

	<b>GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>	<b>Código</b>	FO-SB- 12/v0
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>	<b>Página</b>	1/1

**RESUMEN TRABAJO DE GRADO**

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): OSCAR ANDRES APELLIDOS: ALVARAN RIVERA

NOMBRE(S): ORLANDO HUMBERTO APELLIDOS: PÉREZ SILVA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CARMEN TERESA APELLIDOS: MEDRANO LINDARTE

CODIRECTOR:

NOMBRE(S): CIRO ALFONSO APELLIDOS: MELO PABÓN

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS, S.A

RESUMEN

Este proyecto trata acerca de la determinación de la resistencia mecánica a la compresión del concreto mediante el método de la madurez para un concreto de 3000 PSI con aditivo retardante en la empresa de concreto Premezclado Concretos y Morteros S.A. Para ello, se realizó una investigación tipo experimental ya que la variable dependiente (Resistencia a la compresión) se pudo ver afectada directamente por el índice de madurez (Variable independiente), la cual se expresó en grados centígrados/días. La recolección de información se obtuvo mediante la curva de madurez. La población, corresponde a la mezcla de concreto para una resistencia de 3000 psi con aditivo retardante. El muestreo, esta conformada por el número de sensores de temperatura para registrar el historial de temperatura del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez. Se logró, determinar la resistencia mecánica a la compresión. Se diseñaron y elaboraron mezclas de concreto de 3000 psi con aditivo redartante y sin aditivo. Se realizaron perfiles de temperatura, para calcular el índice de madurez mediante el sistema adiabático automatizado. Seguidamente, se determinó la resistencia mecánica a la compresión usando la norma NTC 673-2010. Posteriormente, se estableció la ecuación de Resistencia-Madurez para una Mezcla en la cual se correlacionó la madurez y la resistencia a la compresión por la norma NTC 673-10. Finalmente, se dispuso la resistencia mecánica del concreto mediante el método de la Madurez en la obra colegio gremios unidos sede simón bolívar del municipio de san José de Cúcuta.

PALABRAS CLAVE: compresión del concreto, resistencia mecánica, concreto de 3000 PSI.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 127 PLANOS:      ILUSTRACIONES:      CD ROOM: 1

Elaboró		Revisó		Aprobó	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
<b>F</b> <b>echa</b>	24/10/2014	<b>F</b> <b>echa</b>	05/12/2014	<b>F</b> <b>echa</b>	05/12/2014

COPIA NO CONTROLADA

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL  
CONCRETO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE  
3000 PSI CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO  
PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS S.A

OSCAR ANDRES ALVARAN RIVERA  
ORLANDO HUMBERTO PÉREZ SILVA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL  
CONCRETO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE  
3000 PSI CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO  
PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS S.A

OSCAR ANDRES ALVARAN RIVERA  
ORLANDO HUMBERTO PÉREZ SILVA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Civil

Directora:

CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE

Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

## ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE MARZO DE 2020 HORA: 5:00 p. m.

LUGAR: SALA 5 – TERCER PISO EDIFICIO CREAD - UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "DETERMINACION DE LA RESISTENCIA MECANICA A LA COMPRESION DEL CONCRETO MEDIANTE EL METODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI, CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS, S. A."

JURADOS: ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO

DIRECTOR: INGENIERA CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
OSCAR ANDRES ALVARAN RIVERA	2110097	4,8	CUATRO, OCHO
ORLANDO HUMBERTO PEREZ SILVA	2110060	4,8	CUATRO, OCHO

## MERITORIA

  
ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ

  
ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO

Vo. Bo.   
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA  
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta, 22 de Mayo del 2020

Señores  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS  
Ciudad

Cordial saludo:

Yo, OSCAR ANDRES ALVARAN RIVERA identificado con la C.C. N° 1.127.045.309 y ORLANDO HUMBERTO PÉREZ SILVA identificado con la C.C N° 88.269.036 autores de la tesis titulada "DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE EL METODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI, CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS S.A" presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL; autorizamos a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que "**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Oscar Alvaran.  
C.C. 1.127.045.309

FIRMA Y CEDULA

Orlando Humberto Pérez  
C.C. 88.269.036

FIRMA Y CEDULA

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	17
1. Problema	19
1.1 Título	19
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Formulación del Problema	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 Justificación	21
1.6 Alcances y Limitaciones	22
1.7 Limitaciones	22
1.8 Delimitaciones	23
1.8.1 Delimitación espacial	23
1.8.2 Delimitación temporal	23
1.8.3 Delimitación conceptual	23
2. Marco Referencial	25
2.1 Antecedentes	25
2.1.1 Antecedentes empíricos	25
2.1.2 Antecedentes	25
2.1.2.1 Internacionales	25
2.1.2.2 Nacionales	26
2.1.2.3 Regionales	26

2.2 Marco Teórico	27
2.2.1 Método de madurez.	27
2.2.2 Madurez del concreto	27
2.2.3 Fundamentos Teóricos del Método de Madurez	27
2.2.4 Teoría de nurse-saúl	28
2.2.5 Perfil térmico.	29
2.3 Marco Conceptual	29
2.3.1 Resistencia mecánica a la compresión del concreto. (RMC)	29
2.3.2 Curado del concreto	30
2.3.3 Hidratación del cemento	30
2.3.4 Calor de hidratación	30
2.3.5 Aditivos retardantes	31
2.3.6 Fraguado	31
2.3.7 Tiempos de fraguado	31
2.3.8 Relación agua/materiales cementicios	32
2.3.9 Ensayo de asentamiento	32
2.4 Marco Contextual	32
2.5 Marco Legal	32
3. Diseño Metodológico	36
3.1 Tipo de Investigación	36
3.2 Población	36
3.3 Muestra	36
3.4 Planeación del Diseño del Experimento	36
3.5 Fases del Proyecto	38

3.5.1 Fase 1. Diseño de concreto premezclado de 3000 Psi con y sin aditivo retardante	40
3.5.1.1 Agregados pétreos	40
3.5.1.2 Agua	40
3.5.1.3 Cemento	40
3.5.1.4 Aditivos	40
3.5.1.5 Obtención de la materia prima	40
3.5.1.6 Diseño de mezclas	41
3.5.2 Fase 2. Correlación entre la resistencia a la compresión y madurez del concreto en condiciones de laboratorio	41
3.5.2.1 Elaboración y curado de los especímenes de concretos para determinar la resistencia mecánica a la compresión por la norma	41
3.5.2.2 Ensayo de la resistencia a compresión por la norma	44
3.5.2.3 Resistencia Mecánica a la compresión por el método de la madurez	45
3.5.2.4 Materiales para el diseño del prototipo Arduino	48
3.5.2.5 Cálculo de la madurez del Concreto	51
3.5.2.6 Determinación de la ecuación resistencia-madurez	52
3.5.3 Fase 3. Aplicación del método de la madurez en obra	52
3.5.3.1 Instalación de los sensores in situ.	52
3.5.3.2 Cálculo del índice de madurez	52
3.5.3.3 Estimación de la resistencia usando la Ecuación de la curva de madurez calculada en el laboratorio	53
3.5.4 Fase 4. Resultados obtenidos	53
3.5.4.1 Análisis, interpretación y socialización de los resultados	53
4. Resultados y Análisis	54

4.1 Diseño de Concreto Premezclado de 3000 Psi con y sin Aditivo Retardante	54
4.1.1 Diseño de mezclas	54
4.2 Correlación Entre la Resistencia a la Compresión y Madurez del Concreto en condiciones de Laboratorio	55
4.2.1 Determinación de la RMC usando la norma NTC 673- 2010	55
5. Conclusiones	84
6. Recomendaciones	86
Referencias Bibliográficas	87
Anexos	89

