

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE MADUREZ DE UNA  
MEZCLA DE CONCRETO Y SU RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**AUTORES:**

**BACH. CORRO MANTILLA HENRY LEWIS**

**BACH. RAMOS MORALES ALEJANDRO LENER**

**ASESOR:**

**ING. ARTEAGA CUBA, GERARDO ANTENOR**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2015**

## **JURADO EVALUADOR**

---

Ing. Huertas Polo José Sebastián  
CIP: 34570  
Presidente

---

Ing. Durand Orellana Rocio Del Pilar  
CIP: 60518  
Secretario

---

Ing. Geldres Sánchez Carmen Lucia  
CIP: 80599  
Vocal

---

Ing. Arteaga Cuba, Gerardo Antenor  
CIP: 24436  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A mis padres Juana y Eyder por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis abuelos Elvira Vásquez (QEPD) y Félix Mantilla (QEPD), por ser parte de los primeros años de mi vida y demostrarme su afecto en cada momento vivido a su lado, esto también se lo debo a ustedes.

A mis hermanos, Mayumi, Eyder y Evelyn, por estar conmigo y apoyarme siempre.

**Corro Mantilla Henry Lewis**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Fidel Ramos Barros y Andandila Morales Romero por su entrega incondicional, por dedicar cada instante de su vida a mi formación como persona, por su esfuerzo y perseverancia en mi formación profesional.

A cada una de las personas que formaron parte de esta etapa de mi vida, en especial a mi tía Marina Ramos Barros y a mis hermanos.

**Ramos Morales Alejandro Lener**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por habernos permitido alcanzar esta meta y por habernos dado la sabiduría necesaria para culminar esta etapa de nuestra vida.

**A nuestro asesor** Ingeniero Arteaga Cuba Gerardo Antenor, por orientarnos siempre hacia adelante con sus ideas, sugerencias contribuyendo a que este trabajo sea más claro y preciso.

**Al Ing. Saúl Noé Linares Vertiz** profesor de la escuela profesional de Ing. electrónica por apoyarnos con el equipo electrónico para poder tomar nuestra data.

**LOS AUTORES.**

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE .....	vii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
I.-INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.-Planteamiento del Problema .....	1
1.2.-Formulación del Problema .....	1
1.3.-Objetivos .....	1
1.4.-Justificación.....	2
II.- MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.2.1.-Resistencia a la compresión del Concreto.....	4
2.2.1.1-Factores que influyen en la Resistencia a la Compresión del Concreto ...	5
2.2.2.-Método de Madurez del concreto .....	7
2.2.2.1-Antecedentes históricos del método de madurez .....	7
2.2.2.2 Concepto del método de madurez .....	10
2.2.2.3.-Ecuaciones del método de madurez del concreto .....	11
2.2.2.4.-Comparación entre el modelo matemático de Nurse-Saúl y Arrhenius ..	14
2.2.2.5.-Equipos para medición de la madurez .....	14
2.2.2.5.-Desarrollo de la curva de calibración de madurez .....	15
2.2.2.6.-Verificación de la Curva de Madurez .....	16
2.2.2.7.-Precisión y fuentes de error .....	17
2.2.2.8.-Beneficios y aplicaciones del método de madurez .....	18
2.3.- FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	19
III.- MATERIAL Y MÉTODOS .....	20
3.1.-MATERIAL .....	20
3.1.1.-Muestra.....	20
3.1.2.-Unidad de Análisis.....	21

3.2.-MÉTODO.....	22
3.2.1.-Tipo de Estudio.....	22
3.2.2.-Diseño de Investigación.....	22
3.2.3.-Variables y Operacionalización de Variables.....	22
3.2.3.1.- Variables.....	22
3.2.3.2.-Operacionalización de Variables.....	23
3.2.4.-Instrumentos de Recolección de Datos.....	23
3.2.5.-Procedimiento y Análisis Estadístico de Datos.....	24
IV.- RESULTADOS.....	25
V.- DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
5.2.- CONCLUSIONES.....	40
5.3.- RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXOS.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Numero de Probetas para cada relación a/c.....	20
Tabla 2.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.54 .....	27
Tabla 3.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.61 .....	28
Tabla 4.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.69 .....	29
Tabla 5.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.54 .....	30
Tabla 6.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.61 .....	31
Tabla 7.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.69 .....	32
Tabla 8.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.54 .....	33
Tabla 9.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.61 .....	34
Tabla 10.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.69 .....	35
Tabla 11.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.54 .....	36
Tabla 12.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.61 .....	37
Tabla 13.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.69 .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 1: Incrementos de resistencia en el concreto con la edad mientras se cuente con humedad y temperatura favorables para la hidratación .....	6
Figura 2: Torre previa al colapso y resultado del colapso .....	8
Figura 3: Puente Interstate-40. Webber Fall .....	9
Figura 4: Evaluación de la Madurez del concreto bajo dos distintas temperaturas de curado .....	11
Figura 5: Área bajo la curva, equivale a la madurez del concreto en un tiempo t.....	12
Figura 6: Distribución de resultados obtenido de probetas curadas en el campo .....	17
Grafico 7: Temperatura Vs Tiempo con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.54, 0.61 y 0.69 durante las 24 horas .....	25
Grafico 8: Temperatura Vs Tiempo con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.54, 0.61 y 0.69 para las 24 horas .....	26
Grafico 9: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.54 .....	33
Grafico 10: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.61 .....	34
Grafico 11: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.69 .....	35
Grafico 12: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.54 .....	36
Grafico 13: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.61 .....	37
Grafico 14: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.69 .....	38

## RESUMEN

En el presente informe se determina la correlación entre el índice de madurez de mezclas de concreto y su resistencia a la compresión, fabricadas con cemento portland tipo Ms y Ico.

Se trabajó con un total de 84 probetas de relaciones agua cemento 0.54, 0.61 y 0.69, fabricadas y curadas en concordancia a la norma ASTM C 192.

Con la ayuda de un equipo electrónico casero, calibrado bajo la norma ASTM C 1074. Se tomó las lecturas de la temperatura del concreto, a las edades de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días.

Determinando, a las mismas edades, la resistencia a la compresión aplicando la norma ASTM C 39.

El índice de madurez se procesó, en concordancia a la norma ASTM C1074, mediante la ecuación de Nurse-Saúl.

Las ecuaciones y grados de correlación para el concreto con cemento Portland tipo MS:

Relación a/c de 0.54:  $f'c = 49.885 \ln (IM) - 229.84$  y  $R^2 = 0.9479 \text{ Kg/Cm}^2$

Relación a/c de 0.61:  $f'c = 41.537 \ln (IM) - 188.57$  y  $R^2 = 0.9476 \text{ Kg/Cm}^2$

Relación a/c de 0.69:  $f'c = 32.558 \ln (IM) - 145.42$  y  $R^2 = 0.9514 \text{ Kg/Cm}^2$

Para el concreto con Cemento Portland tipo Ico:

Relación a/c de 0.54:  $f'c = 51.149 \ln (IM) - 234.60$  y  $R^2 = 0.9434 \text{ Kg/Cm}^2$

Relación a/c de 0.61:  $f'c = 43.745 \ln (IM) - 198.73$  y  $R^2 = 0.9456 \text{ Kg/Cm}^2$

Relación a/c de 0.69:  $f'c = 34.628 \ln (IM) - 155.92$  y  $R^2 = 0.9438 \text{ Kg/Cm}^2$

## ABSTRACT

In this report the correlation between the index of maturity of concrete mixes and its compressive strength, made with portland cement type Ms and Ico is determined.

We worked with a total of 84 samples of water cement ratios 0.54, 0.61 and 0.69, manufactured and cured in accordance with ASTM C 192 standard.

With the help of a home electronic equipment, calibrated under standard ASTM C 1074. readings concrete temperature, at ages 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days it was noted.

Determining, at the same ages, the compressive strength using the ASTM F 39 standard.

The maturity index is processed, according to the ASTM C1074 standard, using the equation of Nurse-Saul.

Equations and degrees of correlation for Portland cement concrete with Ms:

W / c ratio of 0.54:  $f^c = 49.885 \ln (\text{IM}) - 229.84$  and  $R^2 = 0.9479 \text{ Kg/Cm}^2$

W / c ratio of 0.61:  $f^c = 41.537 \ln (\text{IM}) - 188.57$  and  $R^2 = 0.9476 \text{ Kg/Cm}^2$

W / c ratio of 0.69:  $f^c = 32.558 \ln (\text{IM}) - 145.42$  and  $R^2 = 0.9514 \text{ Kg/Cm}^2$

For concrete with Portland cement type Ico:

W / c ratio of 0.54:  $f^c = 51.149 \ln (\text{IM}) - 234.60$  and  $R^2 = 0.9434 \text{ Kg/Cm}^2$

W / c ratio of 0.61:  $f^c = 43.745 \ln (\text{IM}) - 198.73$  and  $R^2 = 0.9456 \text{ Kg/Cm}^2$

W / c ratio of 0.61:  $f^c = 34.628 \ln (\text{IM}) - 155.92$  and  $R^2 = 0.9438 \text{ Kg/Cm}^2$

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En todas las obras en la ciudad de Trujillo no hay un control de calidad in-situ sobre el comportamiento y evolución del concreto para determinar su resistencia a edades tempranas y poder tomar decisiones tales como cuando remover el encofrado, cuando post- tensionar, cuando abrir la estructura al tráfico, entre otras. Las que están basadas en los niveles mínimos de resistencia del concreto, por ende reducción de tiempos en el calendario de obra.

Actualmente los métodos de predicción existentes no son tan confiables, métodos destructivos como es la rotura de probetas que presentan propiedades geométricas diferentes a la estructura, moldeadas y manipuladas en una forma muy diferente a la estructura, curadas bajo diferentes condiciones ambientales, diferentes condiciones de disipación del calor, estas diferencias se traducen en diferentes evoluciones de temperatura y por ende en diferentes resistencia del concreto.

Por estas razones es necesario utilizar un método predictivo más eficiente como el método de la madurez del concreto el cual es un buen indicador para determinar el desarrollo de la resistencia en obra desde que el concreto se encuentra en su estado fresco hasta cuando este llega a endurecer.

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el grado de correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

Determinar el grado de correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión.

### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- ✓ Preparar 84 probetas cilíndricas de concreto con a/c 0.54, 0.61, 0.69 y un asentamiento de 4”.
- ✓ Encontrar la curva de calibración Índice de Madurez- Resistencia a la compresión aplicando la norma ASTM C 1074 para concretos con Cemento Portland tipo Ms e Ico.
- ✓ Calcular el grado de correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión, con a/c 0.54, 0.61 y 0.69.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El método de Madurez es un ensayo no destructivo. Permite conocer la resistencia a compresión del concreto a edades tempranas, para tomar decisiones oportunas en la aplicación de cargas, contribuyendo así con la seguridad estructural, la reducción de tiempos en el calendario de obra.

Es de gran importancia la investigación e implementación de este método en nuestro país ya que ayuda en el control de calidad del concreto con más precisión a diferencia de los métodos tradicionales, ya que monitorea in situ la evolución de la resistencia del concreto.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 Internacionales:

A) Aguilar E., Rodríguez E. y Sermeño M. (2009), realizaron el estudio en la tesis titulada “Determinación de la Resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio”,

En la universidad de El Salvador. Con los resultados obtenidos concluyeron:

*“La aplicación del método de madurez en el sistema de viviendas coladas en el sitio se vuelve idónea, ya que no existe otro tipo de ensayo que cuantifique el estado real de la estructura al momento del desmoldado”*

B) Arteaga G., Castillo J. y Velásquez J. (2012), realizaron el estudio en la tesis titulada “Instrumentalización de un tramo de la calle de 100m de concreto, utilizando el equipo de madurez, en el tramo 7-B Lislique –Anamoros de la carretera longitudinal del norte”, en la universidad de El Salvador. Con los resultados obtenidos concluyeron:

*“Determinando la resistencia real del concreto en el lugar por medio del método de madurez es posible conocer el tiempo más apropiado para iniciar el corte de juntas y disminuir el tiempo de apertura al tráfico. Utilizando el criterio de gradiente térmico, el cual establece para que no hallan agrietamientos descontrolados la superficie de la losa no debe enfriarse en más de 3°C. Estableciendo un valor mínimo de resistencia a corte de juntas para que no produzcan daños en el concreto ni juntas astilladas ni despostilladas de 20 Kg/cm<sup>2</sup>.”*

C) Menchura V. (2009) en su tesis “Aplicación del Ensayo de Madurez a Pavimentos de Hormigón” en la Universidad Tecnológica Nacional de la Argentina. Concluye:

*“La prueba de Madurez es un efectivo medio para supervisar la ganancia de resistencia temprana de pavimentos de hormigón. El principal beneficio de utilizar este método es que proporciona un medio no destructivo relativamente*

*rápido para supervisar continuamente la resistencia del hormigón permitiendo evaluar la resistencia efectiva del pavimento.”*

**D)** Red Técnica Grupo Polpaico (2009) realizaron una investigación sobre “Aplicación del concepto de Madurez”, con los resultados obtenidos concluyeron:

*“Que la correlación entre el Índice de Madurez y su resistencia a la compresión del concreto es  $R^2 = 0.98$ ”.*

## **2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.2.1.-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto y la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ .

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se puede utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto, para estimar la resistencia del concreto en estructuras y así poder programar las operaciones de construcción tales como cuando remover los encofrados o para evaluar la conveniencia del curado y protección suministrada a la estructura. Los cilindros sometidos a ensayos de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM C 192.

Es de vital importancia que se cumpla con todos los requerimientos presentes en las normas mencionadas, pues la resistencia del concreto se encuentra influenciada por muchos factores tanto internos como externos, por tanto es indispensable que los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de los mismos sean estándares para evitar incluir otra variable más a los resultados de resistencia (Pasquel, E. 1998).

### **2.2.1.1-Factores que influyen en la Resistencia a la Compresión del Concreto**

#### **A) Relación agua-cemento**

Es el factor principal que influye en la resistencia a la compresión del concreto, es muy importante tenerlo en cuenta durante el diseño de mezcla cuando tenemos agregados de forma cúbica y rugosa ya que requieren mayor contenido de agua para obtener una buena manejabilidad. Asimismo en la práctica se puede alterar la relación a/c por adiciones de agua después de mezclado el concreto con el fin de restablecer el asentamiento o aumentar el tiempo de manejabilidad, lo cual va en detrimento de la resistencia del concreto para el cual fue diseñado.

