencia de diseño ( 210 kg/cm<sup>2</sup>), se busca conocer en que edad es que dicha viga con el 1.50% de acelerante es que alcanza el 70% de la resistencia diseño, por lo que se realizar un cruce de información como se muestra en la figura 10:

**Figura 10.**

**Curva resistencia madurez del concreto con acelerante**



**Figura 25.** Curva de Madurez del concreto viga Patrón + 1.5% (70 % F' C)

DESCRIPCIÓN: El vaciado de la viga fue el día 04 de noviembre a las 2:30 p.m. Se registró al 70 % f'c (14.42 Mpa) su madurez es de 1300 °C-hr a los 1.99 días.

Alarcon y Mendez,(2019) llegaron a demostrar que para obtener un 70% de la resistencia de diseño en comparación con el concreto patrón, tanto el acelerante y como la estimación de ese valor nos permitieron conocer que existe una reducción de casi un día ( 24 horas) como se muestra en la tabla 14:

**Tabla 14.**

**Tiempo para alcanzar el 70% de la resistencia diseño**

**Tiempo en horas para lograr el 70% del F'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>**

**Ubicación del análisis Patrón 1.0% Acelerante 1.50% acelerante**

Centro de la viga	66.70	44.80	42.90
1/3 de la Viga	70.20	51.00	47.70

*Nota.* Como se observa con el uso del acelerante al 1.50% logramos reducir de 66.70 horas a 42.90 horas el tiempo para que el concreto alcance el 70% de su resistencia diseño, es decir 23.80 horas, lo cual nos permite ver los grandes beneficios en cuestión de control de resistencia y de producción del concreto en masa para vigas. (Alarcon Cardenas & Mendez Motenegro, 2019)

(Carranza Neurohr, 2018), en su investigación en la empresa productos de Concreto S.A, utilizo mezclas de su proceso normal de producción para la elaboración de los concretos SCC700 y CAD700, los cuales son de alto desempeño y autocompactante, realizo pruebas en cilindros de concreto y en núcleos extraídos de las vigas, en la tabla 15 se muestra los resultados de resistencia a la compresión del concreto SCC700 a distintos días de curado y también en los distintos ambientes puesto que se realizo tanto en el laboratorio como en el patio de producción del concreto.

**Tabla 15.**

**Resistencia a la compresión del concreto autocompactante  $f'c$  700 kg/cm<sup>2</sup>**

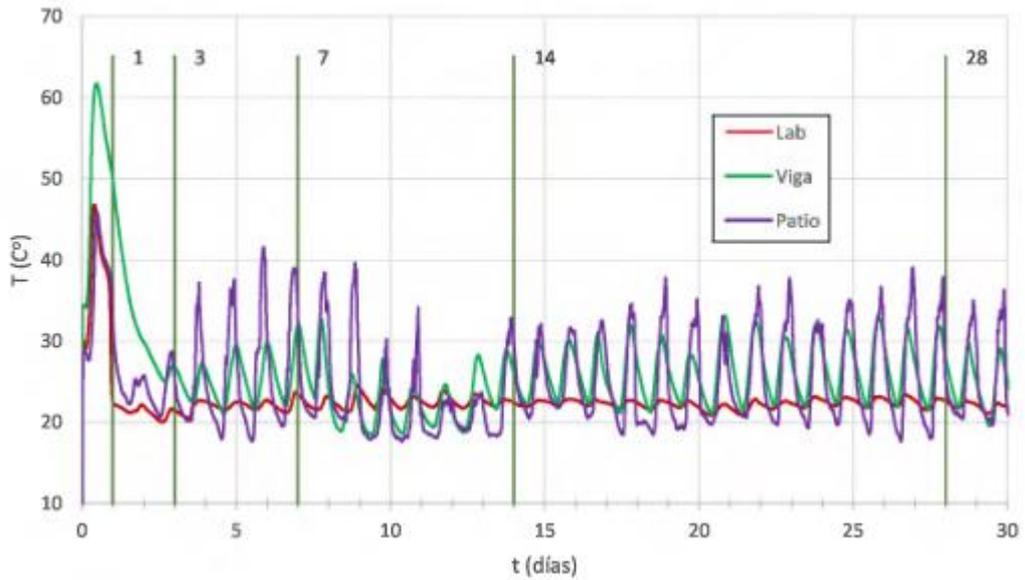
<b>Resultados de Resistencia a la compresión del concreto SCC 700</b>			
<b>Edad</b>	<b>Curado en laboratorio</b>	<b>Curado en el patio</b>	<b>Núcleos</b>
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
<b>24 horas</b>	375.37	375.37	-
<b>3 días</b>	487.95	499.96	-
<b>7 días</b>	587.60	629.75	622.56
<b>14 días</b>	669.79	652.67	662.03
<b>28 días</b>	773.11	754.45	737.66

*Nota.* Se elaboro un concreto de altas resistencia denominados SCC700 y CAD700, para los cuales se realizo ensayos a edad de 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días. Ver ficha resumen en anexos. Se obtuvo

los siguientes valores en la rotura de probetas cilíndricas para el concreto SCC (concreto autocompactante). (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 11.**

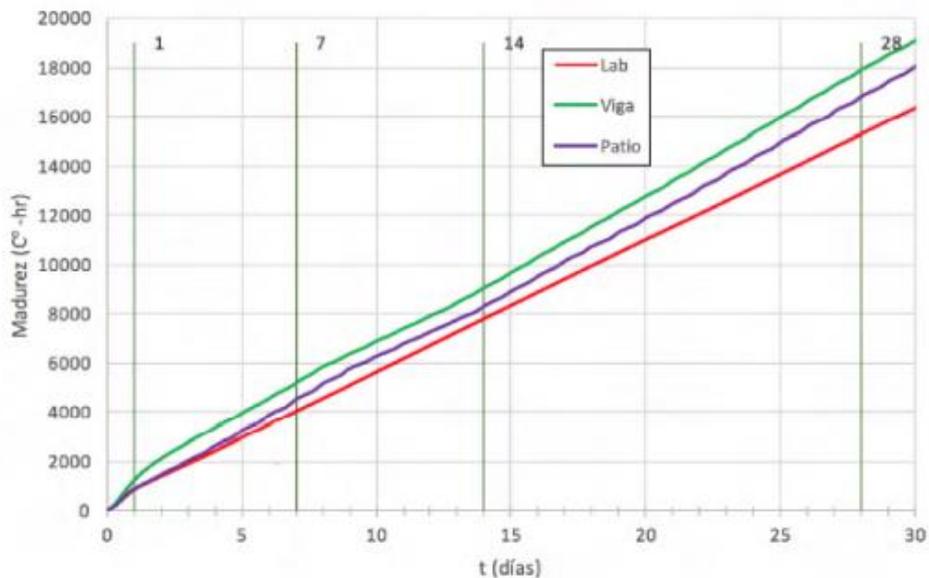
**Grafica del control de temperatura de los testigos de concreto elaborados.**



Nota. Se registro la temperatura del concreto en los testigos que realizaron en el laboratorio, patio de la empresa y también se realizó una viga para tener un control más real de la aplicación del método de madurez. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 12.**