## Lista de Tablas

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Grados de libertad	38
Tabla 2. Caracterización de los agregados	54
Tabla 3. Diseño de Mezclas, concreto de 3000 psi con aditivo retardante	55
Tabla 4. Diseño de Mezclas, concreto de 3000 psi sin aditivo retardante	55
Tabla 5. Resistencias a la Compresión para el diseño de 3000 psi con aditivo retardante	56
Tabla 6. Resistencias a la Compresión para el diseño de 3000 psi sin aditivo retardante	57
Tabla 7. Concreto 3000 psi laboratorio. Temperatura promedio vs tiempo durante 28 días	59
Tabla 8. Cálculo de valores de madurez sensor 2- Laboratorio para los primeros 10 intervalos	62
Tabla 9. Cálculo de valores de madurez sensor 3- Laboratorio para los primeros 10 intervalos	63
Tabla 10. Valores de madurez promedio para las edades de 1,2,3,4,5,6,7,14 y 28 días para el concreto del laboratorio	63
Tabla 11. Validación del modelo	66
Tabla 12. Análisis de varianza del modelo	66
Tabla 13. Coeficiente de determinación y correlación	67
Tabla 14. Valores del índice de madurez (M) promedio, RMC (NTC 673-10), RCM (M) para mezcla de concreto con aditivo retardante 3000 Psi	67
Tabla 15. Prueba shapiro- wilk	70
Tabla 16. Prueba de Ljung- Box	71
Tabla 17. Banda de Calibración ( $\pm 10\%$ ) Concreto laboratorio	73
Tabla 18. 3000 psi Obra, temperatura vs tiempo durante 28 días	75

Tabla 19. Cálculo de valores	79
Tabla 20. Madurez promedio Vs Edad en días para concreto de 3000 psi en Obra	79
Tabla 21. Resistencia del concreto instalado en Obra	81

## Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. Diagrama de bloques de las fases a realizar en la investigación	39
Figura 2. Asentamiento del Concreto	42
Figura 3. Impregnación de ACPM	42
Figura 4. Elaboración de especímenes de concreto	43
Figura 5. Especímenes de concreto terminados	43
Figura 6. Curado de cilindros en tanque de agua	44
Figura 7. Ensayo resistencia a la compresión	44
Figura 8. Sistema adiabático para registrar las temperaturas hasta la edad que se desea determinar la madurez	46
Figura.9. Cámara adiabática sellada con su respectiva salida para los sensores	46
Figura 10. Diseño final del Prototipo de Mediciones de Temperaturas	48
Figura 11. Introducción del sensor a los especímenes de concreto	49
Figura 12. Los especímenes con sus sensores conectados al circuito medidor.	50
Figura 13. Especímenes de concreto en la cámara adiabática – Método de Calorimetría	50
Figura 14. RMC en función del tiempo para la mezcla de concreto con aditivo retardante y sin aditivo	58
Figura 15. Perfil térmico de la mezcla de 3000 psi en laboratorio para los dos sensores	60
Figura 16. Perfil térmico de temperaturas promedio mezcla de concreto de 3000 Psi en laboratorio	61
Figura 17. Madurez del concreto Vs edad	64
Figura 18. Resistencia vs Madurez del concreto en laboratorio	65
Figura 19. Resistencia mecánica por norma Vs resistencia mecánica por madurez	68

Figura 20. Grafico Q-Q Normal	70
Figura 21. Homocedasticidad de los residuos	72
Figura 22. Banda Calibración ( $\pm 10\%$ ) Concreto Laboratorio	73
Figura 23. Piso del Laboratorio antes de la instalación del concreto	74
Figura 24. Sensores instalados en el concreto	75
Figura 25. Perfil termico mezcla 3000 psi con retardante en obra	77
Figura 26. Perfil térmico de temperatura promedio para la mezcla de 3000 psi con aditivo retardante en obra	78
Figura 27. Cálculo de valores de madurez para los sensores en Obra de los primeros 20 intervalos	78
Figura 28. Madurez Vs Edad para el concreto de Laboratorio y Obra	80
Figura 29. Comparación de la Resistencia vs Madurez para el concreto en obra y laboratorio	82
Figura 30. Comparación entre la curva resistencia –madurez en el laboratorio con la curva obtenida por extrapolación	83

## Lista de Anexos

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Ficha técnica del aditivo retardante	90
Anexo 2. Componentes de prototipo Arduino	91
Anexo 3 Laboratorios	93
Anexo 4. Registro fotográfico de los laboratorios	101
Anexo 5. Corrección por humedad	103
Anexo 6. Formula base para dosificar concreto	104
Anexo 7. Planta principal Concretos y Morteros	105
Anexo 8. Imagen de la programación arduino	108
Anexo 9. Registro de temperaturas para el concreto en laboratorio	113

## Resumen

Este proyecto trata acerca de la determinación de la resistencia mecánica a la compresión del concreto mediante el método de la madurez para un concreto de 3000 PSI con aditivo retardante en la empresa de concreto Premezclado Concretos y Morteros S.A. Para ello, se realizó una investigación tipo experimental ya que la variable dependiente (Resistencia a la compresión) se pudo ver afectada directamente por el índice de madurez (Variable independiente), la cual se expresó en grados centígrados/días. La recolección de información se obtuvo mediante la curva de madurez que arrojo el concreto mantenido en obra, para poder predecir la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días. La población, corresponde a la mezcla de concreto para una resistencia de 3000 psi con aditivo retardante, elaborada en la empresa de concretos y mortero S.A. El muestreo, esta conformada por el número de sensores de temperatura para registrar el historial de temperatura del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez. Se logró, determinar la resistencia mecánica a la compresión mediante el método de la madurez para un concreto premezclado de 3000 Psi con aditivo redartante. Se diseñaron y elaboraron mezclas de concreto de 3000 psi con aditivo redartante y sin aditivo. Se realizaron perfiles de temperatura, para calcular el índice de madurez mediante el sistema adiabático automatizado. Seguidamente, se determinó la resistencia mecánica a la compresión usando la norma NTC 673-2010 y el método de la madurez. Posteriormente, se estableció la ecuación de Resistencia-Madurez para una Mezcla en la cual se correlacionó la madurez y la resistencia a la compresión por la norma NTC 673-10. Finalmente, se dispuso la resistencia mecánica del concreto mediante el método de la Madurez en la obra colegio gremios unidos sede simón bolívar del municipio de san José de Cúcuta.

## **Abstrae**

This project deals with the determination of the mechanical compressive strength of concrete using the maturity method for a 3000 PSI concrete with retarding additive in the concrete company Premezclado Concretos y Morteros S.A. To do this, an experimental investigation was carried out since the dependent variable (compressive strength) could be directly affected by the maturity index (independent variable), which was expressed in degrees centigrade / days. Data collection was obtained through the maturity curve of the concrete kept on site, in order to predict the mechanical resistance to compression at 28 days. The population corresponds to the concrete mix for a resistance of 3000 psi with retardant additive, made in the company of concretos y mortero S.A. Sampling is made up of the number of temperature sensors to record the temperature history of the concrete up to the age to determine maturity. It was possible to determine the mechanical resistance to compression using the maturity method for a 3000 Psi ready-mixed concrete with a drafting agent. 3000 psi concrete mixes with drafting additive and no additive were designed and manufactured. Temperature profiles were made to calculate the maturity index using the automated adiabatic system. Subsequently, the mechanical resistance to compression was determined using NTC 673-2010 and the maturity method. Subsequently, the Resistance-Maturity equation was established for a Mixture in which maturity and compressive strength were correlated by NTC 673-10. Finally, the mechanical resistance of the concrete was arranged using the Maturity method in the work of the United Guilds School, Simón Bolívar headquarters, in the municipality of San José de Cúcuta.

## Introducción

El concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento portland hidráulico), unos materiales de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

Se ha convertido en el material de construcción más ampliamente utilizado a nivel mundial, en razón a su extraordinaria versatilidad en cuanto a las formas que se pueden obtener; sus propiedades físicas y mecánicas para ser usado como elemento estructural; y, su economía; razones que lo hacen muy competente frente a construcciones de madera, mampostería o acero.

El concreto se produce a partir de un diseño de mezclas que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir tan económicamente como sea posible una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas.

Los métodos constructivos que se utilizan actualmente requieren de una ejecución más rápida para que los elementos estructurales puedan entrar en servicio lo antes posible y de manera segura, es necesario, que dichos métodos aumenten su velocidad, pero tomando en cuenta que el resultado que se alcance sea estructuralmente adecuado. Esto se logra llevando un control de cómo va aumentando la resistencia del concreto desde edades tempranas de tal manera que se llegue a resultados confiables.

El presente proyecto combina información técnica junto a ensayos de laboratorio y datos que se obtendrán en obra, de tal forma que el análisis se convierte en una herramienta que ayudará a caracterizar de mejor forma la madurez del concreto, cuyo concepto fundamental determina que el concreto desarrolla sus propiedades a medida que se hidrata y libera calor. La medida en que se desarrolla la resistencia en el concreto a edades tempranas está directamente relacionada con la medida en que el cemento se hidrata. El calor generado por la reacción de hidratación se registra como un aumento de temperatura del concreto. La principal ventaja que nos ofrece el método de madurez es que usa el perfil de temperatura actual de la estructura de hormigón para estimar su resistencia en sitio.