Por lo tanto la resistencia a la compresión disminuye para un concreto con o sin aire incorporado al aumentar la relación a/c (Abanto, F. 2009)

#### **B) Contenido de cemento**

El cemento es el material más activo de la mezcla de concreto, por tanto sus características y la proporción dentro de la mezcla tienen una gran influencia en la resistencia del concreto a cualquier edad. A mayor proporción de cemento se puede obtener una mayor resistencia y a menor proporción menor resistencia.

Así mismo para el diseño de mezcla debemos tener en cuenta que los agregados estén libre de impurezas que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento. El tamaño del agregado también es importante para que la eficiencia del cemento sea mayor:

A mayor resistencia requerida, menor debe ser el tamaño del agregado para que la eficiencia del cemento sea mayor.

Para resistencia intermedia y baja, mientras mayor sea el tamaño del agregado, mayor es la eficiencia del cemento.

#### **C) Curado del concreto**

Dado que las reacciones de hidratación del cemento solo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto

durante el periodo de curado, para que pueda incrementarse su resistencia con el tiempo.

Un curado deficiente o la falta total de curado pueden reducir la resistencia del concreto en la estructura, comparando con las probetas con curado normalizado, hasta en un 50%, como puede apreciarse en la fig. 1.

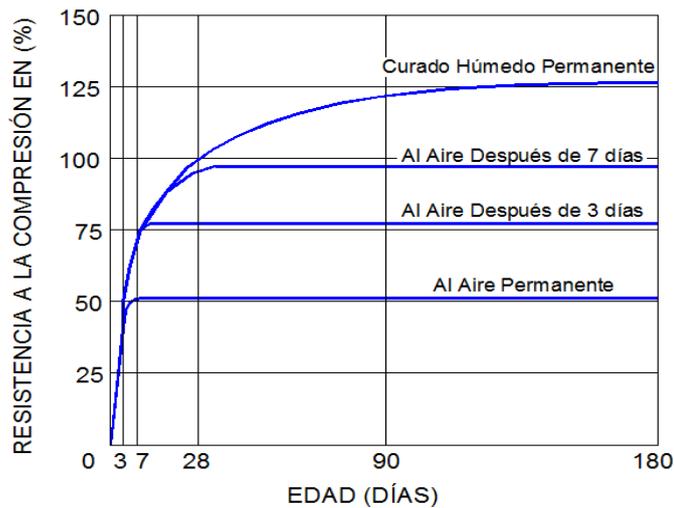


Figura 1: Incrementos de resistencia en el concreto con la edad mientras se cuenta con humedad y temperatura favorables para la hidratación del cemento.

Tomado de Diseño y control de mezclas de concreto. IMCYC

La pérdida de agua también provocará que el concreto se contraiga, creando así esfuerzos de tensión. Si estos esfuerzos se presentan antes que el concreto haya adquirido la resistencia a la tensión adecuada, se podría tener como resultado agrietamientos superficiales.

#### D) Temperatura Ambiente

La temperatura ambiente influye en el concreto aumentando su temperatura interna generando serios problemas si no se cuenta con una inspección precisa y continua que nos permitan tomar acciones a tiempo, como se describe a continuación:

- Temperaturas muy altas durante los procesos de colocación y fraguado del concreto incrementan la resistencia a muy temprana edad, pero afectan

negativamente la resistencia a edades posteriores, especialmente después de los 7 días, debido a que se da una hidratación superficial de los granos de cemento que producen una estructura físicamente más pobre y porosa.

- Durante el proceso de curado, temperaturas más altas aceleran las reacciones químicas de la hidratación aumentando la resistencia del concreto a edades tempranas, sin producir efectos negativos en la resistencia posterior.

- Cuando la temperatura es baja, la hidratación avanza a una velocidad lenta. Las temperaturas menores de 10°C son desfavorables para el desarrollo de la resistencia a edad temprana; debajo de los 4.5°C el desarrollo de la resistencia a edad temprana se retrasa en gran medida y a temperaturas de congelación o por debajo de ellas, hasta los -10°C el desarrollo de la resistencia es nulo (Osorio, J. 2013).

## **2.2.2.-Método de Madurez del concreto**

### **2.2.2.1-Antecedentes históricos del método de madurez**

Desde comienzos de 1950 investigadores ingleses identificaron la gran influencia de la temperatura sobre la evolución de la resistencia del concreto. Durante esa época se dedujo que la temperatura del material estaba directamente relacionada con la cantidad de hidratos generados y estos, a su vez, con la resistencia del mismo. De esta forma aparece el concepto madurez que se funda en la historia térmica del material.

El 2 de marzo de 1973, el segmento de un edificio de varios pisos, en construcción en el condado de Fairfax sufrió un derrumbamiento progresivo, por el percance murieron catorce obreros y 34 resultaron heridos.

Los investigadores de la oficina nacional de normas de los Estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés), identificaron una losa de piso de cuatro días de edad, que había sido sometido a un promedio temperatura ambiente de sólo 7 °C como máximo era causa probable del accidente, ya que a bajas temperatura el concreto adquiere resistencia muy lentamente.

El 27 de abril de 1978, hubo un percance considerable en la construcción de una torre de enfriamiento en la isla del sauce (Figura 2 a y 2b).

El accidente produjo la muerte de 51 trabajadores que estaban en el sistema de andamio anclado al cascarón parcialmente terminado.

Los investigadores de la NBS concluyeron que la causa más probable del derrumbamiento era la poca resistencia del concreto para soportar las cargas aplicadas durante la construcción. En el momento del percance el concreto fundido en el interior del cascarón tenía un día de edad, y había sido expuesto a una temperatura ambiente de menos de 10 °C en promedio (Carino y Lew 2001).

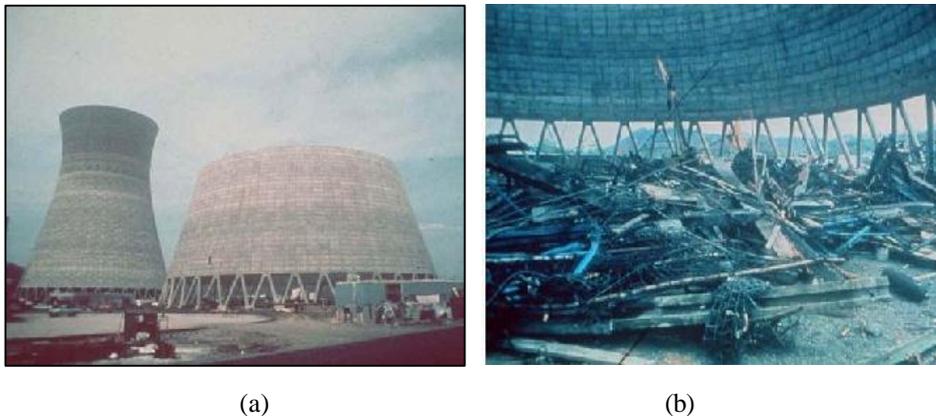


Figura 2: (a) Se observa la torre previa al colapso y en la (b) resultado del colapso.

Fuente: National Institute of Standards and Technology/ April 28, 1978.

Este percance convenció a los investigadores de NBS que había una necesidad urgente de estándares para el cálculo de la resistencia del concreto in-situ durante la construcción.

Como resultado, la NBS identificó el método de la madurez como una alternativa viable para estimar la resistencia del concreto sometido a diferentes temperaturas de curado (Carino y Lew 2001). Esto, a su vez, condujo a la creación de la primera norma en el mundo (ASTM C1074) en 1987 para estimar la resistencia del concreto a través del método de madurez (Carino y Lew 2001).

Múltiples aplicaciones e investigaciones a nivel mundial han sido realizadas en cuanto al Método de la Madurez, entre las que están:

- El control de Pavimentos de concretos en el Estado de Iowa, Michigan, Indiana, Texas, New York y Washington en los Estados Unidos desde 1989.
- Control del concreto construcción de líneas del metro de Kioto y reconstrucción en Kobe, Japón desde 1990 (Aoki construction).
- Reconstrucción del puente Webbers Falls en Oklahoma. El Puente Webbers, sobre el río Arkansas, el cual se derrumbó el 26 de mayo de 2002 después de ser golpeado por una embarcación. El puente fue reconstruido y reabierto al tráfico el 29 julio, a sólo 47 días después.

El método de madurez jugó un papel fundamental en medir el tiempo de remoción del encofrado para columnas de soporte y otros elementos de la subestructura. En algunos casos, el desencofrado era posible en un tiempo de tan solo 13 horas. Ver figura 3.



(a)

(b)

Figura 3: Puente Interstate-40. Webber Fall.

- a) Foto aérea del puente Webbers Falls, a raíz de la colisión.
- b) El puente Webbers Falls vuelve a abrir el 29 de julio de 2002.

Todo este avance tuvo lugar gracias a las investigaciones en las Universidades de Wisconsin, Iowa, Otawa y China, realizadas por Malhotra, Carino, Cornell y Guo Cheng Juo, respectivamente, entre otras, las cuales han permitido corroborar la importancia del concepto de madurez y control térmico en la planeación y desarrollo racional de proyectos de construcción.

En la actualidad el método de madurez es muy utilizado en la industria de la construcción y está amparado por las normas ASTM C1074 y C918, ACI 318, 228, 308, FHWA SA 97-105, AASHTO T276.

#### **2.2.2.2 Concepto del método de madurez**

El método de la madurez es una técnica no destructiva para determinar la resistencia del concreto en cualquier momento mediante el cálculo de su índice de madurez, basado en el historial de temperatura de la estructura durante el tiempo de curado para cada diseño de mezcla. El método ofrece una mejor representación de la evolución de la resistencia del concreto in-situ en comparación con la resistencia obtenida de ensayos a compresión en especímenes cilíndricos, que no representan la correcta resistencia de la estructura, debido a que los cilindros presentan propiedades geométricas muy diferentes a las de la estructura, están curados bajo diferentes condiciones ambientales y son moldeados y manipulados en una forma muy diferente a la estructura de concreto.

El supuesto inherente en el método de la madurez es que dos muestras de concreto con la misma madurez tendrán la misma resistencia, aunque cada una puede haber sido expuesta a condiciones diferentes de curado. Este concepto se ilustra en la fig. 4, una muestra expuesta a bajas temperaturas toma más tiempo para alcanzar una madurez  $M_1$ , y considerando una muestra expuesta a altas temperaturas tarda menos tiempo para alcanzar la madurez  $M_2$ . Si  $M_1=M_2$ , entonces estas dos muestras tienen igual resistencia aunque las condiciones de curado individual (tiempo y temperatura) son diferentes (Menchura, V. 2006).

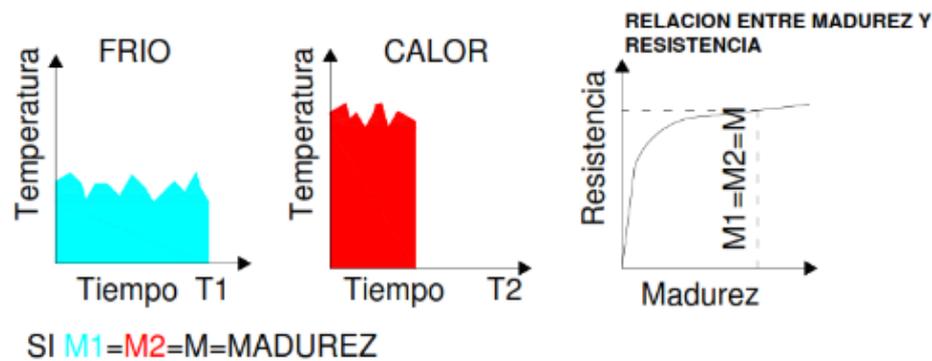


Figura 4: Evaluación de la Madurez del concreto bajo dos distintas temperaturas de curado. Tomado de IPRF-01-G-002-03-6

### 2.2.2.3.-Ecuaciones del método de madurez del concreto

#### A) Ecuación de Nurse-Saúl

La ecuación Nurse-Saúl (Factor tiempo-temperatura TTF) asume que la velocidad de reacción química en el concreto se incrementa linealmente con la temperatura. Fue así que se propuso que el producto del tiempo y temperatura dará como resultado la madurez.

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

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

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

T<sub>0</sub>: Datúm de temperatura

t: Tiempo transcurrido

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

La figura 5 muestra un historial esquemático de la temperatura y del factor temperatura-tiempo según la Ecuación 1.

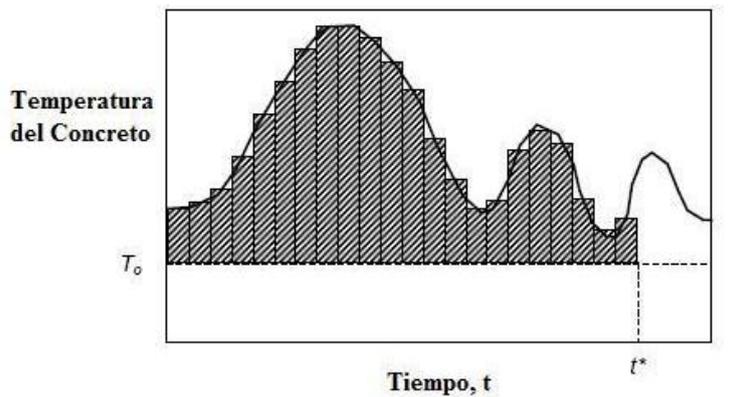


Figura.5: Área bajo la curva, equivale a la madurez del concreto en un tiempo  $t$ , limitada por la temperatura del concreto y el datum de temperatura.

Tomado de The Maturity Method: From Theory to application. Carino and Lew 2001.

El factor temperatura-tiempo en una cierta edad iguala el área bajo la curva entre la temperatura y el datúm, definiendo este último como la temperatura bajo la cual el concreto deja de ganar resistencia. Es por eso que en el gráfico de la figura 5 se toma el área bajo la curva limitada por la temperatura y el Datum ( $T_0$ ), que depende del tipo de cemento y de cómo es la ganancia de resistencia con respecto al tiempo, alternativamente el  $T_0$  puede ser determinado para un diseño de mezcla en específico siguiendo el procedimiento descrito por ASTM C 1074.