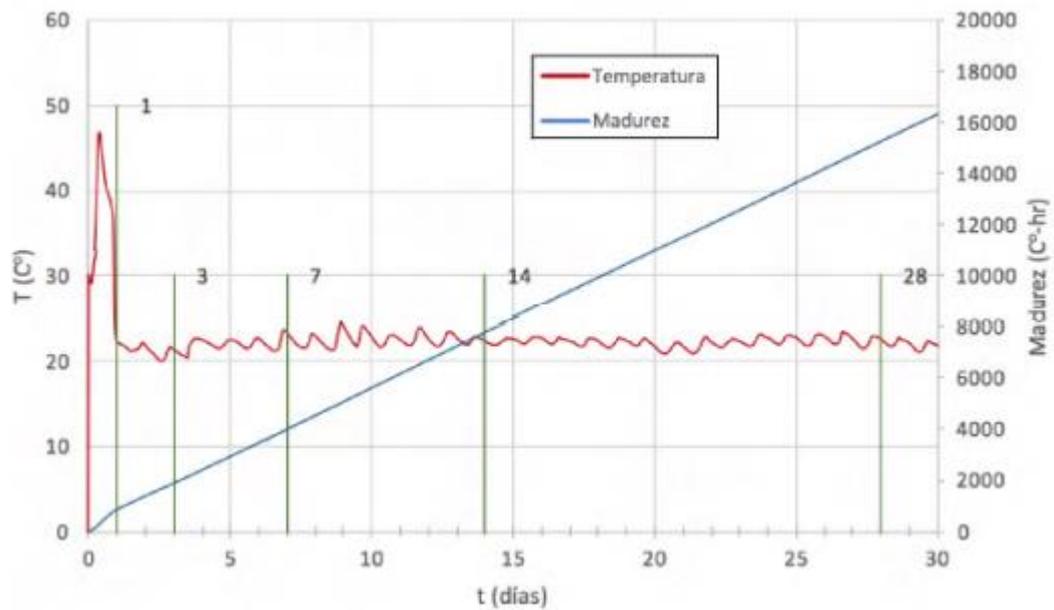
**Curva de madurez-tiempo del concreto SCC700.**



*Nota.* Curva de madurez-tiempo del concreto SCC 700 elaborado en el laboratorio, patio y viga, de los cuales se obtendrá ecuaciones solo del laboratorio y patio , ya que de acuerdo a estas ecuación se estimara la resistencia de la viga a su edad de madurez correspondiente. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 13.**

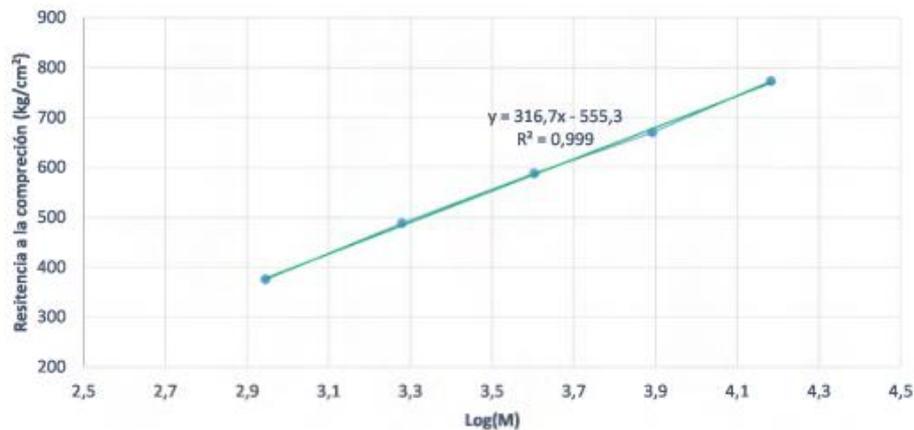
**Curva de madurez - temperatura del concreto SCC700**



*Nota.* Del cruce de los datos de temperatura con la madurez se obtendrá la ecuación de la recta tanto para la estimación de la resistencia en el laboratorio como en el patio de la empresa, para el concreto SCC700. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 14.**

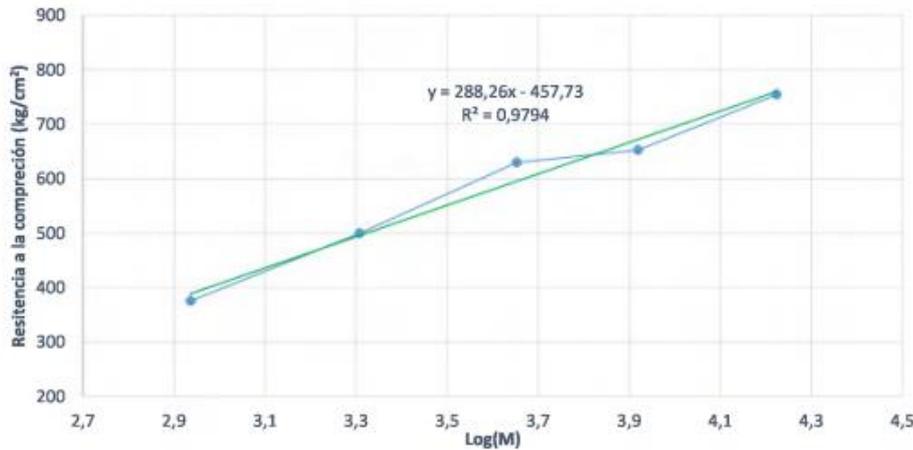
**Ecuacion para la estimación de la resistencia a la compresión SCC700 – Laboratorio**



*Nota.* Se muestra la ecuación para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto SCC700 realizada en el laboratorio, se muestra el R<sup>2</sup> el cual nos indica la confiabilidad de la ecuación la cual muestra un 99%. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 15.**

**Ecuacion para la estimación de la resistencia a la compresión SCC700 – Patio de la empresa**



*Nota.* Se muestra la ecuación para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto SCC700 realizada en el patio de la empresa, se muestra el R<sup>2</sup> el cual nos indica la confiabilidad de la ecuación la cual muestra un 97.9%. (Carranza Neurohr, 2018)

En la tabla 16 se muestra los resultados de resistencia a la compresión del concreto CAD700 a distintos días de curado y también en los distintos ambientes puesto que se realizó tanto en el laboratorio como en el patio de producción del concreto.