La práctica tradicional de utilizar los especímenes curados en obra no resulta en el mismo perfil de temperatura del concreto colocado en el sitio, y probablemente no estima su resistencia con precisión, por lo que el método de madurez se hace indispensable.

## **1. Problema**

### **1.1 Titulo**

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA MADUREZ PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ADITIVO RETARDANTE EN LA EMPRESA DE CONCRETO PREMEZCLADO CONCRETOS Y MORTEROS S.A

### **1.2 Planteamiento del Problema**

La práctica normalmente utilizada para monitorear la resistencia del concreto vaciado en sitio utilizando cilindros curados en obra, ha sido considerada inapropiada por un número creciente de expertos en el tema dada la gran cantidad de variables que afectan el ensayo como por ejemplo; la velocidad de carga cuando está por encima del rango (0.30 Mpa/s) arroja valores de esfuerzos superiores a los que realmente corresponde, calibración de la prensa, elaboración adecuada de cilindros, la adición de agua al concreto que es producto de la pérdida de manejabilidad en el tiempo, en la mayoría de los casos se da después de la toma de muestras, mala compactación, golpes a probetas, cilindros no verticales, edad exacta de falla, tipo de falla, cambios de temperatura, etc. y la gran dificultad de asegurar que estos cilindros experimenten o estén sometidos al mismo curado de los elementos estructurales que se supone representan.

Determinar la resistencia del concreto en obra es claramente importante para los constructores. Decisiones tales como cuando remover la formaleta, cuando post-tensionar, cuando abrir la estructura al tráfico y someterla a cargas vivas, entre otras están basadas en que el concreto alcance niveles mínimos de resistencia. Esperar mucho para estas operaciones puede

llegar a ser muy costoso, y hacerlas prematuramente es inseguro y puedo causar grietas en la estructura o incluso el colapso de la misma.

Gracias a los Avances tecnológicos del Concreto, existe una técnica no destructiva que permite determinar la resistencia del concreto basado en el historial de temperatura de la estructura durante el tiempo de curado. El método ofrece una mejor representación de la evolución de la resistencia del concreto in-situ a diferencia de los especímenes curados en el laboratorio o en el campo. En esta investigación se trabajara en conjunto con la empresa de concreto premezclado Concretos y Morteros S.A, allí se buscará una ecuación que relacione la resistencia- madurez para un concreto de 3000 Psi con aditivo retardante instalado en obra y otro curado en condiciones de laboratorio, esto se hace con el fin de analizar el posible cambio en la curva de madurez, principalmente para poder determinar a edades tempranas el mayor desarrollo de resistencia que puede tener un elemento, a causa de las mayores temperaturas generadas exotérmicamente y por el clima, respecto al proceso estándar de curado.

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Cuál será el comportamiento Mecánico del concreto instalado en obra frente a los especímenes curados en el laboratorio y su correlación entre la resistencia mecánica y el método de madurez?

### **1.4 Objetivos**

**1.4.1 Objetivo general.** Determinar la resistencia mecánica a la compresión mediante el método de la madurez para un concreto premezclado de 3000 Psi con aditivo redartante.

**1.4.2 Objetivos específicos.** Diseñar y elaborar las mezclas de concreto de 3000 psi con aditivo redartante y sin aditivo.

Realizar los perfiles de temperatura, para calcular el índice de madurez mediante el sistema adiabático automatizado.

Determinar la resistencia mecánica a la compresión usando la norma NTC 673-2010 y el método de la madurez.

Determinar para la Mezcla la ecuación de Resistencia-Madurez en la cual se correlacione la madurez y la resistencia a la compresión por la norma NTC 673-10

Determinar la resistencia mecánica del concreto mediante el método de la Madurez en la obra colegio gremios unidos sede simón bolívar del municipio de san José de Cúcuta.

## **1.5 Justificación**

El método de madurez es utilizado como un indicador más confiable de la resistencia del concreto en el sitio durante la construcción, en vez de los ensayos a compresión de cilindros curados en obra. La práctica tradicional de medir la resistencia de los cilindros en obra, curados en las mismas condiciones que la estructura, es usada para programar actividades de construcción tales como: el retiro de las formaletas o el reapuntalamiento, el relleno de los muros de contención, programar operaciones de pretensado y postensado, determinar el tiempo para abrir al tránsito en pavimentos y puentes, el corte de juntas, y para establecer cuando deben concluir las medidas de protección en climas fríos.

El método de madurez usa el concepto fundamental de que las propiedades del concreto se desarrollan con el tiempo en la medida que el cemento hidrata y libera calor. La tasa de desarrollo

de resistencia a edades tempranas está relacionada con la tasa de hidratación del cemento. El calor generado por la reacción de hidratación se debe registrar como un incremento de temperatura del concreto. La principal ventaja del método de madurez es que usa el perfil de temperatura actual del concreto para estimar su resistencia en el sitio. La práctica tradicional de utilizar los cilindros curados en obra no replica el mismo perfil de temperatura del concreto colocado en el sitio, y probablemente no estima su resistencia con precisión.

Con los métodos de estimación de madurez la información de resistencia es suministrada en tiempo real dado que las mediciones de madurez son realizadas en el sitio en cualquier momento. Como resultado, se optimiza el flujo de trabajo en la construcción, y la programación de las actividades de construcción se pueden basar en una información de resistencia en el sitio más precisa.

## **1.6 Alcances y Limitaciones**

Se determinará la resistencia a la compresión del concreto instalado en obra y de los especímenes tratados en el laboratorio, mediante el método de madurez para un concreto premezclado de 3000 psi con aditivo retardante. (ASTM C1074 Práctica Estándar para la Estimación de la Resistencia del Concreto por el Método de Madurez).

El registro de los valores de madurez se realizará a intervalos de 15 minutos bajo la norma ASTM C 1074, para la calibración de la mezcla.

## **1.7 Limitaciones**

El concreto a evaluar es premezclado de Concretos y Morteros S.A.

El aditivo retardante a utilizar es Retard 450 de Toxement Colombia y la dosificación se hará de acuerdo a la ficha técnica del producto. Ver anexo 1

El cemento a emplear es Cemex de Tipo Estructural.

Los agregados gruesos y finos son de la trituradora Transmateriales.

## **1.8 Delimitaciones**

**1.8.1 Delimitación espacial.** Como se muestra a continuación:

El proyecto se realizará en la ciudad de San José de Cúcuta en la empresa de concreto premezclado Concretos y Morteros S.A,

**1.8.2 Delimitación temporal.** Como se muestra a continuación:

El presente proyecto se desarrollará en un tiempo de cuatro meses a partir de la fecha de aprobación por el comité curricular de ingeniería civil.

**1.8.3 Delimitación conceptual.** Como se muestra a continuación:

Concreto.

Especímenes.

Hidratación.

Calor de hidratación.

Curado.

Madurez.

Resistencia.

Temperatura.

Edad del Concreto.

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes

**2.1.1 Antecedentes empíricos.** Algunos controles mediante calorimetría del concreto-instrumentación *in situ* conforme NTC 3756.

**Concrelab-Odinsa.** Rehabilitación de losas de concreto Fast-track Aeropuerto El Dorado. Asesoría de control de calidad. Instrumentación de más de 20 losas de pavicreto Fast-track para evaluación de fraguados, gradientes térmicos y resistencias, Proyecto de Rehabilitación de la pista Aeropuerto El Dorado (más de 20 losas de pavicreto controladas).

**Planta Física Universidad Nacional de Colombia.** Supervisión Técnica de Obras. Tecnología del control térmico y de madurez del concreto en construcción. Primer edificio en Colombia controlado por calorimetría en obra conforme NTC 3756. Edificio Postgrados Ciencias Económicas Universidad Nacional de Colombia. (5.500 metros cuadrados).

**Concreto S.A.** Asesoría Control de muros y placas Proyecto La Rotana. Proyecto diseñado por el Ing. Armando Palomino (PCA). Asesoría en control térmico y de madurez del concreto conforme NTC 3756 para determinación de tiempos de desmolde y descimbre, evaluación de fraguados, gradientes térmicos y resistencias, incidencia de la temperatura ambiente sobre la resistencia del concreto *in situ* (muros y placas, contech, proyecto de 3 torres de aptos. Sistema mano portable), 2009.