### ➤ Datum de temperatura $T_0$

La explicación teórica de la temperatura Datum o temperatura de referencia es "la temperatura de una mezcla de concreto por debajo del cual todas las reacciones de hidratación cesan". En teoría, cuando la temperatura del concreto cae por debajo de la temperatura de referencia, no se produce aumento adicional de resistencia, por lo tanto, no hay ganancia neta en la madurez registrada por la ecuación 1.

La temperatura de referencia puede depender del tipo de cemento, la dosificación de aditivos y otros factores que afecten la razón de hidratación y el rango de temperaturas que el concreto experimente cuando endurece, la temperatura de referencia apropiada puede ser determinado experimentalmente

de acuerdo a los procedimientos dados en el Anexo A1 del mismo estándar de la norma ASTM C 1074.

### **B) Ecuación de Arrhenius (Edad Equivalente)**

La ecuación de Arrhenius, responde a la no linealidad en la proporción de la hidratación del cemento. Este método produce un índice de madurez en términos de una “edad equivalente” que representa la duración equivalente de curado en la temperatura de referencia que produciría el mismo valor de madurez como el periodo de curado para la temperatura promedio dada:

$$t_e = \sum_0^t e^{\frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right)} \Delta t \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $t_e$ : Edad equivalente a la temperatura de referencia
- $E$ : Energía de activación equivalente, J/mol
- $R$ : Constante universal del gas, (8.314 J/mol-K)
- $T$ : Temperatura absoluta promedio del concreto durante el Intervalo de tiempo  $\Delta t$  en grados Kelvin.
- $T_r$ : Temperatura absoluta de referencia
- $\Delta t$ : Intervalo de tiempo, días u horas.

Esta ecuación se usa para calcular la edad equivalente a una temperatura especificada. Para ello es necesario también conocer la energía de activación para los materiales y condiciones específicas. La energía de activación depende de:

- ✓ El tipo de cemento
- ✓ El tipo y dosaje de los agregados en polvo que afecte la proporción de desarrollo de resistencia
- ✓ La relación agua- cemento

También se debe conocer la temperatura especificada,  $T_r$ , tradicionalmente se usa un valor de 20 °C, pero otra temperatura conveniente es 23°C, la cual debe ser informada con el valor de la edad equivalente (Carino y Lew 2001).

#### **2.2.2.4.-Comparación entre el modelo matemático Nurse-Saúl y Arrhenius**

Los investigadores reconocen que el modelo exponencial de la ecuación de Arrhenius proporciona una representación teóricamente más exacta, en comparación al modelo lineal asumido por la ecuación de Nurse- Saúl, debido a que las reacciones química tienden a seguir una velocidad exponencial con respecto a la temperatura (Carino y Lew 2001).

Aun así, la hidratación de los materiales cementicos dentro de una masa de concreto implica diferentes reacciones químicas, en diferentes momentos en todo el proceso de curado y teniendo cada uno su propia energía de activación única.

La energía de activación aparente es variable significativa en el exponente de la ecuación 2 y dependiente de cada reacción química, por tanto dependiente del tiempo como también, de la hidratación del concreto. En consecuencia el uso de un único valor aparente de energía de activación, puede efectuar grandes variaciones en los cálculos del índice de madurez, dando lugar a estimaciones de resistencias en algunos casos poco conservadoras.

En forma similar, pero de forma menos severa, el método de Nurse-Saúl puede, a veces, ser poco conservador. El impacto es por lo general menos grave debido al hecho de que el método de Nurse-Saúl asume una relación lineal en vez de una relación exponencial entre las velocidades de reacción de temperatura y la hidratación (Carino y Lew 2001).

#### **2.2.2.5.-Equipos para medición de la madurez.**

Debido a que la madurez depende sólo de la historia de temperatura y tiempo del concreto, los requisitos más básicos de los equipos para determinar la madurez, son un termómetro y un reloj. Sin embargo en los últimos años diversos

dispositivos de madurez se han desarrollado para monitorear y registrar automáticamente la temperatura del concreto como una función del tiempo.

Dos diferentes tipos de sensores de temperatura se utilizan en la medición de la madurez, las termocuplas (termopares) y termistores. Sea cual sea el tipo de sensor de temperatura que se emplee, debe cumplir con la norma ASTM C1074, la cual establece que el sistema de medición de temperatura deberá tener una precisión de  $\pm 1$  °C, que registran y almacenan la temperatura del concreto en los intervalos definidos por el usuario. El intervalo de tiempo registrado será 1 h o menos. Los datos pueden ser descargados por el usuario en cualquier momento, algunos incluso por medios inalámbricos, o conectándose a unos terminales mediante cables embebidos en el concreto fresco y puede ser programado para calcular la madurez ya sea por la ecuación Nurse-Saúl o la ecuación de Arrhenius.

#### **2.2.2.5.-Desarrollo de la curva de calibración de madurez.**

El desarrollo de la curva de calibración para cualquier mezcla de concreto depende de las características de la mezcla específica; cualquier cambio en el material de origen, en las proporciones de la mezcla, o en el equipo de mezclado requiere el desarrollo de una nueva curva de la calibración.

La calibración para cada diseño de mezcla específica se lleva a cabo normalmente en un entorno de laboratorio. Sin embargo, el concreto utilizado para el lote de calibración puede ser producido en el laboratorio o en el campo.

Los pasos generales en el desarrollo de una curva de madurez se describen a continuación:

- 1) Moldear como mínimo 14 probetas cilíndricas y ensayar el asentamiento.
- 2) Embeber los sensores de temperatura dentro de  $\pm 15$  mm del centro, de por lo menos 2 probetas. Conectar los sensores a los instrumentos de madurez o a los equipos de registro de temperatura. Estas probetas no se ensayarán a compresión pero se usarán para evaluar la madurez de las mismas.
- 3) Se realizará el curado de las probetas de acuerdo a la norma ASTM C 192.

- 4) Realizar ensayos de compresión de por lo menos 2 probetas a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días y calcular la resistencia promedio. Si el rango de resistencia a compresión de las 2 probetas excede el 10 % de su resistencia promedio, ensayar otro cilindro y calcular el promedio de los tres ensayos. Si el resultado del ensayo bajo es debido a una probeta defectuosa, desecharlo.
- 5) En cada edad de ensayo registrar el índice de madurez. Para los especímenes instrumentados. Si se usan registros de temperatura. Evalúe la madurez de acuerdo a la ecuación de Nurse-Saúl o a la ecuación de Arrhenius.
- 6) Trazar la resistencia a compresión promedio como una función del valor promedio del índice de madurez. Dibujar la curva más adecuada con los datos. Utilizando la función de línea de tendencia de Excel, ajustar una curva logarítmica a través de estos puntos, mostrando la ecuación y el  $R^2$ .

La ecuación tendrá la forma: Resistencia a Compresión = B Ln (Madurez) + A y es la relación madurez-resistencia a ser usada para estimar la resistencia de la mezcla de concreto en específico curada bajo otras condiciones de temperatura.

La ecuación anterior es exactamente la forma en que Plowman recomienda, en la década de los 50, excepto que utiliza el logaritmo natural, en vez del logaritmo base 10. Para los fines del método de madurez, y para estimar la resistencia, B es un coeficiente que está relacionado con la velocidad inicial de aumento de la resistencia, ln(M) es el logaritmo natural de la madurez y A, es un coeficiente que se relaciona con la relación a/c, el factor de cemento, el tipo de cemento y quizás la temperatura (Arteaga, G., Castillo, J. y Velásquez, J. 2012).

#### **2.2.2.6.-Verificación de la Curva de Madurez.**

Puesto que los materiales, el rendimiento de los equipos de mezclado, y las condiciones de la construcción pueden variar con el tiempo, es importante verificar la correlación de la resistencia-madurez. Las pruebas de validación se deben realizar cada vez que existan cambios significativos en la dosificación y/o calidad de los materiales, entre otros aspectos. Para determinar si la

resistencia del concreto está siendo adecuadamente representada por la curva de madurez actual.

La ASTM C1074 recomienda que la curva se considera válida si los promedios de resistencia para cada edad, de los valores de verificación están dentro del  $\pm 10\%$  de la relación original (Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. 2009).

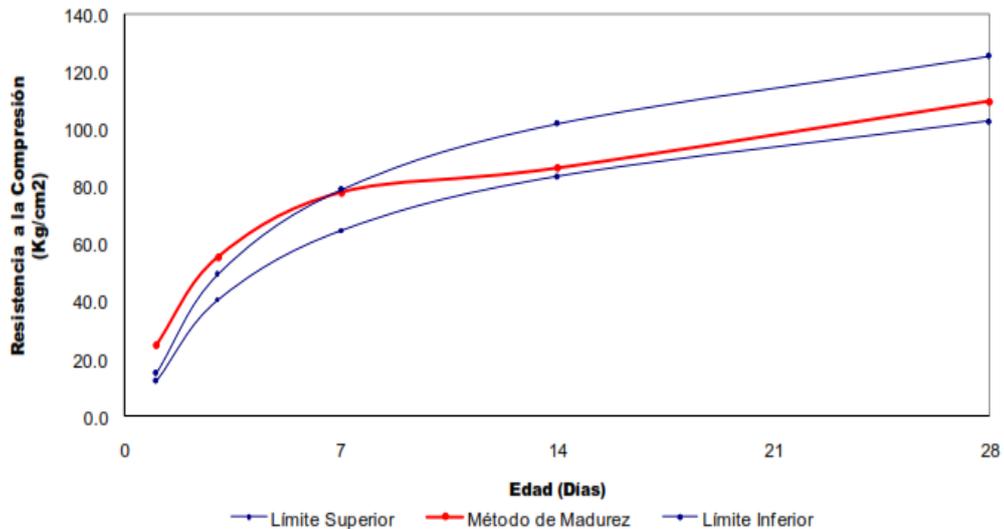


Figura 6: Representa la distribución de resultados obtenido de probetas curadas en el campo comparadas con el  $\pm 10\%$  de la resistencia obtenida por el método de madurez.

Fuente: Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. (2009). Determinación de la Resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador.

### 2.2.2.7.-Precisión y fuentes de error.

La ASTM C1074 manifiesta que la precisión de la resistencia estimada es dependiente de varios factores, tales como la inapropiada función de madurez para la mezcla específica, el historial de temperatura a edad temprana y las proporciones actuales de la mezcla.

Debemos tener en cuenta otras posibles fuentes de error las cuales se menciona a continuación:

- Los cambios de las características de materias primas.
- Los errores en el ensayo de calibración.
- Errores humanos al recopilar los datos de madurez o de cálculo de la resistencia de la madurez.
- El efecto Crossover (Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. 2009).

#### **2.2.2.8.-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:

- ✓ El Departamento de Transporte de Iowa, ha concluido que las pruebas de la madurez reduce el tiempo de construcción y retrasos en el tráfico, y mejora las relaciones públicas durante la construcción. Se estima que el tiempo de construcción para proyectos de autopistas podría reducirse en más del 50%.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Los cables de pos tensado pueden ser tensados más pronto, acelerando el flujo de trabajo.
- ✓ 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.

- ✓ Los encofrados en proyectos de puentes o edificios pueden retirarse más rápido, agilizando la construcción y disminuyendo costos de arrendamiento y horas hombre.

### **2.3.- FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

El grado de correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión es alto.

**CAPITULO III**  
**MATERIAL Y MÉTODOS**

**3.1.-MATERIAL**

**3.1.1.-Muestra:**

Se utilizaron 84 probetas de concreto de 12” de alto por 6” diámetro. De las cuales 72 servirán para ser ensayadas por el método de compresión simple según la norma ASTM C 39 y 12 probetas para ser instrumentalizadas con sensores térmicos que permitan registrar su temperatura, según se detalla en la siguiente tabla 1

Numero de Probetas para cada relación a/c				
a/c	Tipo de Cemento			
	Cemento Portland Ms		Cemento Portland Ico	
	f'c	Temperatura	f'c	Temperatura
0.54	12	2	12	2
0.61	12	2	12	2
0.69	12	2	12	2
Total de Probetas	84			

Así mismo se utilizó agregado en las siguientes proporciones:

**Material requerido para 14 probetas a/c=0.54**

Cemento (Kg)	36.82
Arena (Kg)	51.10
Piedra (Kg)	86.80
Agua (Kg)	21.28

**Material requerido para 14 probetas a/c=0.61**

Cemento (Kg)	32.76
Arena (Kg)	54.60
Piedra (Kg)	87.08
Agua (Kg)	21.56

### Material requerido para 14 probetas a/c=0.69

Cemento (Kg)	28.98
Arena (Kg)	57.82
Piedra (Kg)	87.50
Agua (Kg)	21.56

Los equipos utilizados para en la recolección de la información:

#### A) Prensa hidráulica

Esta máquina nos permite obtener las cargas a las cuales fallan los especímenes para luego poder determinar su resistencia a la compresión al dividirlo por su área.

#### B) Equipo Electrónico

El equipo electrónico está integrado por:

- ✓ Tarjeta de censado de temperatura
    - Entradas de temperatura 22 canales
    - Sensibilidad de medida 0.5°C
    - Interface de comunicación RS232
    - Tiempo de Toma de medidas 1H
    - Toma máxima de medidas 14784
    - Máximo número de días de censado 28
  - ✓ Sensor LM35
  - ✓ Cable de conexión al sensor Coaxial
  - ✓ Software de supervisión Lab View 2013
    - Grabación en archivos formato XLS
    - Presentación de datos históricos en 4 ventanas
    - Filtro de eliminación de ruido eléctrico Fc=0.1Hz
- (Ver Anexo 04)

#### 3.1.2.-Unidad de Análisis

Probeta de concreto de 12" de alto por 6" diámetro: Se medirá la resistencia que va obteniendo con el tiempo, a temperaturas variables.

## 3.2.-MÉTODO

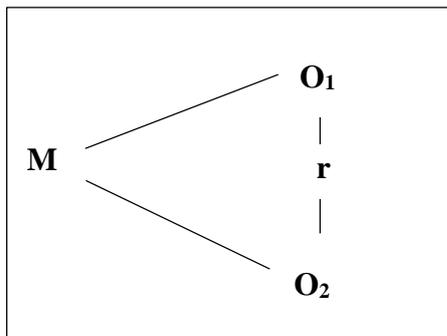
### 3.2.1.-Tipo de Estudio

- Por el Propósito : Tecnológica
- Por el nivel de conocimientos que se adquieren : Científico

### 3.2.2.-Diseño de Investigación

El diseño de investigación es correlación, ya que examina la relación o asociación existente entre dos variables, en la misma unidad de investigación o sujetos de estudio.