**Tabla 16.**

**Resistencia a la compresión del concreto CAD700, método tradicional**

<b>Resultados de Resistencia a la compresión del concreto CAD 700</b>			
<b>Edad</b>	<b>Curado en laboratorio</b>	<b>Curado en el patio</b>	<b>Núcleos</b>
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
<b>24 horas</b>	245.37	245.37	-
<b>3 días</b>	425.69	393.58	-
<b>7 días</b>	515.46	531.77	433.13

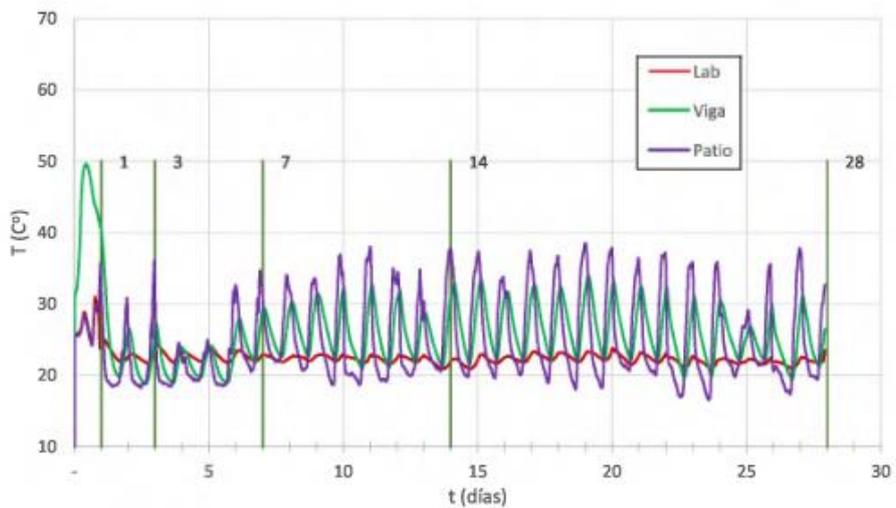
<b>14 días</b>	638.91	621.17	587.59
<b>28 días</b>	707.72	668.85	688.89

*Nota.* Se elaboro un concreto de altas resistencia denominados SCC700 y CAD700, para los cuales se realizo ensayos a edad de 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días. Ver ficha resumen en anexos. Se obtuvo los siguientes valores en la rotura de probetas cilíndricas para el concreto CAD (concreto de alto desempeño).

Se realizo el control de la temperatura para esto se tuvo en los testigos cilíndricos y en la viga dispositivos inalámbricos para el control de dicha temperatura, la figura 16 muestra como va la temperatura a traves del tiempo (28 días). (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 16.**

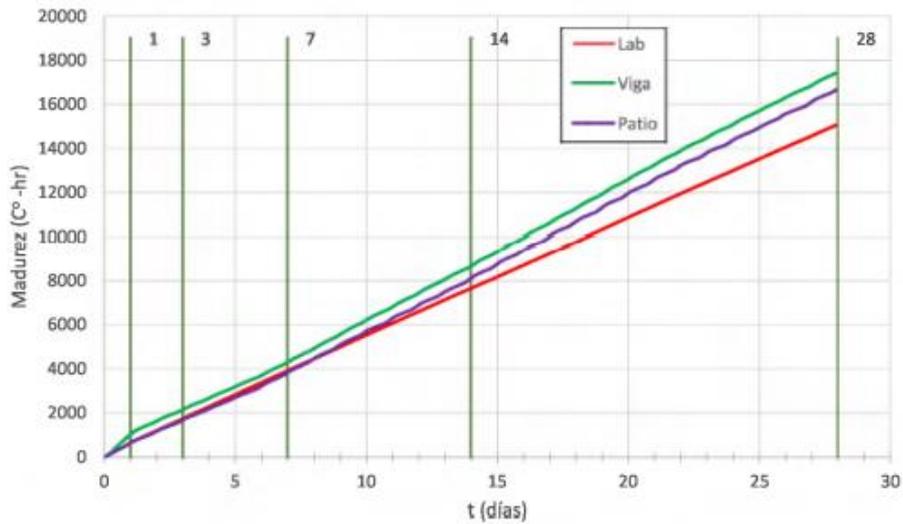
**Registro de temperatura de los testigos de concreto CAD700**



*Nota.* Se muestra el registro de la temperatura de las probetas de concreto CAD700 curadas en el laboratorio, en el patio de la empresa y en la viga. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 17.**

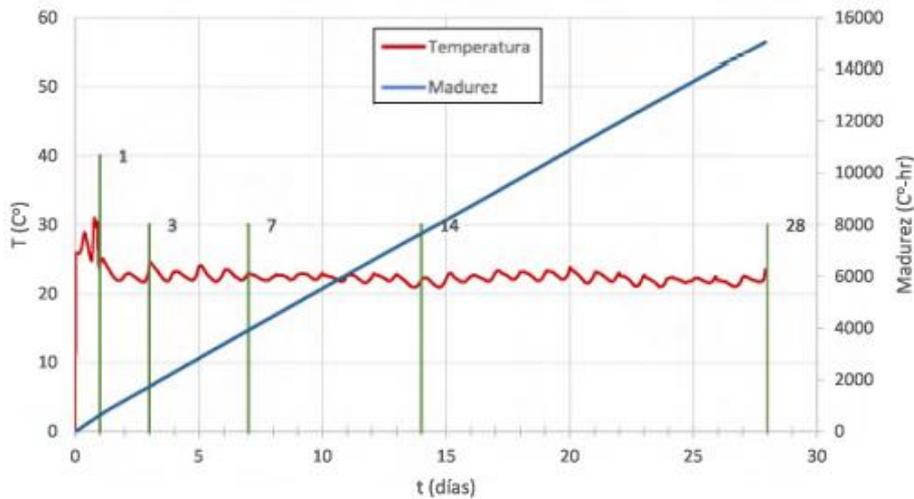
**Curva madurez- tiempo del concreto CAD700**



Nota. Curva de madurez-tiempo del concreto CAD700 elaborado en el laboratorio, patio y viga, de los cuales se obtendrá ecuaciones solo del laboratorio y patio , ya que de acuerdo a estas ecuacion se estimara la resistencia de la viga a su edad de madurez correspondiente. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 18.**

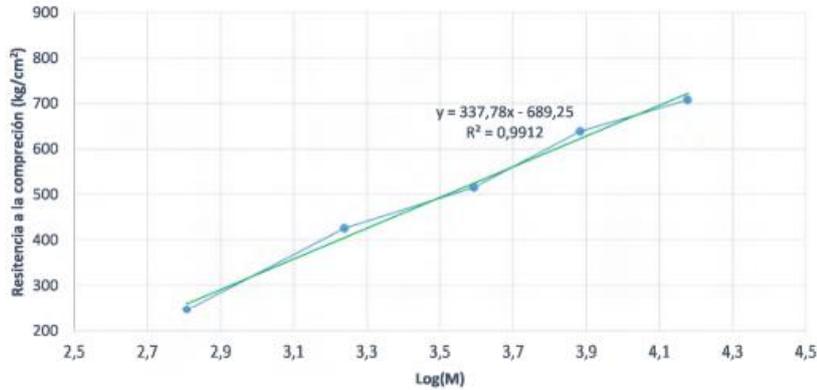
**Curva temperatura- madurez del concreto CAD700**



Nota. Del cruce de los datos de temperatura con la madurez se obtendrá la ecuación de la recta tanto para la estimación de la resistencia en el laboratorio como en el patio de la empresa, para el concreto CAD700.