**2.1.2 Antecedentes.** Como se muestra a continuación:

**2.1.2.1 Internacionales.** “Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio”. Trabajo de grado.

(Ingeniero Civil) Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil Universidad de El Salvador. (Aguilar, Rodríguez, & Sermeño, 2009)

**2.1.2.2 Nacionales.** “Aplicación del método de la madurez para la estimación de tiempos de fraguado y resistencias de concretos industrializados con el fin de conocer la edad del descimbrado”. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Facultad de Ingenierías Civil. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia (Castro & López, 2013).

“Análisis de la resistencia a la compresión  $F'c$  del concreto hidráulico adicionado con silicato de sodio, mediante ensayos de madurez y resistencia a la compresión”. Trabajo de grado. (Ingeniero Civil) Programa de Ingeniería Civil. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. (Bolívar, 2018)

“Correlación entre las fases del perfil térmico del concreto obtenido en condiciones de aislamiento térmico con los tiempos de fraguado”. Trabajo de grado (ingeniero Civil) Facultad de Tecnología. Programa de ingeniería Civil. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia (Vargas & Duarte, 2016).

**2.1.2.3 Regionales.** “Resistencia mecánica del concreto para tres diseños de mezclas variando la relación agua / cemento, mediante el método de la madurez”. Trabajo de grado (Ingeniero Civil) Facultad de Ingenierías. Plan de estudio de Ingeniería Civil. Universidad Francisco de Paula Santander (Suárez & Peñuela, 2018).

“Determinación de la resistencia del concreto de 21 MPA mediante el método de la madurez correlacionando resistencia temperatura y tiempo”. Trabajo de grado presentado a la Universidad Francisco de Paula Santander, (Ingeniero Civil) Facultad de Ingenierías. Plan de estudio de

Ingeniería Civil (Ocampo & Villamizar, 2018).

## 2.2 Marco Teórico

**2.2.1 Método de madurez.** El método de la madurez es una técnica que considera los efectos combinados del tiempo y temperatura en el desarrollo de la resistencia, es posible estimar el desarrollo de resistencia midiendo la temperatura del concreto durante el periodo de curado a diferentes temperaturas, por medio del índice de madurez (Aguilar, Rodríguez & Sermeño, 2009).

La ganancia de resistencia del concreto es más rápida a temperaturas altas en edades tempranas, a temperaturas más bajas, la ganancia de resistencia es más lenta, en cambio una temperatura muy baja, generalmente en el rango de  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la hidratación del cemento cesa y por consiguiente la ganancia de resistencia también. La temperatura exacta a la cual la ganancia de resistencia cesa depende de cada mezcla, de su composición y de las propiedades químicas del material cementante (Aguilar, Rodríguez & Sermeño, 2009).

**2.2.2 Madurez del concreto.** La definición de madurez del concreto es amplia y no se limita solo al desarrollo de resistencia, ya que dentro del concepto de madurez son varias las propiedades de la mezcla que se pueden desarrollar y estudiar a través del tiempo, para este caso en particular la propiedad en estudio será el desarrollo de la resistencia mecánica

**2.2.3 Fundamentos Teóricos del Método de Madurez.** El método de madurez se basa en el historial de temperatura del concreto para la estimación del desarrollo de resistencia, siempre y cuando exista humedad disponible para la hidratación del cemento durante el tiempo de curado, utilizando ese historial de temperatura se calcula el índice de madurez. Es importante mencionar

que para cada mezcla de concreto la relación entre la resistencia y el índice de madurez es establecida de antemano (calibración de la mezcla) (Boubekeur & El-Hadj, 2014).

**2.2.4 Teoría de nurse-saúl.** Los orígenes del método de la madurez se remontan a una serie de documentos en Inglaterra, donde se utilizaban métodos de curado acelerado (McIntosh, 1949; Nurse, 1949; Saúl, 1951). Existiendo la necesidad de un procedimiento que explicara los efectos combinados del tiempo y temperatura sobre el desarrollo de resistencia bajo temperaturas de curado elevado.

Fue así que se propuso que el producto del tiempo y temperatura se podría utilizar para ese fin. Estas ideas condujeron a la función de madurez de Nurse-Saúl:

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t \quad (1)$$

Donde:

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

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

To: Temperatura de referencia, en °C

t: tiempo transcurrido

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

Saúl (1951) propuso una temperatura de referencia de -10.5 °C. Este valor ha sido usado por décadas como el valor de temperatura al cual el cemento deja de hidratarse, sin embargo, la

ASTM C1074-11 recomienda que la temperatura de referencia sea determinada experimentalmente o sea tomada como 0 °C para cementos Tipo I, cuya temperatura de curado este entre 0 °C y 40 °C (Lachemi, 2007).

Saúl en 1951 presentó el principio siguiente que se ha conocido como la regla de la madurez: “El concreto de la misma mezcla con la misma madurez (medido en temperatura-tiempo) tendrá aproximadamente la misma resistencia, y cualquier combinación de temperatura y tiempo dará como resultado esa madurez”. (Boubekeur & El-Hadj, 2014).

**2.2.5 Perfil térmico.** Cuando una muestra de concreto se aísla térmicamente, se genera un perfil térmico que depende única y exclusivamente de los cambios de temperatura que experimenta el material. En otras palabras, el incremento de temperatura es ocasionado por la generación de calor de hidratación del cementante, y el descenso de la misma se debe a que la reacción de hidratación pierde la intensidad en las primeras horas de curado permitiendo que el calor generado se disipe. (Aguilar, Rodríguez, & Sermeño, 2009).

El perfil de temperatura que describe una muestra de concreto en condiciones de aislamiento térmico durante su proceso de curado es único para cada mezcla y tipo de concreto, lo que se conoce como la huella adiabática de calor de la muestra.

## 2.3 Marco Conceptual

**2.3.1 Resistencia mecánica a la compresión del concreto. (RMC).** La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente.

**2.3.2 Curado del concreto.** El curado del concreto es el proceso mediante el cual se controla la pérdida de agua de la masa de concreto por efecto de la temperatura, sol, viento, humedad relativa, para garantizar la completa hidratación de los granos de cemento y por tanto garantizar la resistencia final del concreto. El objeto del curado es mantener tan saturado como sea posible el concreto para permitir la total hidratación del cemento; pues si está no se completa la resistencia final del concretos se disminuirá.

**2.3.3 Hidratación del cemento.** El endurecimiento del concreto es el resultado de un proceso de hidratación, que es exactamente la reacción química entre el cemento y el agua. Es por medio de esta hidratación que ocurre la reacción química que forma los Silicatos de Calcio Hidratados (C-S-H), son ellos quienes influyen en la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado endurecido.

**2.3.4 Calor de hidratación.** Durante el proceso de hidratación se efectúan reacciones químicas exotérmicas, es decir reacciones que liberan calor, haciendo que los concretos aumenten su temperatura al fraguar y endurecer. Este incremento es importante cuando se elaboran estructuras que involucran grandes volúmenes de concreto, tales como presas, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso de la temperatura, se origina contracción del material, que puede conducir a la formación de grietas y fisuras.

El calor de hidratación se define como la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada.

**2.3.5 Aditivos retardantes.** Los retardantes (aditivos tipo B) se utilizan principalmente para compensar el rápido fraguado ocasionado por las altas temperaturas (mayores a 32 °C) y para poder mantener el concreto trabajable durante el proceso de colocación, así como para evitar la formación de juntas frías o discontinuidades en el concreto. El fraguado de concretos a altas temperaturas se acostumbra a retardar enfriando el agua de mezclado. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

**2.3.6 Fraguado.** Durante el fraguado el concreto pasa de un estado plástico, donde se deforma indefinidamente por la aplicación de carga, a uno en que se comporta de manera elástica ante la acción de la misma. Los cambios que se pueden observar en el concreto durante este proceso son el tiempo de fraguado y la contracción plástica.

**2.3.7 Tiempos de fraguado.** Al considerar el cambio de estado plástico al endurecido del concreto, de acuerdo con la regulación de los tiempos de mezclado, transporte, colocación y compactación, se encuentra que hay que ajustar los tiempos a los intereses particulares de las personas que trabajan con este material.