#### Esquema:



Donde:

M = Muestra de 84 probetas de concreto de 12” de alto por 6” de diámetro.

O<sub>1</sub>: Índice de madurez

O<sub>2</sub>: Resistencia a la compresión del concreto.

r = Relación de las variables de estudio.

### 3.2.3.-Variables y Operacionalización de Variables

#### 3.2.3.1.- Variables

##### A) Resistencia a la Compresión

La resistencia del concreto, se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial a los 28 días, esto solo definiría la

resistencia final, pues luego de que el concreto es colado, va ganando resistencia en función del tiempo-temperatura, así que para una determinada mezcla se podría tener una misma resistencia si el índice de madurez es el mismo, por ejemplo un concreto curado a una temperatura de 10°C por 7 días puede tener el mismo índice de madurez que un concreto curado a 27°C por 3 días, en consecuencia tendrían la misma resistencia.

## **B) Índice de Madurez**

Para determinar la madurez del concreto se debe emplear una expresión matemática que partiendo del historial de temperatura, medido de la mezcla de concreto durante el periodo de curado, calcula un índice que es un indicativo de la madurez del concreto al final de ese periodo. Las funciones más comunes para el cálculo del índice de madurez son la función de la edad equivalente y la función del factor tiempo-temperatura o ecuación de Nurse- Saúl la cual se aplica en la presente investigación.

### **3.2.3.2.- Operacionalización de Variables**

<b>IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>INDICADORES POR CADA ASPECTO</b>
1.- V.I. Índice de madurez.	°C x Horas
2.- V.D. Resistencia a la compresión del concreto.	Kg/Cm <sup>2</sup>

### **3.2.4.-Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **Ficha Técnica:**

Este instrumento consiste en un listado de 8 características con respecto a la resistencia a la compresión del concreto. (Ver Anexo 05).

Asimismo para el índice de madurez del concreto se utilizó también una ficha técnica, el cual consta de 7 características: (Ver Pág. 27).

Finalmente se obtuvo una tabla resumen para encontrar la correlación de las dos variables ya antes mencionadas. (Ver Pág. 33).

### **3.2.5.-Procedimiento y Análisis Estadístico de Datos**

El método a utilizar será experimental el cual fue realizado en el laboratorio de Ensayo de Materiales UPAO, teniendo los siguientes pasos:

- ✓ Se hizo un diseño de mezclas para tres tipos de relación a/c de 0.54, 0.61 y 0.69 con un asentamiento de 4", según el método ACI para el Cemento Portland tipo Ms e Ico.
- ✓ Se elaboró y curo 14 probetas cilíndricas para cada tipo de relación a/c de 0.54, 0.61 y 0.69 con un asentamiento de 4", según la norma ASTM C 192.
- ✓ Fueron insertados los sensores de temperatura a 2 probetas para cada tipo de relación a/c, ubicados en el centro asumiendo una variación de  $\pm 15$  mm y se evaluó la evolución de su temperatura, en concordancia con la norma ASTM C 1074.
- ✓ Fueron sometidas al ensayo de compresión 12 probetas, según la norma ASTM C 39 y al mismo tiempo se registró la lectura de temperatura de las 2 probetas a edades de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días para cada relación a/c.

#### **Aplicando Excel y en concordancia con los criterios de la norma ASTM C 1074 encontramos:**

- La Resistencia a la compresión.
- El índice de madurez del concreto aplicando la ecuación de Nurse- Saúl.
- La curva de calibración que correlaciona el índice de madurez y la resistencia a la compresión del concreto.
- La ecuación logarítmica Resistencia a la compresión= $B \ln(\text{Madurez}) + A$  y la correlación  $R^2$ .

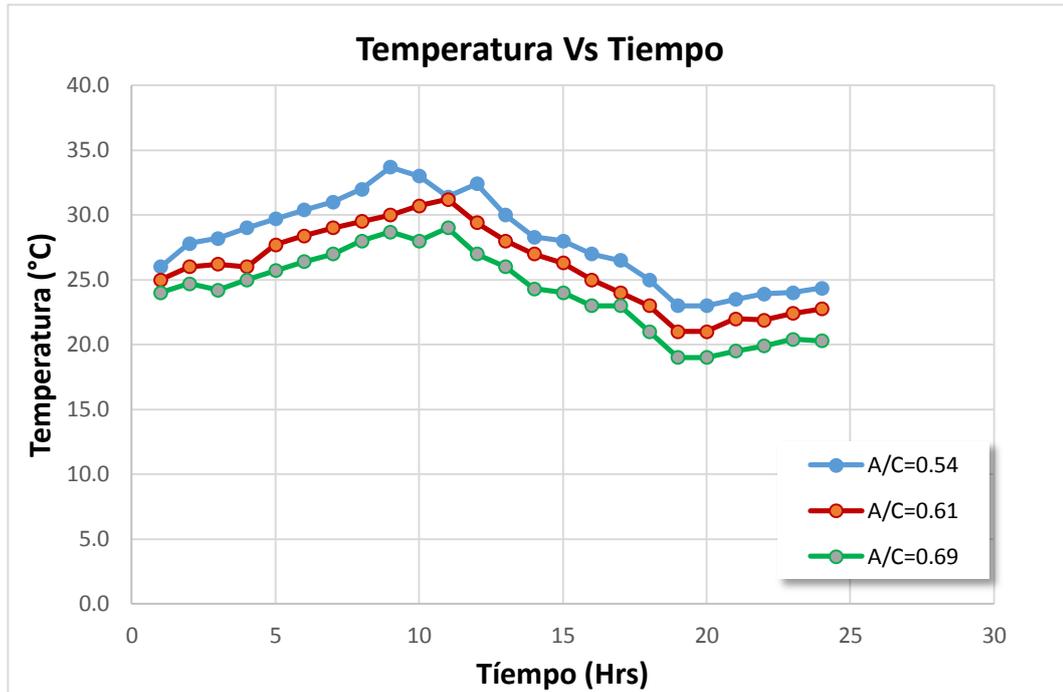
#### **Aplicando el programa Estadístico SPSS v.22 encontramos:**

La correlación entre las variables de estudio y el modelo de regresión logarítmica y su respectiva significancia (Ver Anexo 06).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Grafico 7: Temperatura Vs Tiempo del Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.54, 0.61 y 0.69 durante las 24 horas.

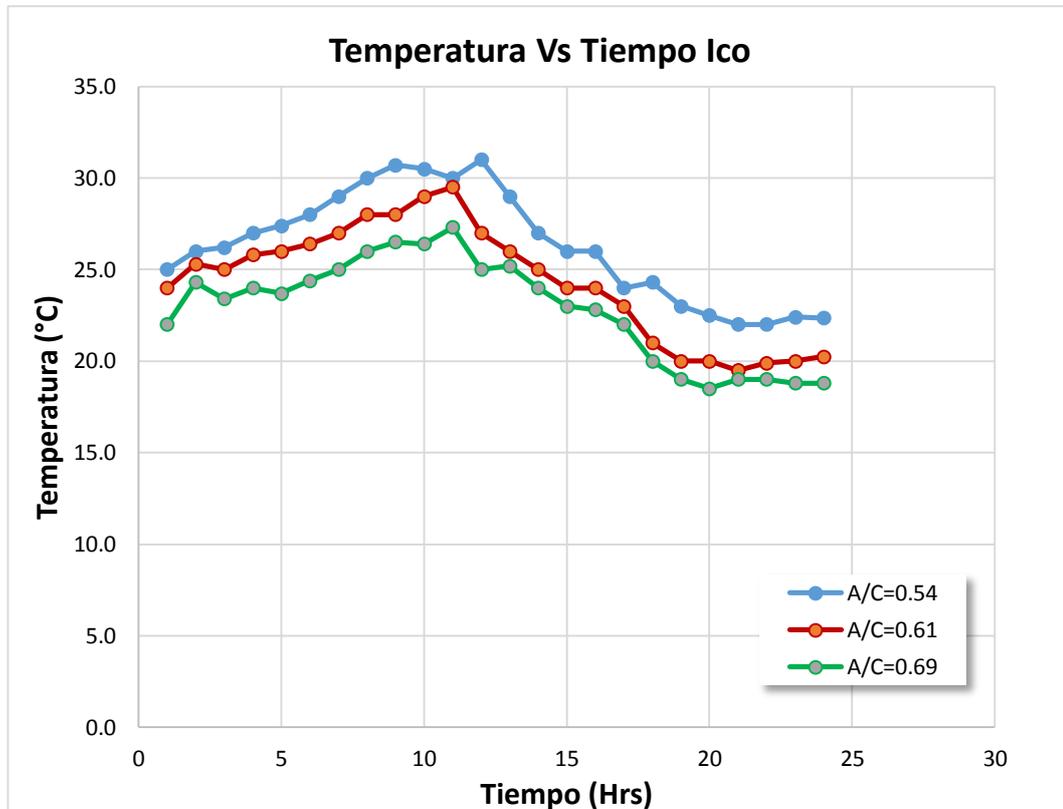


Fuente: Basado en los datos obtenidos por los sensores térmicos.

Se observa que la mayor temperatura lo produjo la relación A/C=0.54, es decir que a menor relación A/C mayor reacción exotérmica por lo tanto mayor temperatura.

También se puede apreciar que las temperaturas más altas se dio a partir de la hora 8 a la hora 11 para las tres relaciones A/C.

Grafico 8: Temperatura Vs Tiempo del Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.54, 0.61 y 0.69 para las 24 horas.



Fuente: Basado en los datos obtenidos por los sensores térmicos.

Se observa que la mayor temperatura lo produjo la relación A/C=0.54, es decir que a menor relación A/C mayor reacción exotérmica por lo tanto mayor temperatura.

También se puede apreciar que las temperaturas más altas se dio a partir de la hora 9 a la hora 12 para las tres relaciones A/C.

A continuación en las tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se calcula la madurez del concreto aplicando la ecuación de Nurse – Saúl  $M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t$ , en concordancia con la norma ASTM C 1074. Para la presente investigación tenemos un  $T_0 = 0$ , por ello no se consideró en el cálculo en las tablas antes mencionadas.

**Tabla 2.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.54**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>1</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	12/01/2015	12:30						
	12/01/2015	14:30	2.00	2.00	27.8	56	56	0
1A	13/01/2015	14:10	25.67	23.67	24.0	568	624	46.95
2A	15/01/2015	16:05	75.58	49.92	24.0	1,198	1,822	128.69
3A	19/01/2015	15:05	170.58	95.00	26.0	2,470	4,292	191.87
4A	26/01/2015	11:00	334.50	163.92	26.0	4,262	8,553	230.30
5A	02/02/2015	15:50	507.33	172.83	24.0	4,148	12,701	250.05
6A	09/02/2015	16:50	676.33	169.00	22.8	3,853	16,555	266.05
Colocación del concreto	12/01/2015	12:30						
	12/01/2015	14:30	2.00	2.00	27.8	56	56	0
1B	13/01/2015	14:10	25.67	23.67	24.7	585	640	47.98
2B	15/01/2015	16:05	75.58	49.92	23.6	1,178	1,818	128.03
3B	19/01/2015	15:05	170.58	95.00	26.6	2,527	4,345	193.00
4B	26/01/2015	11:00	334.50	163.92	25.8	4,229	8,574	228.24
5B	02/02/2015	15:50	507.33	172.83	25.5	4,407	12,981	252.57
6B	09/02/2015	16:50	676.33	169.00	22.3	3,769	16,750	264.00

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>1</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

**Tabla 3.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.61**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>2</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	14/01/2015	12:20						
	14/01/2015	14:20	2.00	2.00	26	52	52	0
1A	15/01/2015	14:10	25.83	23.83	22.5	536	588	38.55
2A	17/01/2015	16:00	75.67	49.83	22.0	1,096	1,685	110.35
3A	21/01/2015	12:20	168.00	92.33	25.0	2,308	3,993	160.72
4A	28/01/2015	12:50	336.50	168.50	24.0	4,044	8,037	190.18
5A	04/02/2015	12:30	504.17	167.67	23	3,856	11,893	207.00
6A	11/02/2015	22:00	681.67	177.50	21	3,727	15,621	219.90
Colocación del concreto	14/01/2015	12:20						
	14/01/2015	14:20	2.00	2.00	26.0	52	52	0
1B	15/01/2015	14:10	25.83	23.83	23.0	548	600	39.00
2B	17/01/2015	16:00	75.67	49.83	21.0	1,046	1,647	105.40
3B	21/01/2015	12:20	168.00	92.33	24.5	2,262	3,909	157.12
4B	28/01/2015	12:50	336.50	168.50	24.7	4,162	8,071	192.00
5B	04/02/2015	12:30	504.17	167.67	23.8	3,990	12,061	211.15
6B	11/02/2015	22:00	681.67	177.50	21.5	3,816	15,877	221.91

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>2</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

**Tabla 4.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.69**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>3</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	15/01/2015	12:30						
	15/01/2015	14:30	2.00	2.00	24.7	49	49	0
1A	16/01/2015	14:28	25.97	23.97	20.6	494	543	33.79
2A	19/01/2015	17:20	100.83	74.87	17.9	1,340	1,883	86.15
3A	22/01/2015	12:30	168.00	67.17	24.0	1,612	3,495	124.18
4A	29/01/2015	12:40	336.17	168.17	23.0	3,868	7,363	148.20
5A	06/02/2015	12:15	527.75	191.58	22.8	4,368	11,731	166.03
6A	13/02/2015	12:15	695.75	168.00	20.9	3,511	15,242	175.98
Colocación del concreto	15/01/2015	12:30						
	15/01/2015	14:30	2.00	2.00	24.7	49	49	0
1B	16/01/2015	14:28	25.97	23.97	20.0	479	529	32.09
2B	19/01/2015	17:20	100.83	74.87	17.0	1,273	1,801	85.47
3B	22/01/2015	12:30	168.00	67.17	23.0	1,545	3,346	122.50
4B	29/01/2015	12:40	336.17	168.17	23.7	3,986	7,332	150.20
5B	06/02/2015	12:15	527.75	191.58	22.3	4,272	11,604	164.03
6B	13/02/2015	12:15	695.75	168.00	20.4	3,427	15,031	174.26