**Figura 19.**

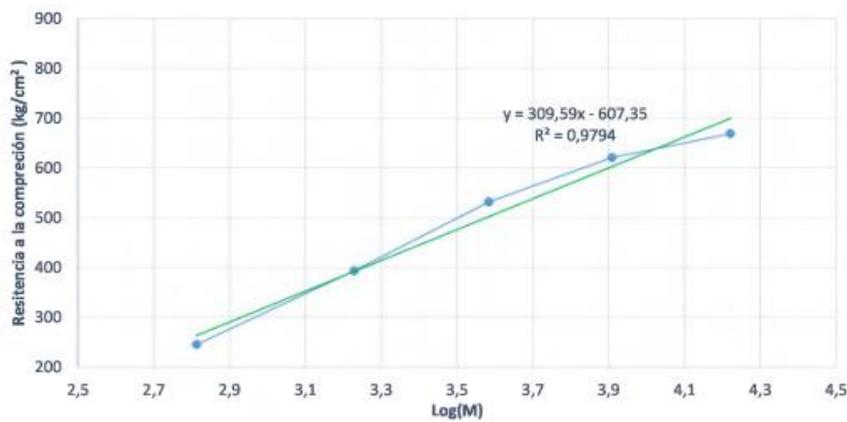
***Ecuacion de la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 en laboratorio***



*Nota.* Se muestra la ecuación para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 realizada en el laboratorio, se muestra el R<sup>2</sup> el cual nos indica la confiabilidad de la ecuación la cual muestra un 99.12%. (Carranza Neurohr, 2018)

**Figura 20.**

***Ecuacion de la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 en el patio***



*Nota.* Se muestra la ecuación para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 realizada en el patio de la empresa, se muestra el R<sup>2</sup> el cual nos indica la confiabilidad de la ecuación la cual muestra un 97.94%. (Carranza Neurohr, 2018)

**Tabla 17.**

**Estimacion de la resistencia a la compresión del concreto SCC elaborado en el laboratorio, patio y viga model**

Comparación de resultados de ensayos de compresión vs madurez en (curados en laboratorio, patio y núcleos de viga) SCC700												
<b>Días</b>	Madurez (curado en lab.)	Madurez (curado en patio)	Madurez (núcleos)	Log (M) Lab.	Log (M) patio	Log (M) Núcleo	F'c calculada Lab. Kg/cm <sup>2</sup>	F'c Calculada Patio Kg/cm <sup>2</sup>	F'c Calculada Núcleo Kg/cm <sup>2</sup>	F'c estimado Lab. Kg/cm <sup>2</sup>	F'c Estimado patio. Kg/cm <sup>2</sup>	F'c Estimado núcleo Kg/cm <sup>2</sup>
<b>01</b>	882.765	864.685	-	2.946	2.937	-	377.649	388.809	-	375.372	375.372	-
<b>03</b>	1905.353	2034.371	-	3.280	3.308	-	483.468	495.918	-	487.954	499.957	-
<b>07</b>	4012.433	4502.851	-	3.603	3.653	-	585.899	595.384	-	587.603	629.748	-
<b>09</b>	-	-	6371.030	-	-	3.804	-	-	622.56	-	-	649.49
<b>14</b>	7803.045	8308.570	9061.169	3.892	3.920	3.957	677.380	672.073	662.03	669.794	652.673	697.94
<b>28</b>	15234.428	16751.554	17866.346	4.183	4.224	4.252	769.401	760.309	737.65	773.106	754.449	791.32

*Nota.* Se presenta un cuadro resumen de la madurez del concreto, el log(m); se procedio a estimar la resistencia de acuerdo a las ecuaciones , por lo que se obtiene la estimación de la resistencia en la viga model observando una resistencia superior a la diseño, por ende se concluye que para que el concreto SCC700 alcance el 70% de la resistencia diseño le tomara menos tiempo, lo que significa un aumento en la producción. (Carranza Neurohr, 2018)

**Tabla 18.**

**Estimacion de la resistencia a la compresión del concreto CAD700 elaborado en el laboratorio, patio y la viga modelo**

<b>Comparación de resultados de ensayos de compresión vs madurez en (curados en laboratorio, patio y núcleos de viga) CAD 700</b>												
<b>Días</b>	<b>Madurez (curado en lab.)</b>	<b>Madurez (curado en patio)</b>	<b>Madurez (núcleos)</b>	<b>Log (M) Lab.</b>	<b>Log (M) patio</b>	<b>Log (M) Núcleo</b>	<b>F'c calculada Lab. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>F'c Calculada Patio Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>F'c Calculada Núcleo Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>F'c estimado Lab. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>F'c Estimado patio. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>F'c Estimado núcleo Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>01</b>	642.715	650.344	-	2.808	2.813	-	245.374	245.374	-	259.242	263.571	-
<b>03</b>	1735.229	1696.488	-	3.239	3.230	-	425.694	393.581	-	404.940	392.487	-
<b>07</b>	3916.624	3839.364	-	3.593	3.584	-	515.464	531.768	-	524.364	502.301	-
<b>09</b>	-	-	4300.891	-	-	3.634	-	-	438.29	-	-	538.09
<b>14</b>	7654.486	8113.095	8667.539	3.884	3.909	3.938	638.912	621.165	587.58	622.659	602.895	640.89
<b>28</b>	15054.092	16652.493	17428.153	4.178	4.221	4.241	707.723	668.846	688.88	721.878	699.578	743.36

*Nota.* Se presenta un cuadro resumen de la madurez del concreto, el log(m); se procedio a estimar la resistencia de acuerdo a las ecuaciones , por lo que se obtiene la estimación de la resistencia en la viga model observando una resistencia superior a la diseño, por ende se concluye que para que el concreto SCC700 alcance el 70% de la resistencia diseño le tomara menos tiempo, lo que significa un aumento en la producción. (Carranza Neurohr, 2018)

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En las construcciones de ingeniería del mundo de hoy, se viene utilizando concreto postensado, que permite generar estructuras de concreto armado mas eficientes a nivel estructural. En síntesis las vigas de concreto postensado consisten en generar concreto fraguado con resistencias minimas, determinadas por el calculista, para posteriormente aplicar carga inducida exteriormente al concreto, los esfuerzos de tensión disminuyen, lo que permite mejorar el elemento estructural, manteniéndolo bajo tensiones admisibles.

### 4.1. Discusión de resultados

De los resultados recopilados en nuestra investigación, podemos apreciar que los diseños de mezcla realizados por nuestros predecesores, corresponden a mezclas de concreto con cementos típicos del mercado como lo son, los cementos Tipo ICo y MS, como señala Adrianzen y Zavaleta (2021) en su investigación realizaron mezclas de concreto que fueron corroboradas mediante el método de madurez, de esta manera nos indican que una relación A/C de 0.558 es equiparable a una resistencia de 21 MPa que para valores prácticos seria un concreto de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con lo que podemos indicar que una situación similar es aplicable para los diseños de mezcla  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

Como se indica en la Tabla 06, del capitulo anterior, los diseños de mezcla de concreto mediante ensayo de rotura tradicional superan los  $210\text{kg/cm}^2$  a una edad de 09 días, lo que hace señalar que las relaciones agua-cemento de 0.558 consideran una holgura elevada en caso de error en campo con la finalidad de garantizar la resistencia del método, asi pues con estos valores se permite corroborar la eficiencia del método de madurez.