Para el productor, es necesario que el concreto llegue a la obra con el grado de manejabilidad deseado y debe proporcionar la mezcla, para no correr el riesgo de que el concreto fragüe dentro del camión por demoras ocasionadas por factores externos, tales como tráfico o fallas mecánicas del camión. Para el constructor es importante que el concreto pueda ser vibrado hasta cierto tiempo después de depositado en las formaleas o encofrados y así remover los encofrados lo más rápido posible para utilizarlos en otros puntos de la obra. Para un prefabricador puede ser

deseable que el concreto fragüe rápido para usar más veces al día los moldes y poder mover los elementos prefabricados a los patios de almacenamiento a las pocas horas de vaciados.

La clasificación de acuerdo con el tiempo de fraguado se hace en concretos de fraguado lento, normal y rápido. Los de fraguado lento son aquellos que al incluir un aditivo retardante demoran más en endurecer. Los de fraguado normal son los adicionados con aditivos reductores de agua que endurecen prácticamente con la misma velocidad que un concreto sin aditivo. Por último, los concretos acelerados son los que endurecen más rápido debido a la adición de aditivos acelerantes que permiten que la mezcla fragüe mucho más rápido que una normal.

**2.3.8 Relación agua/materiales cementicios.** Esta relación se obtiene de dividir el total de agua de mezcla entre la suma del peso del cemento más el peso de las adiciones utilizadas, estas pueden ser microsílíce, ceniza volante, puzolanas naturales, filler calizo, etc.

**2.3.9 Ensayo de asentamiento.** Es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla, esto indica qué tan seca o fluida está cuando se encuentra en estado plástico y no constituye por sí misma una medida directa de la trabajabilidad.

## **2.4 Marco Contextual**

El presente Trabajo de Grado en modalidad de investigación se ejecutará en las Instalaciones de Concretos y Morteros S.A

## **2.5 Marco Legal**

NTC 30. 1966-02-14. Cemento Portland. Clasificación y Nomenclatura.

NTC 77. 2018-09-12. Concretos. Método de Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

NTC 78. 1995-05-10. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  en agregados minerales.

NTC 92. 1995-02-15. Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la Masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregado.

NTC 127. 2000-06-21. Concretos. Método de Ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.

NTC 129. 1995-05-10. Ingeniería Civil y Arquitectura. Practica para la toma de muestras de agregados.

NTC 174. 2000-06-21. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto.

NTC 176. 1995-11-29. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para determinar la Densidad y la Absorción del agregado Grueso.

NTC 237. 1995-11-29. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la Densidad y la Absorción del agregado Fino.

NTC 385. 1999-09-15. Ingeniería Civil y Arquitectura. Terminología relativa al concreto y sus agregados.

NTC 396. 1992-01-15. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo Para Determinar el Asentamiento del Concreto.

NTC 454. 2011-10-19. Ingeniería Civil y Arquitectura. Concreto Fresco. Toma de muestras.

NTC 550. 2017-10-18. Concretos. Elaboración y curado de Especímenes de concreto en el sitio de trabajo.

NTC 673. 2010-02-17. Concretos. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

NTC 1000. 2004-09-29. Metrología. Sistema Internacional de Unidades.

NTC 1299. 2008-12-16. Concretos. Aditivos Químicos para Concretos.

NTC 1377. 2010-12-15. Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y Curado de Especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.

NTC 1776. 1994-10-19. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.

NTC 3318. 2008-02-27. Producción de Concreto.

NTC 3357. 2013-10-16. Concretos. Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico.

NTC 3459. 2001-10-31. Concretos. Agua para la elaboración de Concreto.

NTC 3756. 1995-10-18. Ingeniería Civil y Arquitectura. Procedimiento para estimar la resistencia del concreto por el método de la madurez.

NTC 4227. 1997-08-27. Máquinas de Ensayo. Verificación de Tensión, Compresión y Flexión.

I.N.V.E -133. Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos.

I.N.V.E -630. Concreto Estructural.

Estatuto Estudiantil Universidad Francisco de Paula Santander, Título V, Trabajo de Grado,  
Capítulo 1.

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

El tipo de Investigación que se optó en este proyecto es experimental ya que la variable dependiente (Resistencia a la compresión) podría verse afectada directamente por el índice de madurez (Variable independiente), la cual se expresa en grados centígrados/días.

#### **3.2 Población**

Es la mezcla de concreto para una resistencia de 3000 psi con aditivo retardante, elaborada en la empresa de concretos y mortero S.A.

#### **3.3 Muestra**

Estará determinada por el número de sensores de temperatura para registrar el historial de temperatura del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez. El tamaño de la muestra se calculó por medio de un diseño experimental de un solo factor.

#### **3.4 Planeación del Diseño del Experimento**

a. Elección de la variable respuesta

Valores de la madurez del concreto en grados centígrados -días para cada edad del concreto (1,2, 3,4, 5, 6 7, 14, 28) días.

b. Elección del factor y niveles

Factor A: Edad del concreto

Niveles del Factor A: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 28 días

Unidad de Observación: No. de sensores para registrar el historial de temperaturas del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez.

Elección de la muestra para los valores de madurez

Para determinar el tamaño de la muestra para un diseño factorial de un factor se utilizó las curvas de operación características del apéndice V del libro de Montgomery, se busca el valor menor  $r$  de  $\Phi^2$  que corresponde a una diferencia especificada entre las medias de dos tratamientos de renglones cualquiera  $D$ .

$$\Phi^2 = \frac{nD^2}{2a\sigma^2}$$

Donde  $n$ = tamaño de Muestra

$D$ = diferencia en la madurez media en cualquiera de las mezclas hasta de 1500 °C- día

$a$ = número de tratamientos en el factor  $a=9$

$\sigma^2$ = varianza de los valores de madurez del concreto. Según estudios anteriores la varianza es igual a 87.800 °C-hora.

Aplicando la Formula para hallar el valor de  $\Phi^2$

$$\Phi^2 = \frac{n(1500)^2}{2*9*296^2} = 1.42n$$

Con el valor mínimo de  $\Phi^2$  y para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , utilizamos las curvas de operación características para construir la siguiente tabla:

$$V1 = \text{grados de libertad del numerador} = a - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$V2 = \text{grados de libertad del error} = a(n - 1)$$