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>3</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

**Tabla 5.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.54**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>4</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	13/01/2015	17:30						
	13/01/2015	19:30	2.00	2.00	26	52	52	0
1A	14/01/2015	19:30	26.00	24.00	22.0	528	580	44.50
2A	16/01/2015	18:49	73.32	47.32	22.0	1,041	1,621	122.94
3A	20/01/2015	17:25	167.92	94.60	25.0	2,365	3,986	195.02
4A	27/01/2015	16:20	334.83	166.92	27.5	4,590	8,576	236.26
5A	03/02/2015	16:30	503.00	168.17	26.0	4,372	12,949	260.33
6A	10/02/2015	15:30	670.00	167.00	24.0	4,008	16,957	272.35
Colocación del concreto	13/01/2015	17:30						
	13/01/2015	19:30	2.00	2.00	26.0	52	52	0
1B	14/01/2015	19:30	26.00	24.00	22.7	545	597	45.10
2B	16/01/2015	18:49	73.32	47.32	22.8	1,079	1,676	124.94
3B	20/01/2015	17:25	167.92	94.60	25.5	2,412	4,088	196.85
4B	27/01/2015	16:20	334.83	166.92	26.0	4,340	8,428	235.19
5B	03/02/2015	16:30	503.00	168.17	26.7	4,490	12,918	261.42
6B	10/02/2015	15:30	670.00	167.00	24.6	4,108	17,026	274.94

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>4</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

**Tabla 6.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.61**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>5</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	20/01/2015	11:50						
	20/01/2015	13:50	2.00	2.00	25.3	51	51	0
1A	21/01/2015	13:30	25.67	23.67	20.0	473	524	36.28
2A	23/01/2015	13:00	73.17	47.50	20.0	950	1,474	105.58
3A	27/01/2015	12:20	168.50	95.33	23.3	2,221	3,695	165.98
4A	02/02/2015	11:50	312.00	143.50	25.7	3,688	7,383	196.55
5A	09/02/2015	11:50	480.00	168.00	24.5	4,116	11,499	217.75
6A	16/02/2015	11:50	648.00	168.00	23.9	4,015	15,514	233.92
Colocación del concreto	20/01/2015	11:50						
	20/01/2015	13:50	2.00	2.00	25.3	51	51	0
1B	21/01/2015	13:30	25.67	23.67	20.5	485	536	37.45
2B	23/01/2015	13:00	73.17	47.50	19.5	926	1,462	102.07
3B	27/01/2015	12:20	168.50	95.33	23.0	2,193	3,655	165.59
4B	02/02/2015	11:50	312.00	143.50	25.0	3,587	7,242	196.31
5B	09/02/2015	11:50	480.00	168.00	25.4	4,267	11,509	218.48
6B	16/02/2015	11:50	648.00	168.00	23.3	3,914	15,424	230.46

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>5</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

**Tabla 7.- Sumatoria de la Madurez del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.69**

N° Probeta	Fecha de medición	Hora de medición	Diferencia 12:30 (Horas)	$\Delta t$ (Horas)	T <sup>6</sup> (°C)	Madurez (°CxHoras)	Suma Madurez (°CxHoras)	Resistencia (Kg/Cm2)
Colocación del concreto	15/01/2015	12:15						
	15/01/2015	14:15	2.00	2.00	24.3	49	49	0
1A	16/01/2015	14:00	25.75	23.75	19.3	458	507	31.40
2A	19/01/2015	17:20	101.08	75.33	16.4	1,235	1,742	83.90
3A	22/01/2015	12:30	168.25	67.17	19.4	1,303	3,045	126.91
4A	29/01/2015	12:40	336.42	168.17	23.4	3,935	6,981	155.26
5A	06/02/2015	12:15	528.00	191.58	23.0	4,406	11,387	175.57
6A	13/02/2015	12:15	696.00	168.00	22.0	3,696	15,083	186.15
Colocación del concreto	15/01/2015	12:15						
	15/01/2015	14:15	2.00	2.00	24.3	49	49	0
1B	16/01/2015	14:00	25.75	23.75	18.3	435	483	30.99
2B	19/01/2015	17:20	101.08	75.33	16.0	1,205	1,689	82.38
3B	22/01/2015	12:30	168.25	67.17	17.4	1,169	2,857	122.31
4B	29/01/2015	12:40	336.42	168.17	24.2	4,070	6,927	157.36
5B	06/02/2015	12:15	528.00	191.58	22.7	4,349	11,276	172.03
6B	13/02/2015	12:15	696.00	168.00	21.7	3,646	14,921	185.90

Fuente: Basada en los ensayos de laboratorio.

<sup>6</sup> Se observa que a mayores valores de temperatura mayores valores de madurez y resistencia, al comparar las probetas del grupo A con las del grupo B según sus respectivas edades.

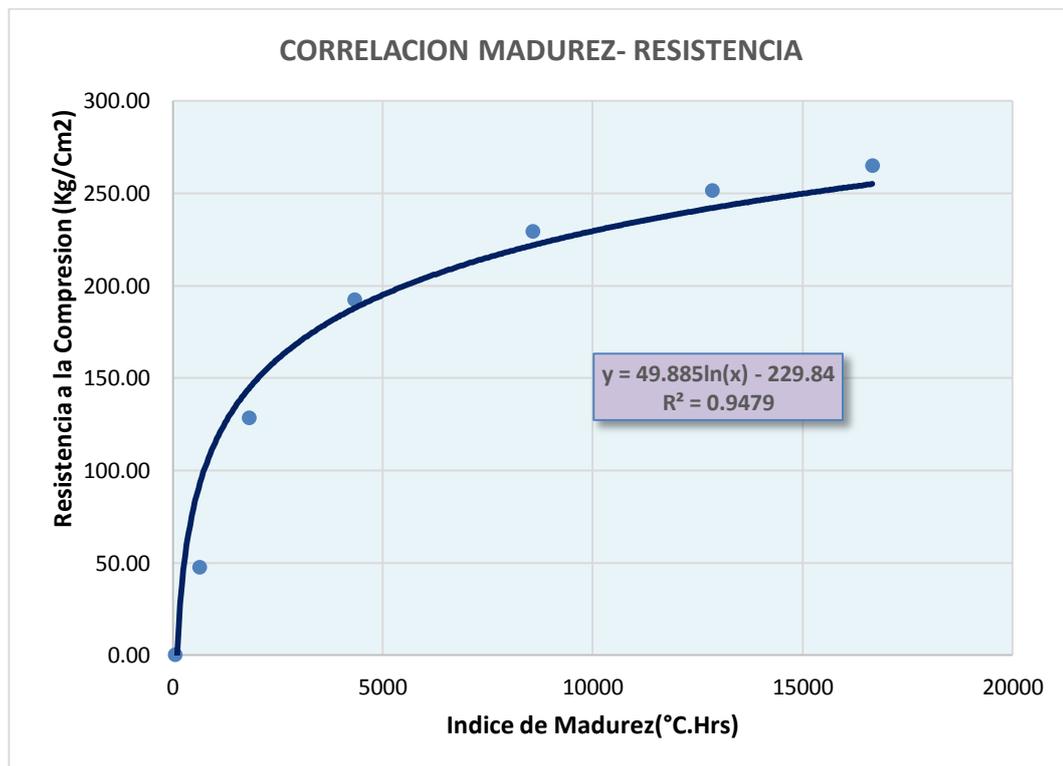
A continuación se muestran los resultados finales:

Tabla 8.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.54

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	56	56	56	0.00
1	624	640	632	47.46
3	1822	1818	1820	128.36
7	4292	4345	4318	192.44
14	8553	8574	8564	229.27
21	12701	12981	12841	251.31
28	16555	16750	16652	265.03

Fuente: Basada en la tabla 2.

Grafico 9: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.54



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 8.

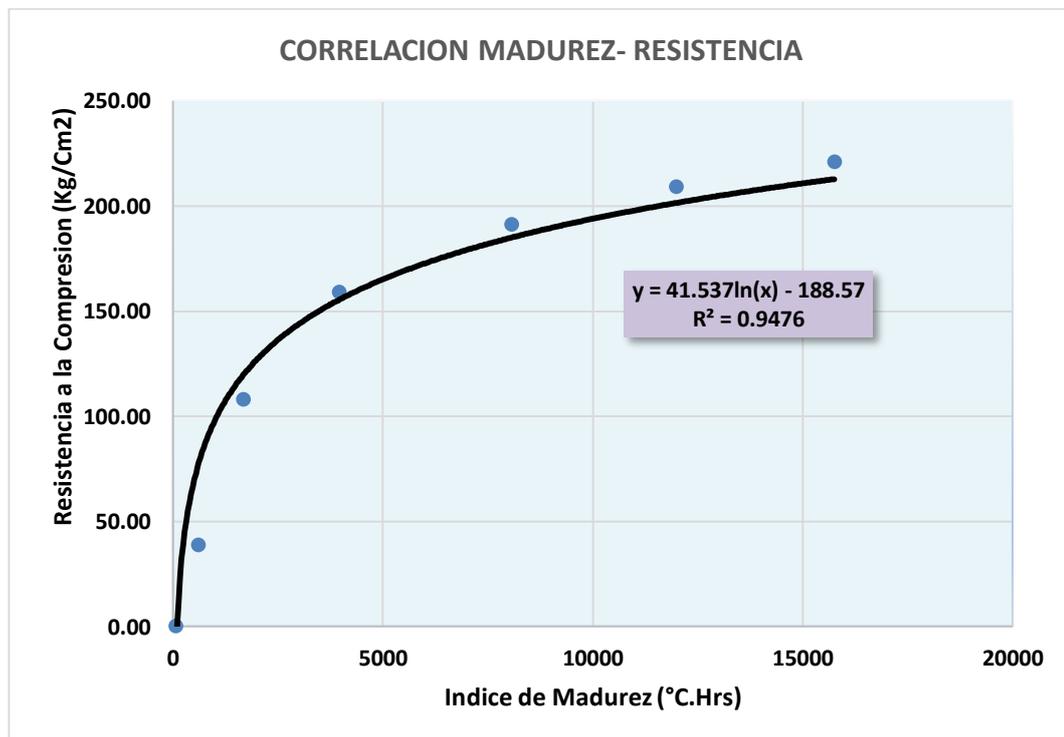
Se observa que  $R^2 = 0.9479$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

Tabla 9.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.61

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	52	52	52	0.00
1	588	600	594	38.77
3	1685	1647	1666	107.87
7	3993	3909	3951	158.92
14	8037	8071	8054	191.09
21	11893	12061	11977	209.08
28	15621	15877	15749	220.91

Fuente: Basada en la tabla 3.

Grafico 10: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.61



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 9.

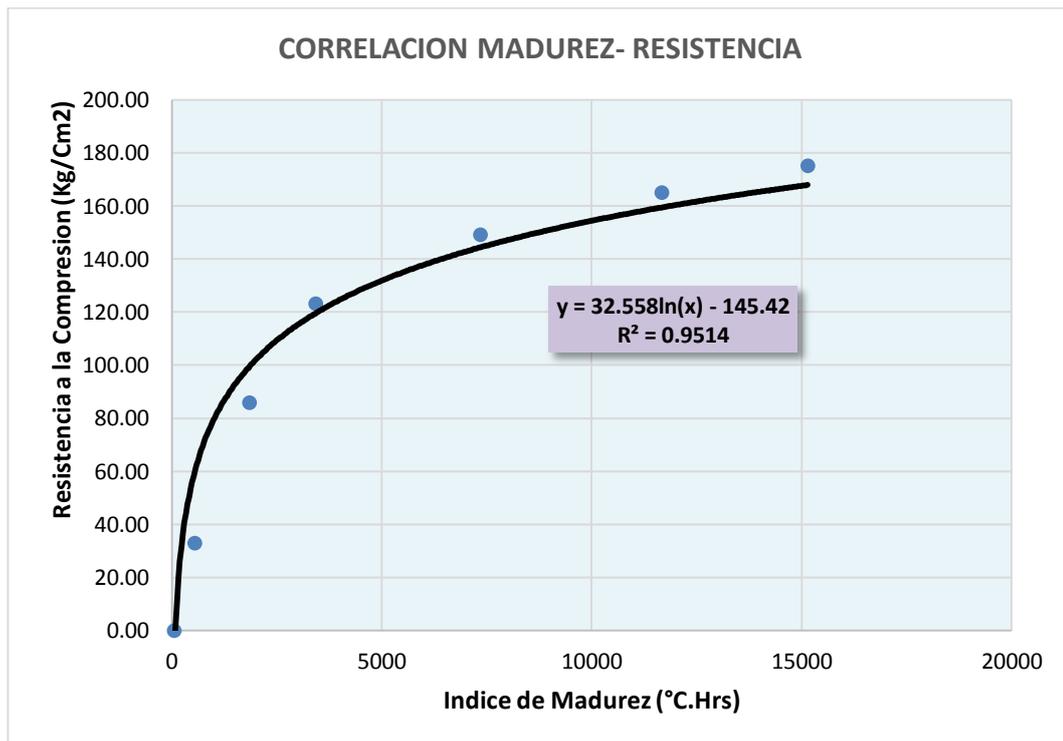
Se observa que  $R^2 = 0.9476$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

Tabla 10.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.69

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	49	49	49	0.00
1	543	529	536	32.94
3	1883	1801	1842	85.81
7	3495	3346	3421	123.34
14	7363	7332	7347	149.20
21	11731	11604	11668	165.03
28	15242	15031	15137	175.12

Fuente: Basada en la tabla 4.

Grafico 11: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C= 0.69



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 10.