Para la aplicación del método de madurez se ha aplicado la metodología indicada por la normativa, mediante la predisposición de controlar la temperatura en horas específicas de tiempo desde las 24 horas hasta las 216 horas o 9 días, de esta manera se calcularon los valores de °C x H (producto de temperatura por hora, o madurez) con lo que determinamos el valor de resistencia por madurez del concreto. Esto se puede evidenciar en las Figuras 3 y 4 que indican las Curvas que relacionan Resistencia-Madurez, determinándose las ecuaciones de cada curva para cada cemento utilizado (ICo o MS) las cuales derivan en los valores de madurez determinados gráficamente en las Figura 05 y 07, que hacen referencia a la relación entre resistencia y Madurez para cada tipo de cemento. Siendo el valor de madurez del concreto con cemento tipo MS de 2083 y de ICo de 2137, con los cuales se determino un resistencia aproximada de 210 kg/cm<sup>2</sup>; de esta manera se puede determinar de manera precisa la edad (horas, minutos) del concreto para realizar la comparación entre los métodos de resistencia a compresión y el de madurez. Con lo que se logro demostrar que el método de madurez genera, en el caso de las mezclas con MS, una reducción de 10 horas, es decir el método de madurez nos permitió predecir 10 horas antes que el concreto se encontraba en condiciones adecuadas de resistencia permitiéndose un desencofrado con mayor premura.

De la información recopilada, también podemos demostrar que el método de madurez es aplicable a mezclas de concreto con adiciones de acelerantes, como se indica en la Tabla 10, podemos apreciar que se utilizaron relaciones a/c de 0.60 y adiciones de acelerante Sika al 1.0% y 1.5%. Una vez realizadas las muestras de concreto se registran las temperaturas tanto en probetas como en vigas evidenciándose que, la temperatura máxima del concreto en probetas es menor a la temperatura de vigas. Siendo la temperatura promedio de las probetas de 28.5°C para el concreto patrón, y de 30.5 y 21.5 °C para los concretos con adiciones de 1.0% y 1.5%, respectivamente. Para el caso de vigas se determinaron

temperaturas bastante altas como: el concreto patrón tuvo una temperatura máxima de 38.25°C, y para las mezclas con adiciones de acelerantes, se tuvo 42.75°C y 44.5°C, para el concreto con 1.0% y 1.5% de adición de acelerante, respectivamente. Con estos valores de temperatura se pudieron determinar los valores de madurez para poder determinar la edad de control y la resistencia a fin de corroborar que se cumplan lo previsto en nuestros diseños de mezclas.

Para la corroboración del método se realizaron ensayos de rotura a compresión a edades tempranas de 01 y 03 días, como se indica en la tabla 12. En ella, podemos observar que en el caso de probetas de concreto patrón se tuvo resistencia de 103.60 kg/cm<sup>2</sup> y 150.82 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 01 y 03 días, respectivamente. Para las demás probetas, se obtuvo que la resistencia a 01 día para probetas de concreto con 1% de acelerante se tuvo valores de 120.53 kg/cm<sup>2</sup>, y con el 1.50% de 124.20 kg/cm<sup>2</sup>. Así también, para los valores de rotura en probetas a 03 días, en el caso de concreto con adiciones de acelerante al 1.0% se obtuvo 163.56 kg/cm<sup>2</sup> y para 1.5% de 164.58 kg/cm<sup>2</sup>. Todos los valores mencionados anteriormente, corresponde a muestras de concreto del centro de viga.

De la misma manera se determinaron valores de resistencia a 1/3 de viga, demostrándose la misma tendencia en la data, siendo los valores de 1.0% y 1.5% valores por encima del concreto patrón que evidencian una reducción el proceso de fraguado del concreto. Como se indica en la tabla 12, a 1/3 de viga los valores de resistencia fueron de 101.16 kg/cm<sup>2</sup> a 01 día de curado y de 148.27 kg/cm<sup>2</sup> a 03 días para el concreto patrón. Para el caso de las adiciones de acelerante, se obtuvo que el concreto a 1/3 de viga con adición al 1.0% tuvo una resistencia a compresión de 112.88 kg/cm<sup>2</sup> a 01 día de curado y de 159.48 k/cm<sup>2</sup> a edad de 03 días. Para la mezcla de concreto con 1.5% de acelerante se tuvo resistencia de 118.49 kg/cm<sup>2</sup> y 161.81 kg/cm<sup>2</sup>. Como se puede apreciar, de lo mencionado

anteriormente, se tiene que el concreto a 1/3 viga con adición de 1.5% presenta los valores mas altos de resistencia tanto en el centro como a tercios de viga. Sin embargo, en comparación con las adiciones al 1.0%, no existe una diferencia muy marcada, por lo cual se deberá evaluar si esa diferencia de aditivo en 0.5% es un gasto justificable para la mejoría que produce en el concreto al evaluar la resistencia a compresión .

Para el calculo de la resistencia por el método de madurez, se procedieron a tomar los datos de temperatura respectivos, con lo cual se pudo determinar los índices de madurez para posteriormente, generar la curva de resistencia vs madurez del concreto. Como se puede apreciar en la Figura 10, se muestra que para un concreto de viga con 1.5% de aditivo acelerante el índice de madurez para el 70% de la resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> es de 1300. Es decir con este valor de 1300, se ha logrado una resistencia de 147 kg/cm<sup>2</sup>. Esto es equiparable con lo indicado en la norma E060, donde se indica que para poder realizar el desencofrado de una viga se debe tener al menos el 70% e la resistencia al concreto, determinada por el método de madurez.

De manera mas detalla se puede ver en la tabla 14 los tiempos para alcanzar el 70% de la resistencia de diseño para cada diseño de mezcla. En el caso del oncreto patrón se puede apreciar que el 70% de resistencia se obtiene a las 66.70 y 70.20 horas ( centro y tercios de viga, respectivamente) es decir, la resistencia mínima para generar el desencofrado se logra entre los 2.78 a 2.94 días (3días). En cambio, con las adiciones de acelerantes el método de madurez, nos permite predecir que el concreto podrá ser desencofrado a edades de 44.80 a 51 horas, en el caso de concreto al 1.0% de acelerante o el equivalente a 1.87 a 2.13 días, y para el caso de concreto con adición de 1.5% de acelerante, le método de madurez nos permite predecir que el encofrado se podría realizar a edades de 1.78 a 1.99 días.

Se logra determinar que en mezclas de concreto con adiciones de acelerantes al 1.0% y 1.5% se logra una reducción evidente de los tiempos de fraguado. En el caso de concreto al 1.5% podemos ver que la resistencia estimada por el método de madurez permite que se gane 01 día, con lo cual se podría desencofrar un día antes las estructuras como vigas, que en relación con nuestra investigación podríamos generar el postensado un día antes, con lo que se reducirían en gran porcentaje los costos de producción o construcción debido a que un desencofrado con mayor premura significa ampliar los frentes de trabajo o la posibilidad de poder habilitar otras, lo que se traduce a mayor utilidad en la construcción.