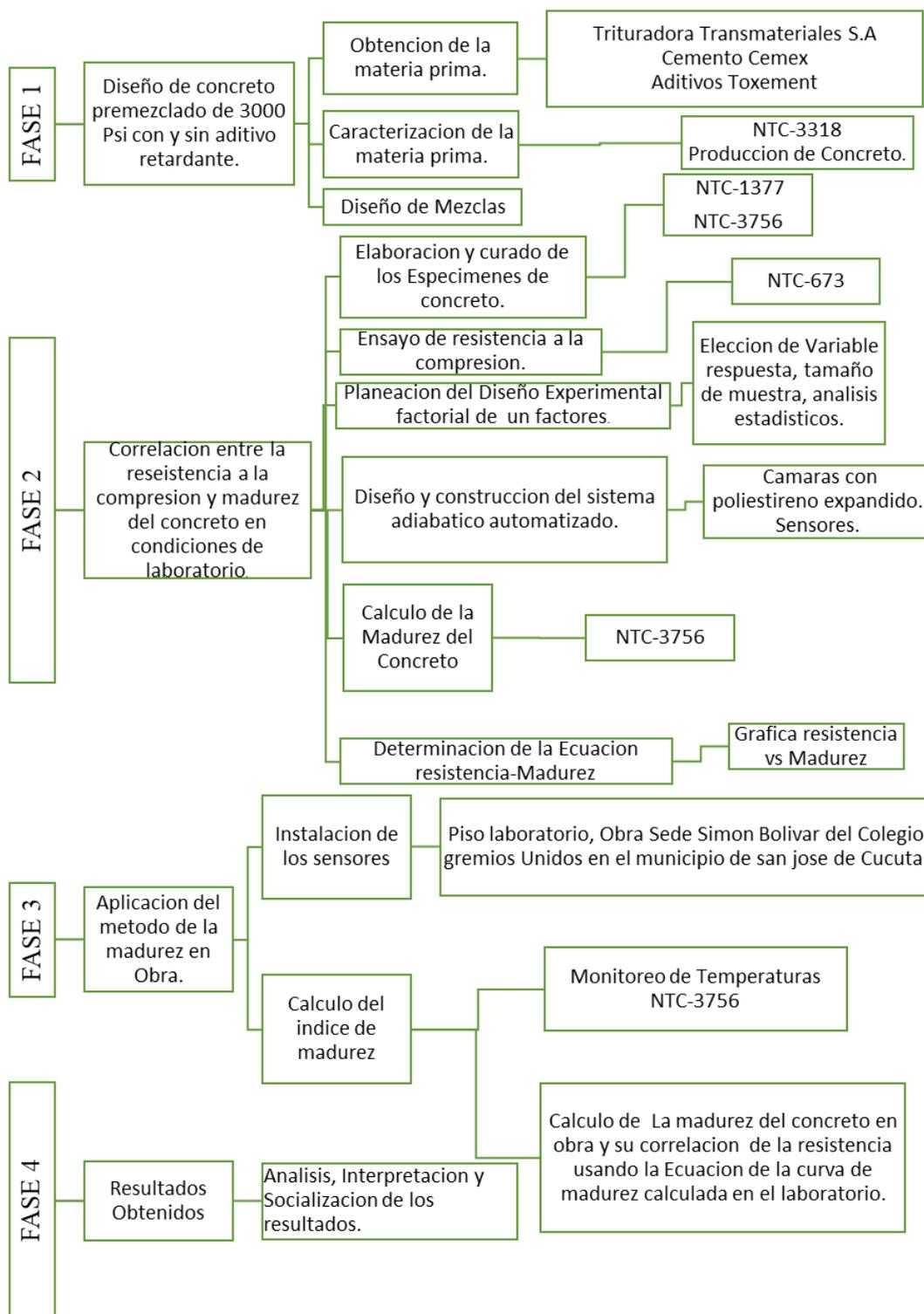
**Tabla 1. Grados de libertad**

n	$\Phi^2$	$\Phi$	V1 grados de libertad del numerador	V2= grado de libertad del error	$\beta$
2	2.84	1.69	8	9	0.60
3	4.26	2.06	8	18	0.07
4	5.68	2.38	8	27	0.01

Se observa que con  $n = 4$  se obtiene un riesgo  $\beta$  de cerca de 0,01, o una probabilidad aproximada del 99% de rechazar la hipótesis nula, si la diferencia en los valores medio de la madurez del concreto es hasta de 15000 °C-día. Para la investigación se utilizó una muestra de 3 sensores con una probabilidad del 93%.

### 3.5 Fases del Proyecto

En la figura No 1, se describen las cuatro fases o etapas a desarrollar en la Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas de concreto con aditivo redartante para una resistencia de 3000 psi, usando el método de madurez y su correlación con la norma NTC 673 -2010.



**Figura 1. Diagrama de bloques de las fases a realizar en la investigación**

### **3.5.1 Fase 1. Diseño de concreto premezclado de 3000 Psi con y sin aditivo retardante.**

Como se muestra a continuación:

**Caracterización de la Materia Prima.** Para conocer las propiedades de los materiales que se utilizaron en el diseño de la mezcla de concreto, se realizaron los siguientes ensayos en base a la NTC 3318:

**3.5.1.1 Agregados pétreos.** Análisis granulométrico del agregado grueso y fino bajo la norma I.N.V.E 630 y NTC 174. Densidad y Absorción de los agregados NTC 176 y 237. Determinación de la masa unitaria NTC 92. Material que pasa el tamiz #200 NTC 78. Contenido total de humedad de los agregados NTC 1776. Equivalente de Arena I.N.V.E 133. Impurezas Orgánicas en el agregado Fino para concreto NTC 127. Los anteriores ensayos se realizarán en el laboratorio de la planta de concreto premezclado Concretos y Morteros S.A.

**3.5.1.2 Agua.** El agua para la producción del concreto cumple con los parámetros de la NTC 3459 según los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de agua de la U.F.P.S

**3.5.1.3 Cemento.** El cemento a utilizar es a granel de Tipo Estructural, lo suministra la empresa cementera Ultracem, la cual anexa los certificados de calidad en cada despacho.

**3.5.1.4 Aditivos.** Los aditivos a utilizar los provee Toxement Euclid Group y estos son proporcionados a la mezcla de acuerdo a la ficha técnica del fabricante. Ver anexo 1

**3.5.1.5 Obtención de la materia prima.** Los agregados que se utilizaron para el diseño de mezclas de concreto provienen de la planta trituradora Transmateriales S.A cuyo objeto social es la realización de todas las actividades relacionadas con la explotación, transformación y comercialización de agregados pétreos, su centro de operaciones hoy se encuentra ubicado en

Anillo Vial Oriental vía cárcel modelo frente Centro Comercial. Jardín Plaza.

**3.5.1.6 Diseño de mezclas.** Los diseños de las mezclas de concreto con y sin aditivo retardante se realizaron en la empresa de concreto premezclado Concretos y Morteros S.A. Ver anexo 7

**3.5.2 Fase 2. Correlación entre la resistencia a la compresión y madurez del concreto en condiciones de laboratorio.** Como se muestra a continuación:

**3.5.2.1 Elaboración y curado de los especímenes de concretos para determinar la resistencia mecánica a la compresión por la norma.** En esta investigación se realizó un solo diseño de mezclas de 3000 psi, de acuerdo a la NTC 1377. Los moldes que se utilizaron son de 100x200 mm, estas muestras se someterán al ensayo de compresión a la edad de 1, 2,3,4,5,6,7,14 y 28 días, teniendo un total de 27 cilindros (3 cilindros para cada edad); y, 12 cilindros para el concreto sin aditivo retardante para edades de 3,7,14 y 28 días.

El concreto utilizado se tomó de un camión mezclador el cual se dirigía a la obra colegio Simón Bolívar, A esta muestra se le practico en el ensayo de asentamiento según la NTC 396 obteniendo como resultado 4”( Ver figura 2). Antes de colocar el concreto en los moldes, estos se impregnaron en el interior con ACPM para evitar que el concreto se adhiriera a las paredes del mismo (ver figura 3), posteriormente se elaboraron los especímenes en serie de tres capas de igual altura. Con el extremo redondeado de la varilla se apisono cada capa con 25 golpes distribuidos uniformemente. En este proyecto como se utilizó cilindros de 200 mm de altura, la varilla penetra 25 mm en la capa inmediatamente inferior. Después de compactar cada capa se golpeó suavemente de 10 a 15 veces el borde del molde con el martillo de caucho. Ver figura (4 y 5).



**Figura 2. Asentamiento del Concreto**



**Figura 3. Impregnación de ACPM**



**Figura 4. Elaboración de especímenes de concreto**



**Figura 5. Especímenes de concreto terminados**

**Desencofrado y Curado de los cilindros.** Los especímenes se desencofraron de acuerdo con la norma ASTM C192 y curados en agua de acuerdo con la norma ASTM C511, los cilindros para realizar los ensayos de resistencia a la compresión para las edades de 1, 2,3,4,5,6, 7, 14 y 28, días según la norma NTC 673 se introdujeron en un tanque de agua, ver figura 6



**Figura 6. Curado de cilindros en tanque de agua**

**3.5.2.2 Ensayo de la resistencia a compresión por la norma.** La determinación de la resistencia mecánica a la compresión se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la norma técnica colombiana NTC 673-2010, dichos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de la planta de Concretos y Morteros S.A. ver figura 7.

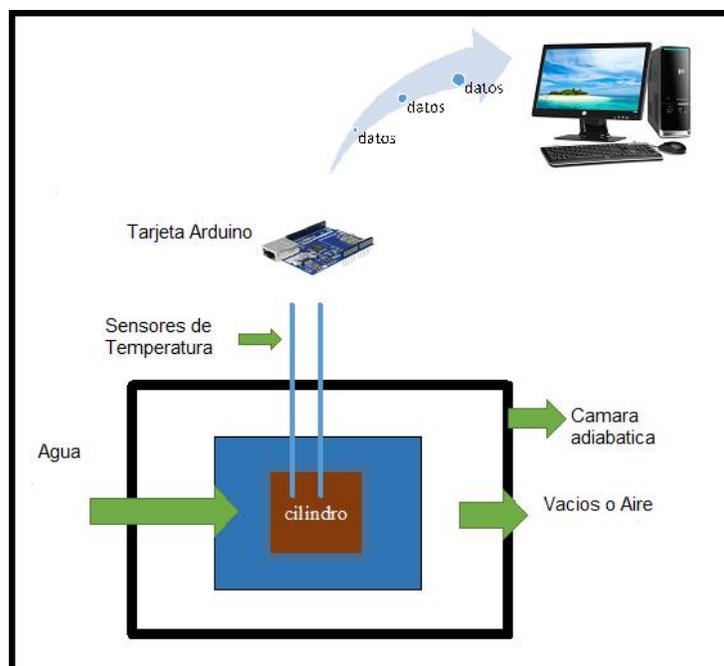


**Figura 7. Ensayo resistencia a la compresión**

**3.5.2.3 Resistencia Mecánica a la compresión por el método de la madurez.** Como se muestra a continuación:

**Diseño y construcción del sistema adiabático automatizado.** Con base en el modelo matemático-termodinámico de madurez que formularon en la década de los setenta los investigadores daneses Freisleben Hansen y Pedersen, se han desarrollado múltiples sistemas para su aplicación. Los sistemas que miden la madurez emplean las Huellas Adiabáticas de Calor de cada mezcla como base para automatizar el control de calidad del concreto. Se denomina huella adiabática de calor a la curva de calor de hidratación total acumulado vs. Grado de madurez, la cual se determina mediante la medición del historial térmico de una mezcla de concreto en condiciones adiabáticas (donde no hay pérdida ni ganancia de calor), lo que se logra dentro de un calorímetro totalmente sellado (Marín & correa, 2016).