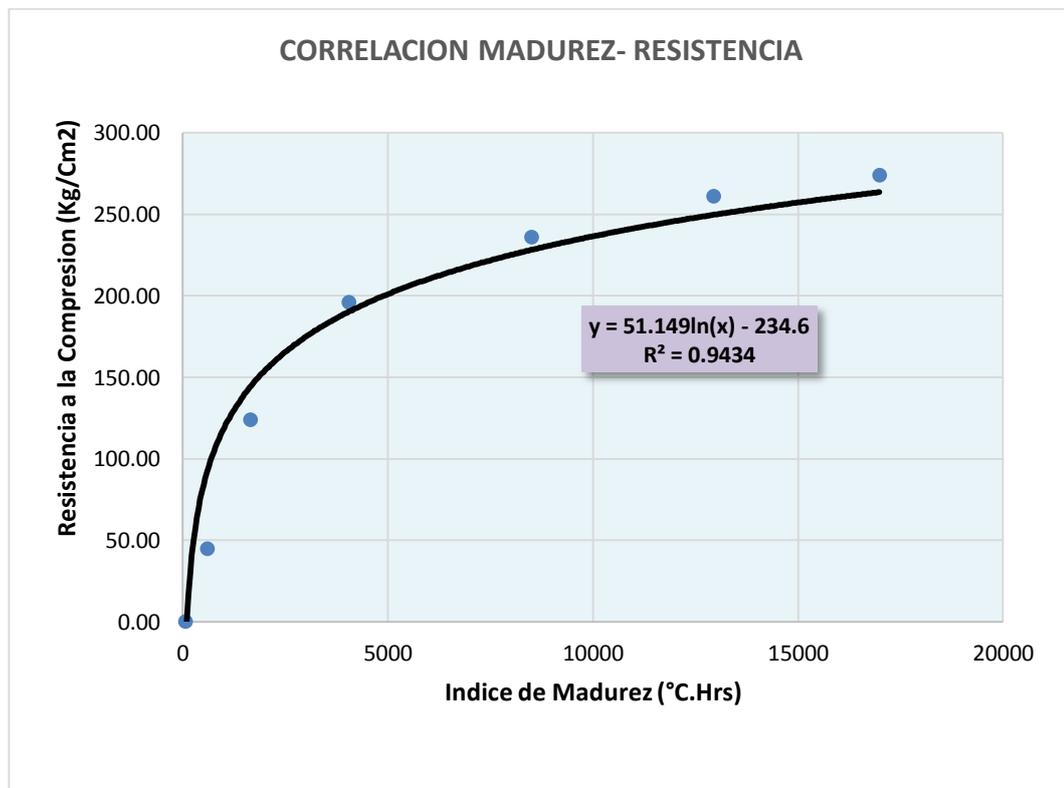
Se observa que  $R^2 = 0.9514$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

Tabla 11.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.54

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	52	52	52	0.00
1	580	597	588	44.80
3	1621	1676	1648	123.94
7	3986	4088	4037	195.94
14	8576	8428	8502	235.73
21	12949	12918	12933	260.88
28	16957	17026	16991	273.65

Fuente: Basada en la tabla 5.

Grafico 12: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.54



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 11.

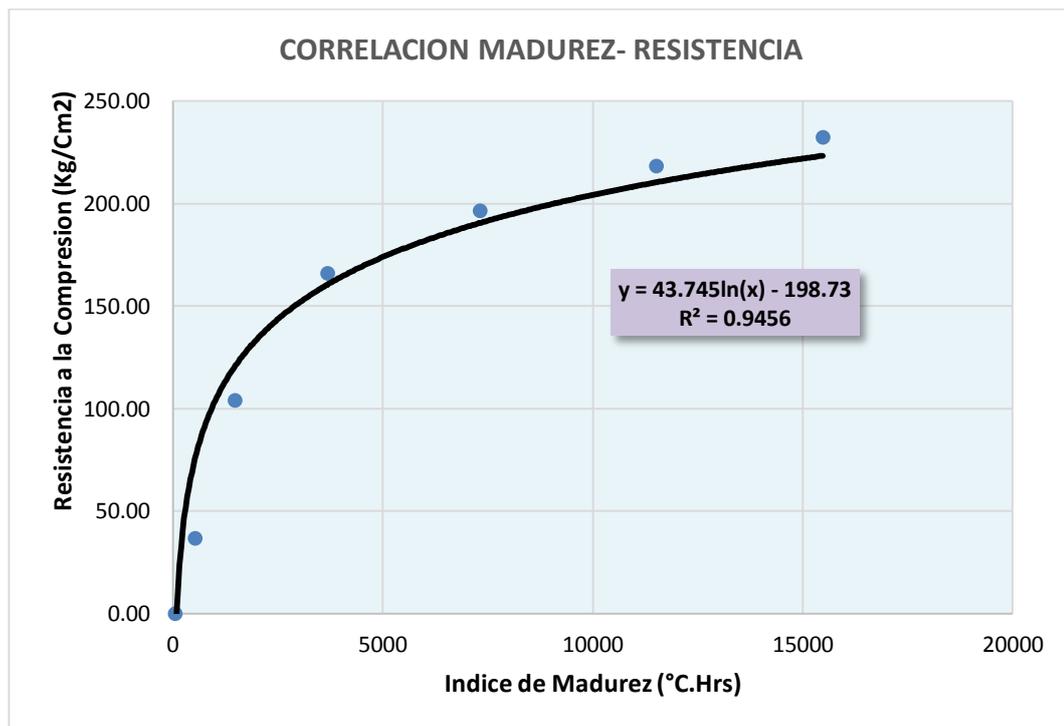
Se observa que  $R^2 = 0.9434$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

Tabla 12.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo A/C=0.61

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	51	51	51	0.00
1	524	536	530	36.87
3	1474	1462	1468	103.83
7	3695	3655	3675	165.79
14	7383	7242	7313	196.43
21	11499	11509	11504	218.12
28	15514	15424	15469	232.19

Fuente: Basada en la tabla 6.

Grafico 13: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.61



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 12.

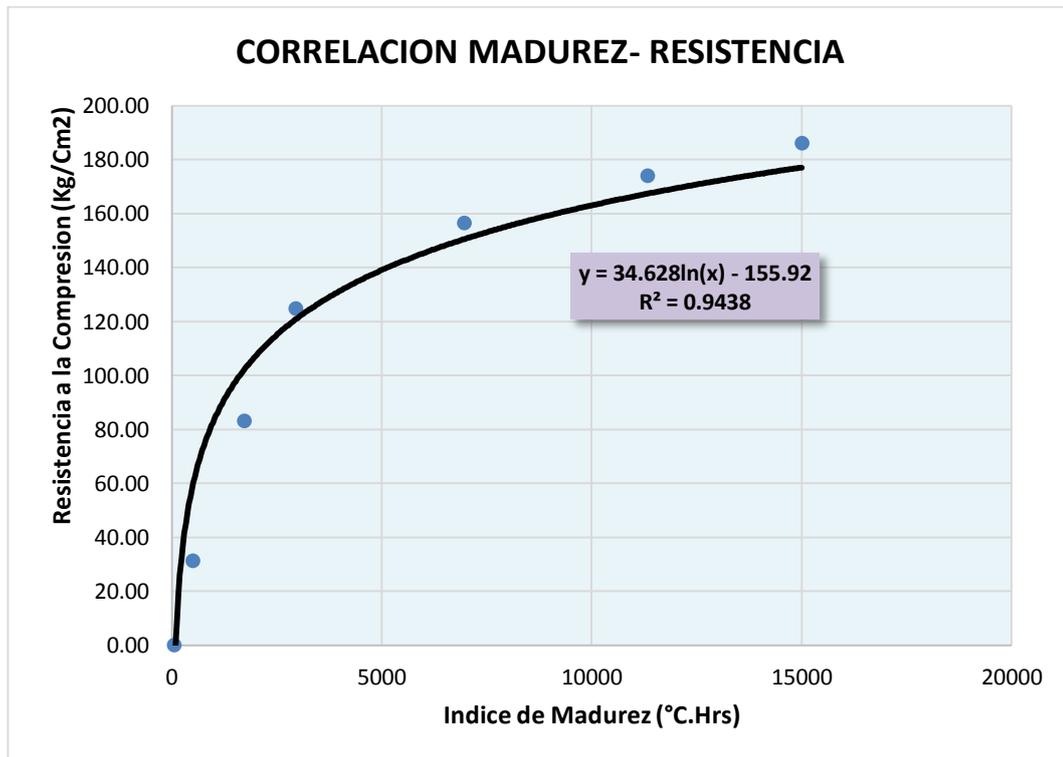
Se observa que  $R^2 = 0.9456$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

Tabla 13.- Promedios de la sumatoria de Madurez y la Resistencia a la Compresión del concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.69

Edad	Suma Madurez A	Suma Madurez B	Promedio Suma Madurez	Resistencia Promedio
	49	49	49	0.00
1	507	483	495	31.20
3	1742	1689	1716	83.14
7	3045	2857	2951	124.61
14	6981	6927	6954	156.31
21	11387	11276	11331	173.80
28	15083	14921	15002	186.02

Fuente: Basada en la tabla 7.

Grafico 14: Correlación entre el Índice de Madurez y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C= 0.69



Fuente: Basado en los datos obtenidos por la tabla 13.

Se observa que  $R^2 = 0.9438$ , es decir la correlación es positiva y alta; por lo tanto a medida que aumenta el índice de madurez aumenta la resistencia.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la revisión y análisis de los resultados se expresa la siguiente discusión:

- Según las tablas 2 y 5, para las edades de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días, podemos apreciar que los mayores valores de madurez y resistencia corresponden a la relación  $a/c= 0.54$ , tanto para el cemento portland tipo Ms como para el Ico. Esto debido a la mayor cantidad de cemento lo cual produce un incremento en el calor de hidratación, registrándose mayores valores de temperatura. En consecuencia la resistencia a la compresión del concreto depende de la madurez la cual está en función de la temperatura a una determinada edad.
- Según los gráficos: 9, 10, 11, 12, 13 y 14 los grados de correlación son altos comprobando la hipótesis planteada “si el grado de correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión es alto”. Estos resultados nos permiten tener curvas de calibración válidas y poder aplicarlas en obra para cada diseño de mezclas planteado, pero se debe investigar sobre el aspecto económico ya que los valores de seguridad estructural pueden resultar muy conservadores.
- Al comparar el menor valor de correlación  $R^2= 0.9434$  obtenido en el grafico 10 con el obtenido por la red técnica del grupo Polpaico en la investigación “aplicación del concepto de Madurez” en donde obtuvieron un  $R^2=0.98$ , no hay una diferencia significativa teniendo en cuenta que nuestro equipo electrónico utilizado es de bajo costo en comparación con el utilizado por la investigación del grupo Polpaico.
- Debemos tener en cuenta que estas ecuaciones pueden ser utilizadas para determinar la resistencia del concreto en obra, siempre y cuando se mantengan las proporciones y volúmenes de todos los componentes que integran sus respectivos diseños de mezcla; Caso contrario se deberá establecer una nueva correlación entre el índice de madurez y su resistencia a la compresión. Según la Norma ASTM C 1074.

## 5.2.- CONCLUSIONES

- Se logró preparar 84 probetas cilíndricas de concreto con a/c 0.54, 0.61, 0.69 y un asentamiento de 4", en concordancia con la norma ASTM C 192.

- Se obtuvo la ecuación de la curva de calibración índice de madurez vs la resistencia a la compresión del concreto, considerando edades de rotura 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días, para el Cemento Portland tipo Ms:

Con relación a/c de 0.54:  $f'c = 49.885 \ln (IM) - 229.84 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0.61:  $f'c = 41.537 \ln (IM) - 188.57 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0.69:  $f'c = 32.558 \ln (IM) - 145.42 \text{ Kg/ Cm}^2$

Para el Cemento Portland tipo Ico:

Con relación a/c de 0.54:  $f'c = 51.149 \ln (IM) - 234.60 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0.61:  $f'c = 43.745 \ln (IM) - 198.73 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0.69:  $f'c = 34.628 \ln (IM) - 155.92 \text{ Kg/ Cm}^2$

Estas ecuaciones pueden ser utilizadas para determinar su resistencia a compresión del concreto en obra para cada diseño de mezclas planteado.

- Los grados de correlación entre el índice de madurez y su resistencia a la compresión del concreto obtenidos fueron para el Cemento Portland tipo Ms:

Con relación a/c de 0.54:  $R^2 = 0.9479$

Con relación a/c de 0.61:  $R^2 = 0.9476$

Con relación a/c de 0.69:  $R^2 = 0.9514$

Para el Cemento Portland tipo Ico:

Con relación a/c de 0.54:  $R^2 = 0.9434$

Con relación a/c de 0.61:  $R^2 = 0.9456$

Con relación a/c de 0.69:  $R^2 = 0.9438$

Estos valores constituyen grados de correlación altos, lo cual le da validez a la curva de calibración para cada diseño planteado en la presente investigación.

### **5.3.- RECOMENDACIONES**

De la experiencia adquirida en esta investigación se expresa las siguientes recomendaciones:

- Realizar la aplicación de la curva de la calibración y su respectiva ecuación en obra para su validación, para cada diseño de mezclas planteado.
- Realizar la comparación de los tiempos de inicio de la madurez con los tiempos finales de fraguado para cada diseño planteado.
- Es importante mantener un control periódico de las dosificaciones y componentes que se utilizan en el diseño de mezclas, estos son tipo de cemento, agregado y aditivo, ya que una leve alteración de los mismos implicaría fallas en precisión de la curva de calibración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (2a ed.). Lima: San Marcos Editores.

Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. (2009). *Determinación de la Resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad Multidisciplinaria Oriental, Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Arteaga, G., Castillo, J. y Velásquez, J. (2012). *Instrumentalización de un tramo de la calle de 100 m de concreto, utilizando el equipo de madurez, en el tramo 7-B Lislique- Anamoros de la carretera longitudinal del norte*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad Multidisciplinaria Oriental, Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Carino, N. and Lew, (2001). The Maturity method. Structures Congress & Exposition, May 21-23, 2001, Washington, D.C., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang, Editor, 2001, 19 p6

National Ready Mixed. *Prueba de Resistencia a la Compresión del Concreto*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf>

Menchura, V. (2006). *Aplicación del Ensayo de Madurez a Pavimentos de Hormigón*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad Regional la Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.

Osorio, J. (2013). *Resistencia Mecánica del Concreto y Resistencia a la Compresión*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2014, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología de Concreto en el Perú* (2a ed.). Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, Fondo Editorial.