En otra de las investigaciones referentes podemos apreciar que se realizaron concretos autocompactantes SCC 700 con una resistencia aproximada de  $f'c=700$  kg/cm<sup>2</sup>. En la tabla 15 podemos apreciar los valores de resistencia a edades de 01, 03, 07, 14 y 28 días de curado para probetas de laboratorio, de patio y para núcleos de concreto.

Para las probetas curadas en laboratorio y en patio, se evidencia una ligera diferencia en las resistencia a compresión siendo mayor a edades de 14 y 28 días, las curadas en laboratorio, mientras que en edades iniciales de 01,03 y 07 días la resistencia es superior en el caso de las probetas curadas en patio, esto hace referencia a que el control de curado en laboratorio tiende a ser mas estricto, lo que se refleja en los ensayos a compresión del concreto. En el caso de los nucleos, para el caso de 28 días se evidencia una resistencia ligeramente por debajo de sus competidoras (Curadas en laboratorio y patio) sin embargo, en todos los casos se logro conseguir una resistencia superior a 700 kg/cm<sup>2</sup>. Los datos indicados en este párrafo se pueden evidenciar en la tabla 15, donde los valores de resistencia a compresión fueron de 773.11 kg/cm<sup>2</sup> para probetas curadas en laboratorio, 754.45 kg/cm<sup>2</sup> para probetas curadas en patio y 737.66 kg/cm<sup>2</sup> para los nucleos de concret a 28 días de curado.

Para la aplicación del método de madurez se realizó un registro de las temperaturas del concreto tanto en patio como en laboratorio en una viga de concreto, de esta manera se tuvo un control real de la madurez del concreto, como se aprecia en la figura 11. De esta manera se presenta en la Figura 12 la curva de madurez-tiempo para un concreto de viga en condiciones de laboratorio y patio para así lograr la estimación del índice de madurez que permita predecir la resistencia del concreto. Como se puede ver en la Figura 15, se logró determinar que la estimación de la resistencia con el método de madurez tiene un 97.9% de confiabilidad, de esta manera se ha logrado incorporar que la resistencia a compresión por rotura tradicional es equivalente a la predicción por método de madurez, con ello podemos indicar que es válido y aplicable el uso de este método.

Así mismo, se tuvo un concreto de alto desempeño CAD700, el cual fue evaluado al igual que la mezcla mencionada anteriormente (SCC 700), de la cual se puede indicar que la resistencia de las muestras de concreto a 28 días curada en laboratorio es de 707.71 kg/cm<sup>2</sup>, y para el caso de curado en patio es de 668.85 kg/cm<sup>2</sup>. Presenta valores menores a los de la mezcla autocompactante, de igual manera al aplicar el método de madurez se logró determinar en la predicción que la resistencia también está por debajo. Asimismo, se traduce la ganancia de la resistencia a que, al tener una mejor evolución de la resistencia de concreto para el caso del concreto autocompactante SCC700 este consiguiera el 70% de su resistencia en menos tiempo que su competidor, de esta manera al analizar los datos determinados en sus cuadros resumen. En la tabla 17 se puede apreciar que la resistencia estimada en patio a 03 días es de 499.97 kg/cm<sup>2</sup> con este valor se ha conseguido el 70% del  $f'c$  diseño, es decir el concreto SCC700 está listo para ser desencofrado a una edad de 03 días, a diferencia del concreto de alto desempeño el cual, como se indica en la tabla 18, su resistencia estimada es de 502.30 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de 07, con ello se ha superado el 70% de su diseño, sin

embargo, esta condición se ha conseguido 04 días después que su competidor. De esta manera, podemos corroborar que el método de madurez resulta muy útil para la predicción de la resistencia del concreto, lo que se traduce en tiempos de producción, de esta manera si comparamos los tiempos de desencofrado podemos indicar que la cadena de producción para la habilitación de encofrado entre la mezcla autocompactante y de alto desempeño es de 04 días de trabajo para esa partida (desencofrado y habilitación de encofrado).

Al asociar los resultados de las investigaciones predecesoras, podemos indicar que el método de madurez es un método confiable que permite predecir la resistencia de concreto considerando su temperatura y evolución de resistencia para un diseño de mezcla determinado, de esta manera en obras de concreto postensado como en aplicación de puente donde se colocan vigas de gran volumen y resulta un poco complicado el muestreo de probetas, es de mayor utilidad utilizar este método. Así pues, al lograr predecir los tiempos de fragua con respecto al porcentaje que indique el calculista o la norma (llegar al 70% de  $f'c$  de diseño) se podrá determinar el postensado de las estructuras, debido a que habrán conseguido una resistencia suficiente para lograr soportar las tensiones necesarias durante la aplicación de fuerzas para postensar las vigas.

Así pues, el desarrollo de nuestra investigación nos permite conocer la metodología y aplicación del método de madurez, demostrándose que es aplicable a la construcción de vigas postensadas con  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> y sus similares. De esta manera podemos indicar que se valida nuestra hipótesis. Pues hemos evidenciado que el método de madurez al predecir la resistencia, nos permite reducir el tiempo para el postensado de elementos de concreto.

Como se indican en los antecedentes, con respecto a los criterios previos a la aplicación del método de madurez, algo muy importante es que como menciona, Adrianzen

y Zavaleta (2021, pág.74) es importante realizar la caracterización de los agregados y diseños de mezcla del concreto a evaluar, ya que el método requiere una calibración de las curvas de madurez para poder aplicar el método del mismo, como se observó en los resultados cada investigador realizó los diseños de mezcla, y los ensayos de resistencia a la compresión a edades tempranas y convencionales (01 día, 03 días, 5 días, 7 días, 9 días, 14 días y 28 días) para poder conocer la resistencia y poder establecer los valores que se cruzaron con la madurez para poder obtener así la estimación de la resistencia in situ, dato importante es que la aplicación del método de madurez es específico, con específico se refiere a que si el muestreo de los agregados cambia cuando se va a realizar el vaciado de algún elemento estructural se debe volver a realizar la caracterización de agregados y por ende el diseño de mezcla, ya que de esto depende que los datos obtenidos sean lo suficientemente verídicos para poder formar la curva de calibración del método de madurez.

Con respecto al método de madurez como se pudo observar la aplicación requiere de ciertos instrumentos y conocimientos para poder desarrollarlo de manera correcta la estimación de la resistencia mediante este método nos facilita el conocer en qué edad podemos realizar ciertas actividades como por ejemplo, el desencofrado de vigas o losas, en qué edad el concreto alcanza ya la resistencia requerida para un cierto análisis, realizar el postensado de vigas para puentes y un sinfín de aplicaciones, como nos dice Carranza Neurohr (2018, pág. 47), existen distintos métodos u formas de obtener y aplicar las ecuaciones para el método de madurez en este caso se basaron en la ecuación de Nurse-Saul, el cual calcula el área bajo la curva de temperatura en función del tiempo para poder aproximarse a una integral, a comparación con los otros estudios este hace uso de equipo y software más sofisticado como se puede observar en la obtención de las curvas de temperatura, de igual forma para obtener las curvas se siguió el procedimiento de J.M

Plowman, donde se busco una tendencia lineal en el comportamiento logarítmico del método método de madurez, de esta forma se obtuvo las ecuaciones con las cuales podemos determinar la resistencia de acuerdo al nivel de madurez que se tiene como objetivo analizar.