En la figura 8 y 9, se presenta el diseño del sistema adiabático que consiste en una caja rectangular de poliestireno expandido con doble pared y dimensiones de 100\*60\*70 cm, en la cual se dejó vacío entre las paredes, lo anterior es con el objetivo de aislar térmicamente la muestra, ésta se depositó en el interior de la cámara, donde previamente se han introducido los sensores de temperatura, los cuales se conectan al sistema de adquisición de datos usando tarjeta arduino y software Lab View.



**Figura 8. Sistema adiabático para registrar las temperaturas hasta la edad que se desea determinar la madurez**



**Figura.9. Cámara adiabática sellada con su respectiva salida para los sensores**

**Elaboración del prototipo de medición y almacenamiento de temperatura.** Para realizar la investigación fue necesario elaborar un prototipo para la medición de flujo de calor, que permita a futuro aplicar el sistema adiabático de flujo de calor y así llevar un registro de temperatura versus tiempo de la mezclas a registrar, en el cual se tomaron en cuenta también para la determinación de la resistencia por el Método de la Madurez del concreto. Este prototipo se realizó con el fin de implementar una herramienta eficaz y confiable para llevar acabo el diagnóstico y monitorización de las variaciones del calor en el concreto a edades tempranas y así tener un veredicto de su resistencia. Ver figura 10.

Como primer paso para lograr fue necesario diseñar un equipo que permita medir directamente las señales de flujo de calor este equipo debe satisfacer criterios como calibraciones de temperaturas a un bajo costo, ya que en el mercado existe la variedad de dichos prototipos pero a costos muy altos por tal motivo se decide hacer un prototipo Arduino, sensores térmicos, un reloj de tiempo real y una unidad de almacenamiento de datos para construir un prototipo que reúna los requerimientos para dicho proyecto, el cual quedo programado por medio de una software de Arduino Mega para las siguientes funciones:

Registro de temperaturas por medio de sensores térmicos.

Sincronizar lecturas en tiempo real

Donde almacena datos a fecha, hora y temperatura en un dispositivo de tarjeta

(Ver anexo 8)

### 3.5.24 Materiales para el diseño del prototipo Arduino. Como se muestra a continuación:

Arduino MEGA 2560 R3 (Atmega2560-16au)

Sensor RTC (DS1302)

Sensor Micro SD

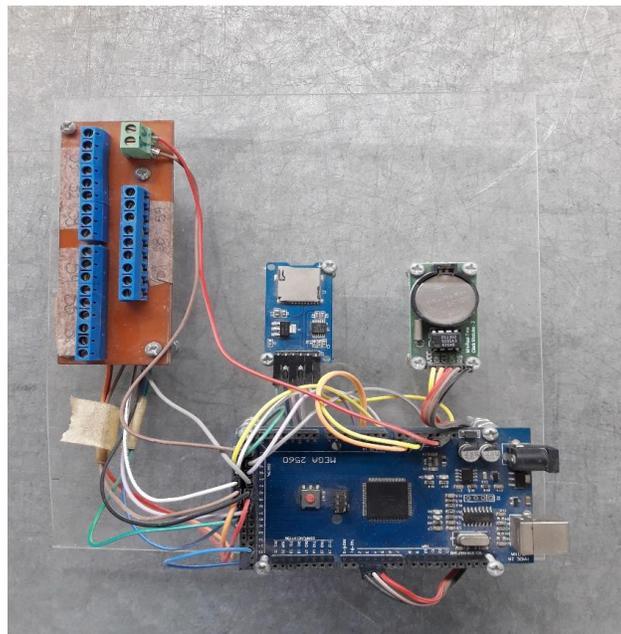
Memoria Micro SD

Sensor de Temperatura (DS18B20)

Tarjeta de Borneras

Resistencias para circuito

En el anexo 2 se encuentra cada uno de los elementos que componen el prototipo



**Figura 10. Diseño final del Prototipo de Mediciones de Temperaturas**

**Elaboración de los cilindros con la mezcla de concreto con aditivo retardante para resistencias de 3000 Psi.** De acuerdo al tamaño de la muestra calculada se requiere de 3 sensores de temperatura para la mezcla, se utilizaron cilindros de 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de alto en los cuales se insertaron los sensores de temperatura a la mitad de la altura del cilindro, como en el centro de la circunferencia en un rango de tolerancia de  $\pm 15$  mm de los centros.

Para introducir los sensores se utiliza una varilla rígida con la que se estima la altura media del cilindro que fue instrumentado, luego se introduce la varilla en la mitad de la circunferencia y hasta la mitad de la altura, con esto se empujará cualquier partícula que interfiera en el trayecto del sensor. Una vez el sensor es introducido, se retira la varilla y el molde es golpeado con un martillo de hule para acomodar el concreto y cerciorarse que el sensor está en contacto con el concreto. Como se muestra en la Figura 11 y 12.



**Figura 11. Introducción del sensor a los especímenes de concreto**



**Figura 12. Los especímenes con sus sensores conectados al circuito medidor.**



**Figura 13. Especímenes de concreto en la cámara adiabática – Método de Calorimetría**

Los sensores se conectan al dispositivo que registra la temperatura inmediatamente después de ser embebidos, para enviar los datos de temperatura obtenidos directamente al dispositivo de almacenamiento. El registro de temperaturas se utilizó intervalos de tiempo de 15 minutos durante los 28 días.

Para el proceso del curado de los especímenes, se introducen en la cámara adiabática se mantienen ahí los 28 días de curado de tal forma que el circuito tome los datos pertinentes en tiempo real de la reacción en dicha cámara y así medir el perfil térmico. Como se muestra en la figura 13.

**3.5.2.5 Cálculo de la madurez del Concreto.** Para el cálculo de la madurez del concreto en primer lugar se debe conocer todo el historial de temperatura del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez, Luego se determina el rango de tiempo en horas para el cual se obtiene las lecturas, por lo tanto para ese intervalo de tiempo es posible determinar los Factores Temperatura Tiempo (FTT), y por ende conocer la evolución de madurez del concreto para dichos momentos.

El valor en cada intervalo de tiempo es la suma acumulada de los FTT hasta el intervalo de tiempo en cuestión, siendo ese valor la madurez del concreto a esa edad.

$$M = \sum_0^t (T - T_o) \Delta t \quad (1)$$

*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>o</sub>: Temperatura de referencia, en °C*

*t: tiempo transcurrido*

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

El índice calculado por la Ecuación, fue llamado madurez, sin embargo, la terminología actual es el factor temperatura-tiempo (FTT) según ASTM C 1074.

**3.5.2.6 Determinación de la ecuación resistencia-madurez.** Una vez se tienen los resultados de resistencia por la norma y la madurez para cada edad de ensayo 1, 2,3,4,5,6,7, 14 y 28, días, se grafica la resistencia a la compresión como una función del valor de la madurez de los especímenes instrumentados. Para determinar la Resistencia mecánica a la compresión por el método de la madurez, se utiliza expresión (2) donde M corresponde al índice de madurez para cada edad obtenido usando la ecuación (1), y los coeficientes A y B, se obtienen del mejor ajuste a los datos experimentales entre la RMC hallados por la norma NTC 763-10 y los valores de M, utilizando la expresión (2).

$$RMC(M) = A + B \ln(M) \quad (2)$$

**3.5.3 Fase 3. Aplicación del método de la madurez en obra.** Como se muestra a continuación:

**3.5.3.1 Instalación de los sensores in situ.** Para la ejecución de esta fase se eligió la construcción de la infraestructura física de la sede simón bolívar del colegio gremios unidos en el municipio de san José de Cúcuta. Por la dificultad de instalar los sensores en un elemento estructural se escogió la instalación de los sensores en el piso del laboratorio de este colegio, repartidos de forma equidistante, estos sensores son los que registraron el historial de temperatura.