William, D. y Palmer, J. *Madurez y Resistencia del Concreto*. México. Recuperado el 01 de Diciembre de 2014, de <http://www.imcyc.com/revistact06/dic06/TECNOLOGIA.pdf>

# **ANEXOS**

## ANEXO 01

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

#### Contenido de Humedad de los Agregados

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso de la muestra en estado ambiental (g)	1000	2000
Peso de la muestra seca al horno (g)	992	1985
Peso del agua perdida (g)	8	15
Contenido de humedad (%)	0.81	0.76

#### Peso Unitario Suelto

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso de la muestra + Recipiente (Kg)	7.660	6.895
Peso del recipiente (Kg)	2.735	2.735
Peso de la muestra (Kg)	4.925	4.160
Volumen del recipiente (m3)	0.003	0.003
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1739.238	1469.082

#### Peso Unitario Compactado

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso de la muestra + Recipiente (Kg)	7.928	7.305
Peso del recipiente (Kg)	2.735	2.735
Peso de la muestra (Kg)	5.193	4.570
Volumen del recipiente (m3)	0.003	0.003
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1833.881	1613.872

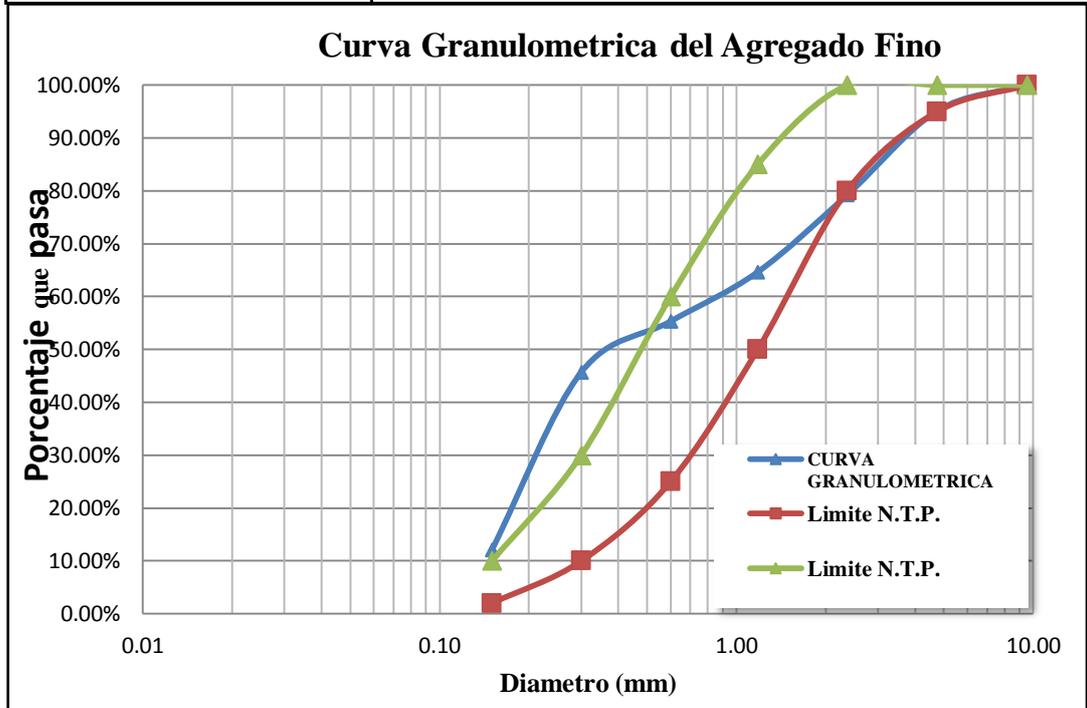
### Porcentaje de Absorción del Agregado Fino

Peso de la arena superficialmente seca (gr)	500.00
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua (gr)	940.00
Peso del balón (gr)	155.00
Peso del agua (gr)	285.00
Peso de la arena seca al horno (gr)	490.00
Volumen del balón (cm <sup>3</sup> )	500.00
Peso específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.28
Peso específico de masa superficialmente seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.33
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.39
<b>Porcentaje de Absorción (%)</b>	<b>2.04</b>

### Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

Peso de la muestra secada al horno (gr)	1990.00
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	2025.00
Peso de la muestra saturada en agua (gr)	1214.00
Peso específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.45
Peso específico de masa superficialmente seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.56
<b>Porcentaje de Absorción (%)</b>	<b>1.76</b>

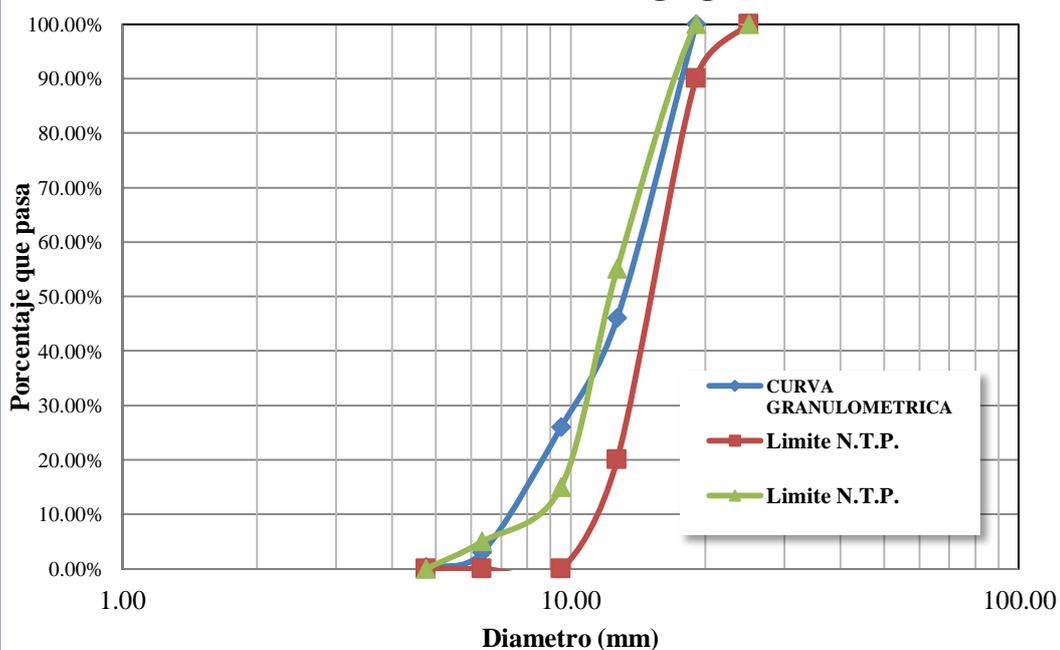
PRUEBA GRANULOMÉTRICA (NTP 400.012)					
AGREGADO FINO					
Peso Original (gr)		1000.00			
Perd. Por Lavado (gr)		5.00			
Peso Tamizado(gr)		995.00			
ABERTURA MALLA		Peso	%	% Ret	%
Pulg/malla	mm	Retenido	Retenido	Acumulado	Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.75	48.41	4.87%	4.87%	95.13%
N°8	2.36	158.40	15.92%	20.78%	79.22%
N°16	1.18	144.85	14.56%	35.34%	64.66%
N°30	0.60	92.83	9.33%	44.67%	55.33%
N°50	0.30	95.84	9.63%	54.30%	45.70%
N°100	0.15	334.17	33.58%	87.89%	12.11%
Plato		120.5	12.11%	100.00%	0.00%
Sumatoria		995.00	100.00%	<b>M.F.</b>	<b>2.48</b>



**PRUEBA GRANULOMÉTRICA ( NTP 400.012 )**  
**AGREGADO GRUESO**

Peso Original (gr)		2000.00			
Perd. Por Lavado (gr)		0.00			
Peso Tamizado(gr)		2000.00			
ABERTURA MALLA		Peso	%	% Ret.	%
Pulg/malla	mm	Retenido	Retenido	Acumulado	Pasa
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.70	1080.00	54.00%	54.00%	46.00%
3/8"	9.53	400.00	20.00%	74.00%	26.00%
1/4"	6.35	460.00	23.00%	97.00%	3.00%
Nº4	4.76	55.00	2.75%	99.75%	0.25%
Plato		5	0.25%	100.00%	0.00%
Sumatoria		2000.00	100.00%	<b>T.M.N.</b>	<b>1/2"</b>

**Curva Granulometrica del Agregado Grueso**



## ANEXO 02

### DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
	<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>	
Módulo de Fineza	2.48	5.02	
Tamaño Max. Nominal		1/2"	
% Contenido de Humedad	0.81	0.76	
% Absorción	2.04	1.76	
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	2279.07	2453.76	
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1739.24	1469.08	
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1833.88	1613.87	
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo	Cemento Portland tipo Ms		
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	2940		
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C	0.54		
Slump	3" a 4"		
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (lts)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	400	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.136
Arena (Kg)	550	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.241
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (lts)	216		
Cemento (Kg)	400		
Piedra (Kg)	936		
Arena ( Kg)	550		
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena	555		
Humedad piedra	943		
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena	-6.79		
Agua que aporta la piedra	-9.39		
Agua de obra	232.18		
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)	400	1	
Arena ( Kg)	555	1.39	
Piedra (Kg)	943	2.36	
Agua (Kg)	232	0.58	
<b>Peso de probeta</b>	<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>	<b>0.00657277</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)	2.63		
Arena ( Kg)	3.65		
Piedra (Kg)	6.20		
Agua (Kg)	1.52		

## DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
		<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Módulo de Fineza		2.48	5.02
Tamaño Max. Nominal			1/2"
% Contenido de Humedad		0.81	0.76
% Absorción		2.04	1.76
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2279.07	2453.76
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1739.24	1469.08
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1833.88	1613.87
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo		Cemento Portland tipo Ms	
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2940	
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C		0.61	
Slump		3" a 4"	
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (Its)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	354	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.120
Arena (Kg)	586	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.257
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (Its)		216	
Cemento (Kg)		354	
Piedra (Kg)		936	
Arena ( Kg)		586	
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena		591	
Humedad piedra		943	
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena		-7.23	
Agua que aporta la piedra		-9.39	
Agua de obra		232.62	
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)		354	1
Arena ( Kg)		591	1.67
Piedra (Kg)		943	2.66
Agua (Kg)		233	0.66
<b>Peso de probeta</b>	<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>	<b>0.00660066</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)		2.34	
Arena ( Kg)		3.90	
Piedra (Kg)		6.22	
Agua (Kg)		1.54	

## DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
		<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Módulo de Fineza		2.48	5.02
Tamaño Max. Nominal			1/2"
% Contenido de Humedad		0.81	0.76
% Absorción		2.04	1.76
Peso Especifico (Kg/m <sup>3</sup> )		2279.07	2453.76
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1739.24	1469.08
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1833.88	1613.87
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo		Cemento Portland tipo Ms	
Peso Especifico (Kg/m <sup>3</sup> )		2940	
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C		0.69	
Slump		3" a 4"	
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (Its)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	313	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.106
Arena (Kg)	618	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.271
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (Its)		216	
Cemento (Kg)		313	
Piedra (Kg)		936	
Arena ( Kg)		618	
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena		623	
Humedad piedra		943	
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena		-7.63	
Agua que aporta la piedra		-9.39	
Agua de obra		233.21	
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)		313	1
Arena ( Kg)		623	1.99
Piedra (Kg)		943	3.01
Agua (Kg)		233	0.74
<b>Peso de probeta</b>	<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>	<b>0.006628788</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)		2.07	
Arena ( Kg)		4.13	
Piedra (Kg)		6.25	
Agua (Kg)		1.54	

## DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
		<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Módulo de Fineza		2.48	5.02
Tamaño Max. Nominal			1/2"
% Contenido de Humedad		0.81	0.76
% Absorción		2.04	1.76
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2279.07	2453.76
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1739.24	1469.08
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1833.88	1613.87
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo		Cemento Portland tipo Ico	
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2960	
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C		0.54	
Slump		3" a 4"	
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (lts)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	400	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.135
Arena (Kg)	552	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.242
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (lts)		216	
Cemento (Kg)		400	
Piedra (Kg)		936	
Arena ( Kg)		552	
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena		557	
Humedad piedra		943	
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena		-6.82	
Agua que aporta la piedra		-9.39	
Agua de obra		232.21	
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)		400	1
Arena ( Kg)		557	1.39
Piedra (Kg)		943	2.36
Agua (Kg)		232	0.58
<b>Peso de probeta</b>	<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>	<b>0.006566604</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)		2.63	
Arena ( Kg)		3.66	
Piedra (Kg)		6.19	
Agua (Kg)		1.52	

## DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
		<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Módulo de Fineza		2.48	5.02
Tamaño Max. Nominal			1/2"
% Contenido de Humedad		0.81	0.76
% Absorción		2.04	1.76
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2279.07	2453.76
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1739.24	1469.08
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1833.88	1613.87
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo		Cemento Portland tipo Ico	
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2960	
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C		0.61	
Slump		3" a 4"	
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (Its)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	354	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.120
Arena (Kg)	588	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.258
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (Its)		216	
Cemento (Kg)		354	
Piedra (Kg)		936	
Arena ( Kg)		588	
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena		593	
Humedad piedra		943	
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena		-7.26	
Agua que aporta la piedra		-9.39	
Agua de obra		232.64	
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)		354	1
Arena ( Kg)		593	1.67
Piedra (Kg)		943	2.66
Agua (Kg)		233	0.66
<b>Peso de probeta</b>	<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>	<b>0.006594442</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)		2.33	
Arena ( Kg)		3.91	
Piedra (Kg)		6.22	
Agua (Kg)		1.54	

### DISEÑO DE MEZCLAS

<b>Características de los Agregados</b>			
		<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Módulo de Fineza		2.48	5.02
Tamaño Max. Nominal			1/2"
% Contenido de Humedad		0.81	0.76
% Absorción		2.04	1.76
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2279.07	2453.76
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1739.24	1469.08
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1833.88	1613.87
<b>Características del Cemento</b>			
Tipo		Cemento Portland tipo Ico	
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )		2960	
<b>Requerimiento del Concreto</b>			
Relación A/C		0.69	
Slump		3" a 4"	
<b>Análisis según método ACI</b>			
Agua (Its)	216	Vaire (m <sup>3</sup> )	0.025
Cemento (Kg)	313	Vagua (m <sup>3</sup> )	0.216
Piedra (Kg)	936	Vcemento (m <sup>3</sup> )	0.106
Arena (Kg)	618	Vpiedra (m <sup>3</sup> )	0.381
		Varena (m <sup>3</sup> )	0.272
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup></b>			
Agua (Its)		216	
Cemento (Kg)		313	
Piedra (Kg)		936	
Arena ( Kg)		618	
<b>Corrección por Humedad</b>			
Humedad arena		623	
Humedad piedra		943	
<b>Aporte o Disminución de Agua</b>			
Agua que aporta la arena		-7.63	
Agua que aporta la piedra		-9.39	
Agua de obra		233.02	
<b>Cantidad de Material x m<sup>3</sup> (Peso en obra)</b>		<b>Proporción</b>	
Cemento (Kg)		313	1
Arena ( Kg)		623	1.99
Piedra (Kg)		943	3.01
Agua (Kg)		233	0.74
<b>Peso de probeta</b>		<b>14 Kg</b>	<b>Factor</b>
			<b>0.006628788</b>
<b>Material Requerido para 1 probeta</b>			
Cemento (Kg)		2.07	
Arena ( Kg)		4.13	
Piedra (Kg)		6.25	
Agua (Kg)		1.54	

### ANEXO 03

#### RESUMEN FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN, CURADO, ENSAYO DE COMPRESIÓN.



Determinación del asentamiento del concreto en estado fresco.