Con respecto a la edad para vigas postensadas, en la investigación dada por Alarcon y Mendez ( 2019, pág. ), nos dicen que las vigas y cualquier elemento estructural debe realizarse el desencofrado cuando el concreto adquiere el 70% la resistencia de diseño según lo establecido en la norma ACI C-347- 04 , de una manera general se sabe que el desencofrado en obras de edificaciones se da a los 14 días de curado o hasta 21 días de curado , esto es de manera empírica, como podemos observar mediante el método de madurez es que debido al desarrollo de la temperatura a travez del tiempo podemos desencofrar en menos tiempo como se observo para un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> la cual es la resistencia convencional de viviendas , se observo que el concreto al 70% de su resistencia de diseño se puede desencofrar a la edad de 70.20 horas (2.92 días), mientras que con el uso de el acelerante de fragua al 1.50% ( este aditivo permite ganar resistencia a edades tempranas ) , logro reducir el tiempo de desencofrado de la viga a un 70% de su resistencia de diseño a 47.70 horas (1.99 días). Para la aplicación a vigas postensada como se sabe son vigas prefabricadas en la cual se pasa por medio de ella alambres con el fin de cuando se vacee el concreto estas queden dentro de la estructura sin tensarse aun, de acuerdo a los estudios nos indican que para vigas de puentes una resistencia mínima de diseño es de 350 kg/cm<sup>2</sup>, aquí es donde para poder tensar este acero dentro del concreto el método convencional nos indica que debemos esperar 28 días donde el concreto adquiere su resistencia de diseño, no obstante mediante la aplicación del método de madurez podemos determinar que el tiempo no es necesariamente 28 días como podemos ver en los resultados obtenidos por Carranza Neurohr (2018, pág.) el cual realizar concreto de alta resistencia, trabajo con

relación  $a/c$  0.33 teniendo como objetivo una resistencia de diseño de 700 kg/cm<sup>2</sup>, a la edad de 03 días para SCC 700 y CAD 700 se puede aplicar el tensado de la viga prefabricada ya que para las vigas la resistencia mínima que debe cumplir es de 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Es bien conocido que el concreto postensado ofrece eficiencia y durabilidad, demostrando un buen desempeño en zonas de alto riesgo sísmico como el Perú. Asimismo, al generarse elementos de concreto postensado se minimizaran las patologías del concreto como las grietas o fisuras que podrían ocurrir durante la fragua. Asimismo, con la aplicación del método de madurez, podremos determinar de manera confiables el porcentaje de resistencia ideal para proceder a postensar los elementos estructurales como vigas. Esta investigación nos termina siendo de gran utilidad pues hemos logrado demostrar que el método de madurez resulta tan efectivo como los ensayos de rotura, y de mayor confianza debido a que podemos equiparar las condiciones de campo a los ensayos de temperatura, corroborándose la resistencia en una situación mas semejante a campo.

## 4.2. Conclusiones.

Se observo que los criterios para poder determinar la edad del postesado de una viga de concreto, en base a su resistencia a la compresión en tiempo real, esta determinada por diferentes factores desde los agregados, el diseño de mezcla, la resistencia diseño, para poder obtener así una debida calibración de la curva la cual permitira obtener la estimación de la edad adecuada para el postesado, ya que la norma 0.60 exige mínimo del 70% del  $F'c$  o la resistencia diseño para poder tensar el concreto, ahora debido a la aplicación de esto el concreto, es por eso que decimos que para determinar la edad correcta de postensado, esta debería ser cuando el concreto alcanza su resistencia diseño por lo tanto si ya tenemos nuestra curva de calibración de relación resistencia madurez podemos determinar a que edad es que el concreto elaborado adquiere la resistencia diseño, acortando así tiempos y mejorando la producción de este tipos de vigas.

El método de madurez nos ayuda a reducir tiempos de ejecución o espera para desencofrado de alguna estructura pero, si no se aplica de mano de un especialista esto puede resultar contraproducente, debido a que para la aplicación del método debemos considerar, los materiales serán los mismo tanto para la calibración como para la ejecución del proyecto, que se respete el diseño de mezcla y las dosificaciones indicadas para la elaboración de dicho concreto, el correcto control de la temperatura, teniendo un registro y estricto control es que la aplicación del método de madurez ayuda a reducir tiempos y conocer a que edad realmente el concreto alcanza su desarrollo.

El método de madurez para vigas postesada, es un aporte importante ya que debido a que estas vigas son prefabricadas o sea se elaboran fuera de la estructura y después se procede a su colocación, por lo que el método ayuda a reducir los tiempos de espera que el

concreto logre su resistencia de diseño ( establecida para vigas en caso de puentes mínimo de 280 kg/cm<sup>2</sup> ), lo que de manera convencional como se conoce se espera a 28 días para el desarrollo del 100% de la resistencia, en un probeta, en una estructura real como una viga que sera postensada, la temperatura ayuda a que el concreto se desarrolle de mejor forma adquiriendo su resistencia de diseño mucho antes que lo estimado de manera convencional, esto no quiere decir que el ensayo de resistencia a al compresión convencional no sea correcto, pero en la actualidad el poder reducir tiempo de producción nos permite generar mucho mas, por lo que la estimación para el postensado de una viga resultado mas eficiente la aplicación del método de madurez.

## REFERENCIAS

- Adrianzen Jordan, E., & Zavaleta Rosales, R. (2021). *Importancia del metodo de madurez en la obtencion de la resistencia del concreto para un  $f'c= 21$  Mpa, con una mezcla de cemento Tipo I y Tipo ICo, en la ciudad de Trujillo 2021*. Trujillo: Universidad Privada del Norte .
- Alarcon Cardenas, L. R., & Mendez Motenegro, H. M. (2019). *Estudio del tiempo desencofrado en vigas de concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo acelerante, Lima 2019*. Lima: Universidad Cesar Vallejo .
- Atalaya Villanueva, J. N. (2019). *Desempeño sismico en porticos con vigas postensadas con el sistema no adherido*. Trujillo: Universidad Nacional de Ingenieria .
- Bedoya Espinoza, J. L. (2018). *Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Casabone Rasselet, C. (2002). Uso de pretensado en edificaciones. En A. 2002, *Analisis Diseño y Construcción en concreto pretensado y postensado*. Lima.
- Meza Quintanilla, L. E. (s.f.). *Aspectos fundamentales del concreto presforzado*. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua .
- Norma Tecnica Peruana NTP 334.009. (2005). *Cementos.cementos portland requisitos*. Lima: Comision de Reglamentos Tecnicos y comerciales-Indecopi.
- Norma Tecnica Peruana NTP 339.088. (2014). *Concreto. Agua de mezcla utilizada en la produccion de concreto de cemento portland. Requisitos*. Lima: Inacal 2019.
- NTP339.033. (2015). *Practica Normalizada para la elaboracion y curado de especimenes de concreto* . Lima: Direccion de Normalizacion Inacal .
- NTP339.034. (2008). *Metodo de ensayo normalizado para la determinacion de la resistencia a la compresion de concreto* . Lima: Comision de Reglamentos tecnicos y comerciales- Indecopi .
- Recabarren Jiménez, D., & Tafur Juárez, J. M. (2019). *Optimizacion del uso de encofrado para losas y columnas  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo retardante de fragua utilizando el metodo de madurez del concreto*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Rivera, G. (s.f.). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad del Cauca.
- Rumiche Ormeño, E. M. (2018). *Implementacion del procedimiento del metodo de madurez del concreto ( norma ASTM C 1074) para calcular la resistencia a la compresion con apoyo de equipos electronicos* . Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal .

## ANEXOS

Ficha Resumen del antecedente	
Titulo:	Importancia del método de madurez en la obtención de la resistencia del concreto para un $f'c = 21 \text{ Mpa}$ , con una mezcla de cemento Tipo I y Tipo ICo, en la Ciudad de Trujillo 2021
Autor (es):	Adrianzen Jordan, Evelyn ; Zavaleta Rosales Rita Bernabita
Año del a investigación:	2021
<p>Resumen.</p> <p>Realizaron un estudio experimental sobre el método de madurez enfocado a distintos tipos de cemento, los evaluados fueron Tipo MS y tipo ICo, para poder determinar la edad en la cual el concreto elaborado logra obtener su resistencia diseño , para poder cumplir con dicho enunciado primero se realizo la caracterización de los materiales, tanto del agregado grueso como el agregado, se procedio a elaborar el diseño de mezcla para un concreto de 21 Mpa, para ambos diseños ( el con tipo de cemento MS e ICo) se elaboraron testigos de concreto tanto para la prueba y control de temperatura asi como para el ensato de resistencia a la compresión , se realizo estos controles a las edades de 01 día, 03 días, 05 días, 07 días y 09 días, se obtuvo la lectura de los sensores de temperatura de las probetas control y se realizo la rotura con estos datos se obtuvo la curva de calibración de resistencia temperatura y posteriormente la de resistencia madurez la cual nos permitió obtener dos ecuaciones para la estimación de la edad en la que el concreto adquiere su resistencia diseño con lo cual se pudo observar que a la edad de 121 horas en el cemento MS y 118 horas en el cemento Tipo ICo, el concreto alcanza los 21 Mpa por lo que podemos concluir que esto nos permitio observar que el desarrollo de la</p>	

resistencia del concreto, se dio antes de lo que convencionalmente observa que son 14 días o 336 horas en la que el concreto debe estar curándose y encofrado, logrando así reducción de tiempo notoria para el avance del proyecto o de la fabricación de el concreto.

#### Ficha Resumen del antecedente

Titulo:	Estudio del tiempo desencofrado en vigas de concreto $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> con aditivo acelerante, Lima -2019
Autor (es):	Alarcon Cardenas,Lider Ricardo ; Mendez Montenegro, Harold
Año del a investigación:	2019

#### Resumen.

La presente investigación, tuvo como objetivo general evaluar el tiempo de desencofrado en vigas de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con la incorporación del aditivo acelerante, basándose en la resistencia a la compresión y aplicando el método de la madurez. Se evaluó la correlación que existe entre la madurez del concreto y la resistencia a la compresión mediante la generación de la curva de madurez según la norma ASTM C1074.

Se elaboró y curo 51 probetas cilíndricas para cada tipo de dosificación, basándose en la norma ASTM C 192, se insertó los sensores de temperatura (madurimetro) a 2 probetas para cada tipo de dosificaciones, en concordancia con la norma ASTM C1074. Juntamente se realizó el ensayo del tiempo de fraguado para comparar el tiempo inicial y final en que reduce cada dosificación debido a la adición del aditivo acelerante. Fueron sometidas al

ensayo de compresión 15 probetas por cada dosificación a las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, según la norma ASTM C 39, se realizó tres prototipos de vigas, donde la viga patrón, la viga patrón adicionando al 1% de aditivo acelerante y la viga adicionada con 1.5 % de aditivo; en las cuales se insertaron dos madurímetros en cada una de ellas para su registro de madurez; en base a la resistencia establecida en nuestras curvas de madurez inicial, se espera que llegue a su madurez para desencofrarla.

La norma nos indica para el desencofrado de una viga esta debe presentar un mínimo del 70%  $F'c$  por lo que se realizó el control a la edad de madurez de 1300°C-hr, donde las vigas elaboradas alcanzaron temperaturas del 42.75°C con el 1% del acelerante y 44.50°C con el 1.50% observándose así una reducción en el tiempo de espera para el desencofrado de la viga de 20 horas en comparación de la viga patrón, el resultado óptimo no indica que a las 42.90 horas la viga con la adición del 1.50% del acelerante esta cumpliendo el mínimo del 70%  $F'c$  por ende se puede desencofrar dicha viga.

Ficha Resumen del antecedente	
Titulo:	Calibración y estudio del método de madurez para la obtención de la resistencia de dos tipos de concreto de alto desempeño, mediante el uso de dispositivos inalámbricos
Autor (es):	Carranza Neurohr, Andrés
Año del a investigación:	2018
<p>Resumen.</p> <p>La presente investigación consistió en estudiar y calibrar el método de madurez para la obtención de la resistencia del concreto de alto desempeño, en la planta de producción de Productos de concreto S.A, esta aplicación busca dar a conocer que no solo es necesario conocer la resistencia al fallo de los testigos, ya que en muchos proyectos como el postensado, pre-tensado, pre fabricado, es importante conocer la resistencia del concreto a lo largo de su etapa de endurecimiento, de esta forma se logra optimizar y reducir los tiempos de encofrado por ende aumentar la producción.</p> <p>Se realizaron dos diseños de mezcla de concreto denominado CAD 700 (concreto de alto desempeño con <math>f'c</math> de 700 kg/cm<sup>2</sup>) y el otro diseño denominado SCC 700 (concreto autocompactante con <math>f'c</math> de 700 kg/cm<sup>2</sup>), se realizaron pruebas en ambientes como el laboratorio, en el patio y se extrajeron núcleos de vigas, se realizó el ensayo de rotura a edades de 1 día, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días.</p> <p>Se obtuvo que la resistencia a edad de 28 días de las probetas SCC 700 fueron, para el laboratorio (773.11 kg/cm<sup>2</sup>), para el patio (754.45 kg/cm<sup>2</sup>), para las probetas CAD 700 para el laboratorio (707.72 kg/cm<sup>2</sup>), para el patio (668.85 kg/cm<sup>2</sup>). Se procedió mediante</p>	

las curvas de resistencia –  $\log(M)$  generar las ecuaciones con las cuales se procedió a estimar la resistencia deseada, obteniéndose una reducción en el tiempo de espera.