(a)

(b)

Preparación de la mezcla para diferentes relaciones A/C de 0.54, 0.61 y 0.69 (a);  
Llenado de probetas chuseado con varilla de 5/8" (b)



(a)

(b)

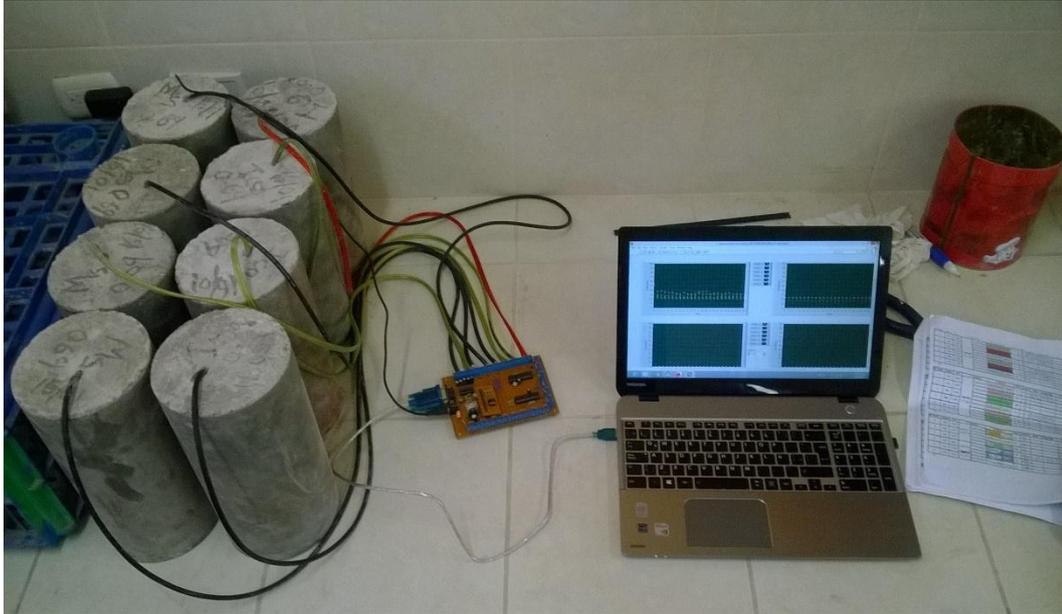
Curado por inmersión en agua a una temperatura de  $23\pm 2$  °C (a); Midiendo el diámetro de cada probeta a ensayar (b).



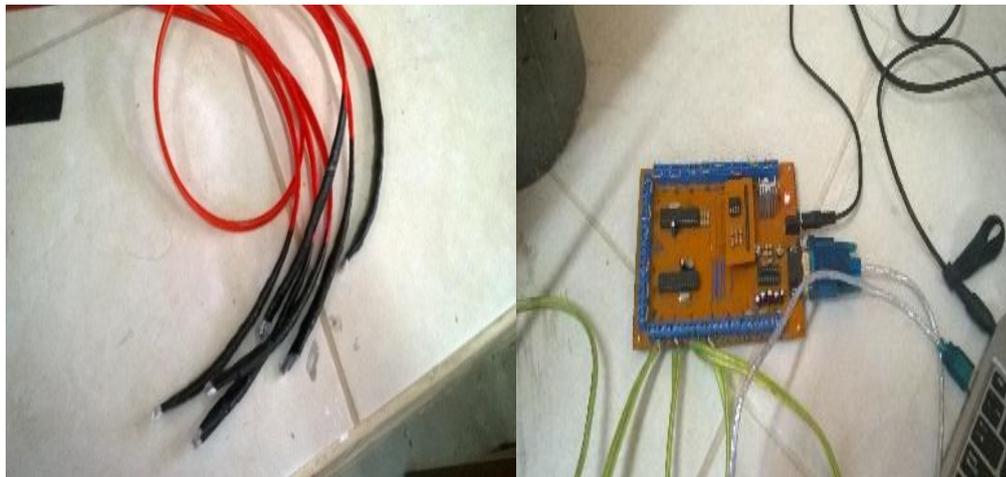
Rotura de probetas a diferentes edades 24 horas, 3, 7, 14, 21 y 28 días con el técnico del laboratorio de Ensayo de Materiales UPAO.

## ANEXO 04

### PROCESAMIENTO DE DATOS Y EQUIPO ELECTRÓNICO.



Procesando datos con ayuda de Software de supervisión Lab View 2013



Cable coaxial, sensor LM-35 y tarjeta electrónica.



**ANEXO 05:****PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO****Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.54**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1A	12/01/2015	13/01/2015	1	15.00	176.71	8296.53	46.95	47.46
1B	12/01/2015	13/01/2015		15.00	176.71	8478.54	47.98	
2A	12/01/2015	15/01/2015	3	15.00	176.71	22740.81	128.69	128.36
2B	12/01/2015	15/01/2015		15.00	176.71	22624.18	128.03	
3A	12/01/2015	19/01/2015	7	15.00	176.71	33907.11	191.87	192.44
3B	12/01/2015	19/01/2015		15.10	179.08	34562.44	193.00	
4A	12/01/2015	26/01/2015	14	15.10	179.08	41242.12	230.30	229.27
4B	12/01/2015	26/01/2015		15.20	181.46	41416.43	228.24	
5A	12/01/2015	02/02/2015	21	15.20	181.46	45374.07	250.05	251.31
5B	12/01/2015	02/02/2015		15.10	179.08	45230.24	252.57	
6A	12/01/2015	09/02/2015	28	15.10	179.08	47644.23	266.05	265.03
6B	12/01/2015	09/02/2015		15.20	181.46	47905.44	264.00	

**Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.61**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1A	14/01/2015	15/01/2015	1	15.00	176.71	6812.17	38.55	38.77
1B	14/01/2015	15/01/2015		15.00	176.71	6891.69	39.00	
2A	14/01/2015	17/01/2015	3	15.00	176.71	19499.95	110.35	107.87
2B	14/01/2015	17/01/2015		15.00	176.71	18625.23	105.40	
3A	14/01/2015	21/01/2015	7	15.00	176.71	28400.83	160.72	158.92
3B	14/01/2015	21/01/2015		15.10	179.08	28137.05	157.12	
4A	14/01/2015	28/01/2015	14	15.00	176.71	33606.71	190.18	191.09
4B	14/01/2015	28/01/2015		15.20	181.46	34840.32	192.00	
5A	14/01/2015	04/02/2015	21	15.10	179.08	37069.56	207.00	209.08
5B	14/01/2015	04/02/2015		15.10	179.08	37812.74	211.15	
6A	14/01/2015	11/02/2015	28	15.00	176.71	38860.30	219.90	220.91
6B	14/01/2015	11/02/2015		15.00	176.71	39215.48	221.91	

**Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.69**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm2)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm2)	Resistencia Promedio (Kg/Cm2)
1A	15/01/2015	16/01/2015	1	15.10	179.08	6051.11	33.79	32.94
1B	15/01/2015	16/01/2015		15.20	181.46	5823.05	32.09	
2A	16/01/2015	19/01/2015	3	15.20	181.46	15632.78	86.15	85.81
2B	16/01/2015	19/01/2015		15.10	179.08	15305.97	85.47	
3A	15/01/2015	22/01/2015	7	15.10	179.08	22238.15	124.18	123.34
3B	15/01/2015	22/01/2015		15.20	181.46	22228.85	122.50	
4A	15/01/2015	29/01/2015	14	15.10	179.08	26539.65	148.20	149.20
4B	15/01/2015	29/01/2015		15.10	179.08	26897.82	150.20	
5A	16/01/2015	06/02/2015	21	15.20	181.46	30127.80	166.03	165.03
5B	16/01/2015	06/02/2015		15.20	181.46	29764.88	164.03	
6A	16/01/2015	13/02/2015	28	15.10	179.08	31514.50	175.98	175.12
6B	16/01/2015	13/02/2015		15.10	179.08	31206.48	174.26	

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.54**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1A	13/01/2015	14/01/2015	1	15.20	181.46	8074.97	44.50	44.80
1B	13/01/2015	14/01/2015		14.90	174.37	7864.09	45.10	
2A	13/01/2015	16/01/2015	3	15.20	181.46	22308.69	122.94	123.94
2B	13/01/2015	16/01/2015		15.20	181.46	22671.61	124.94	
3A	13/01/2015	20/01/2015	7	15.20	181.46	35388.33	195.02	195.94
3B	13/01/2015	20/01/2015		15.20	181.46	35720.40	196.85	
4A	13/01/2015	27/01/2015	14	15.20	181.46	42871.74	236.26	235.73
4B	13/01/2015	27/01/2015		15.10	179.08	42117.82	235.19	
5A	13/01/2015	03/02/2015	21	15.20	181.46	47239.48	260.33	260.88
5B	13/01/2015	03/02/2015		15.20	181.46	47437.27	261.42	
6A	13/01/2015	10/02/2015	28	15.10	179.08	48772.44	272.35	273.65
6B	13/01/2015	10/02/2015		15.00	176.71	48586.41	274.94	

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.61**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1A	20/01/2015	21/01/2015	1	15.20	181.46	6583.37	36.28	36.87
1B	20/01/2015	21/01/2015		15.20	181.46	6795.68	37.45	
2A	20/01/2015	23/01/2015	3	14.90	174.37	18409.98	105.58	103.83
2B	20/01/2015	23/01/2015		15.10	179.08	18278.70	102.07	
3A	20/01/2015	27/01/2015	7	15.20	181.46	30118.73	165.98	165.79
3B	20/01/2015	27/01/2015		15.20	181.46	30047.96	165.59	
4A	19/01/2015	02/02/2015	14	15.20	181.46	35665.96	196.55	196.43
4B	19/01/2015	02/02/2015		15.10	179.08	35155.19	196.31	
5A	19/01/2015	09/02/2015	21	15.10	179.08	38994.67	217.75	218.12
5B	19/01/2015	09/02/2015		15.20	181.46	39645.38	218.48	
6A	19/01/2015	16/02/2015	28	15.00	176.71	41337.77	233.92	232.19
6B	19/01/2015	16/02/2015		15.00	176.71	40726.35	230.46	

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C=0.69**

N° Probeta	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad de Ensayo (días)	Diámetro (Cm)	Sección (Cm2)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/Cm2)	Resistencia Promedio (Kg/Cm2)
1A	15/01/2015	16/01/2015	1	15.20	181.46	5697.84	31.40	31.20
1B	15/01/2015	16/01/2015		15.20	181.46	5623.45	30.99	
2A	16/01/2015	19/01/2015	3	15.20	181.46	15224.49	83.90	83.14
2B	16/01/2015	19/01/2015		15.20	181.46	14948.67	82.38	
3A	15/01/2015	22/01/2015	7	15.00	176.71	22426.70	126.91	124.61
3B	15/01/2015	22/01/2015		15.10	179.08	21903.27	122.31	
4A	15/01/2015	29/01/2015	14	15.00	176.71	27435.99	155.26	156.31
4B	15/01/2015	29/01/2015		15.20	181.46	28554.54	157.36	
5A	16/01/2015	06/02/2015	21	15.00	176.71	31024.97	175.57	173.80
5B	16/01/2015	06/02/2015		15.00	176.71	30399.42	172.03	
6A	16/01/2015	13/02/2015	28	14.90	174.37	32458.98	186.15	186.02
6B	16/01/2015	13/02/2015		15.00	176.71	32850.39	185.90	

**ANEXO 06:**

**APLICACIÓN DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO SPSS v.**

**Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C=0.54**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,784	18,181	1	5	,008	67,948	,014	
Logarítmico	,948	91,517	1	5	,000	-230,393	49,950	
Cuadrático	,940	31,264	2	4	,004	29,459	,038	-1,496E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00. La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.

**Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.61**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,774	17,143	1	5	,009	46,519	,010	
Logarítmico	,951	97,054	1	5	,000	-145,026	32,511	
Cuadrático	,936	29,366	2	4	,004	20,131	,028	-1,224E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00.

La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.

**Concreto con Cemento Portland tipo Ms A/C = 0.69**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,774	17,143	1	5	,009	46,519	,010	
Logarítmico	,951	97,054	1	5	,000	-145,026	32,511	
Cuadrático	,936	29,366	2	4	,004	20,131	,028	-1,224E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00.

La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.54**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,783	18,073	1	5	,008	69,392	,015	
Logarítmico	,943	83,399	1	5	,000	-234,595	51,149	
Cuadrático	,939	30,554	2	4	,004	30,701	,039	-1,504E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00. La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.61**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,778	17,487	1	5	,009	58,947	,014	
Logarítmico	,947	89,119	1	5	,000	-199,074	43,793	
Cuadrático	,937	29,656	2	4	,004	25,820	,036	-1,529E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00.

La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.

**Concreto con Cemento Portland tipo Ico A/C = 0.69**

**Resumen de modelo y estimaciones de parámetro**

Variable dependiente: Resistencia Promedio

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,782	17,931	1	5	,008	47,418	,011	
Logarítmico	,944	84,532	1	5	,000	-156,339	34,678	
Cuadrático	,936	29,433	2	4	,004	20,576	,030	-1,310E-6
Exponencial <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.

La variable independiente es Madurez.

a. La variable dependiente (Resistencia Promedio) contiene valores no positivos. El valor mínimo es ,00.

La transformación de logaritmo no se puede aplicar. Los modelos Compuesto, de Potencia, S, de Crecimiento, Exponencial y Logístico no se pueden calcular para esta variable.