**3.5.3.2 Cálculo del índice de madurez.** Lo que se busca con la instalación de los sensores en el piso del laboratorio del colegio simón bolívar para conocer todo el historial de temperatura del

concreto hasta la edad 28 días utilizando la ecuación (1).

**3.5.3.3 Estimación de la resistencia usando la Ecuación de la curva de madurez calculada en el laboratorio.** Finalmente se halla la ecuación Resistencia Madurez in situ, se comparan con los resultados obtenidos de la ecuación Resistencia- Madurez en el laboratorio para calibrar la curva de la mezcla obtenida en el laboratorio y luego con los datos de madurez obtenidos en obra para los tres primeros días, se hace una extrapolación de la curva para predecir el valor de la resistencia mecánica a los 28 días.

**3.5.4 Fase 4. Resultados obtenidos.** Como se muestra a continuación:

**3.5.4.1 Análisis, interpretación y socialización de los resultados.** En esta fase lo que se desea es corroborar que los resultados obtenidos con la curva de madurez sean efectivamente similares a los resultados que se obtuvieron del concreto mantenido en obra, para poder predecir la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días.

## 4. Resultados y Análisis

### 4.1 Diseño de Concreto Premezclado de 3000 Psi con y sin Aditivo Retardante

En la tabla 2, se presentan los resultados de los laboratorios para los agregados finos y gruesos utilizados en la elaboración de las mezclas de concreto. Ver anexo 3 y 4

**Tabla 2. Caracterización de los agregados**

<b>CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO</b>	
Peso específico aparente	2,60 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	0,92%
Humedad Natural	6,74%
Módulo de Finura	3,1
MUS	1512
MUC	1725
PASA 200	3,9 %
Equivalente de Arena	78%
Impurezas Orgánicas	1

<b>CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>	
Peso específico aparente	2,56 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	1,52%
Humedad Natural	2,63%
Tamaño Máximo	1"
TMN	3/4"
MUS	1414
MUC	1563
PASA 200	0,9%

**4.1.1 Diseño de mezclas.** Para este proyecto se diseñó en el laboratorio una mezcla patrón de 3000 Psi con grava ¾" asentamiento 4", estas cuantías se calcularon mediante una formula base, así mismo las correcciones por humedad. Ver anexos 5 y 6 , El propósito de este diseño era

validar la relación agua-cemento, manejabilidad y resistencia mecánica a la compresión.

**Tabla 3. Diseño de Mezclas, concreto de 3000 psi con aditivo retardante**

<b>DISEÑO DE MEZCLAS PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ASENTAMIENTO DE 4"</b>			
<b>Material</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Volumen (%)</b>
Cemento (kg)	Ultracem	260 (kg)	8,25
Arena (kg)	Transmateriales	1000 (kg)	38,461
Agregado grueso (kg)	Transmateriales	930 (kg)	36,328
Agua (kg)	Acueducto Cúcuta	170 (kg)	17
Aditivo retardante (kg)	Toxement	1,4 (kg)	N/A
	<b>TOTAL</b>	<b>2360,00</b>	<b>100,042</b>

**Tabla 4. Diseño de Mezclas, concreto de 3000 psi sin aditivo retardante**

<b>DISEÑO DE MEZCLAS PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ASENTAMIENTO DE 4"</b>			
<b>Material</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Volumen (%)</b>
Cemento (kg)	Ultracem	260 (kg)	8,25
Arena (kg)	Transmateriales	1000 (kg)	38,461
Agregado grueso (kg)	Transmateriales	930 (kg)	36,328
Agua (kg)	Acueducto Cúcuta	189 (kg)	18.9
Aditivo retardante (kg)	Toxement	-	-
	<b>TOTAL</b>	<b>2379,00</b>	<b>101,939</b>

## **4.2 Correlación Entre la Resistencia a la Compresión y Madurez del Concreto en condiciones de Laboratorio**

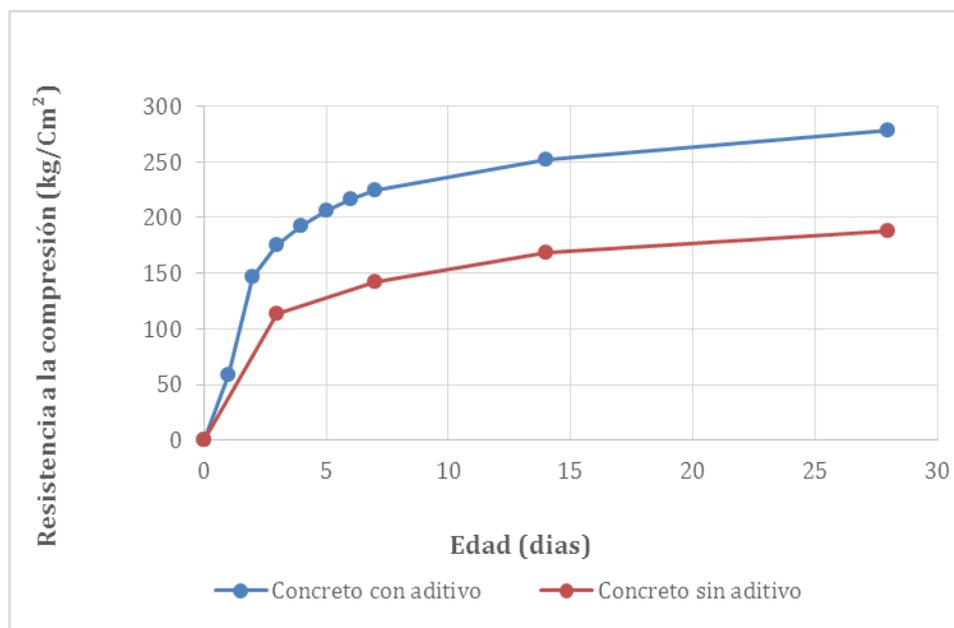
**4.2.1 Determinación de la RMC usando la norma NTC 673- 2010.** Se procedió a calcular la RMC promedio para los cilindros de concretos con aditivo retardante y sin aditivo para una resistencias mecánicas de 3000, psi. En las tablas (5 y 6) se reportan dichos resultados.

**Tabla 5. Resistencias a la Compresión para el diseño de 3000 psi con aditivo retardante**

No. MUESTRA	CONCRETO	FECHAS		EDAD	SLUMP	PESO (g)	DENSIDAD (g/cm3)	CARGA KN	RESISTENCIA			% RESISTENCIA PROMEDIO
		ELABORADO DD.MM.AA	ROTURA DD.MM.AA						Mpa	Kg/cm2	PSI	
1	210N3/4	13/08/2019	14/08/2019	1	4	3728	2,26	46,32	5,7	58,2	828	28%
						3765	2,29	48,00	5,9	60,4	858	
						3697	2,24	46,61	5,7	58,6	834	
2	210N3/4	13/08/2019	15/08/2019	2	4	3711	2,25	120,42	14,8	151,4	2154	70%
						3685	2,24	113,09	13,9	142,2	2023	
						3698	2,24	116,61	14,4	146,6	2086	
3	210N3/4	13/08/2019	16/08/2019	3	4	3630	2,20	134,44	16,6	169,1	2404	83%
						3608	2,19	140,46	17,3	176,6	2512	
						3690	2,24	142,89	17,6	179,7	2556	
4	210N3/4	13/08/2019	17/08/2019	4	4	3758	2,28	154,46	19,0	194,2	2763	91%
						3781	2,30	154,55	19,1	194,3	2764	
						3732	2,27	149,22	18,4	187,6	2669	
5	210N3/4	13/08/2019	18/08/2019	5	4	3690	2,24	165,69	20,4	208,3	2963	98%
						3759	2,28	155,85	19,2	196,0	2787	
						3682	2,24	170,67	21,0	214,6	3052	
6	210N3/4	13/08/2019	19/08/2019	6	4	3712	2,25	170,22	21,0	214,0	3044	102%
						3843	2,33	177,48	21,9	223,2	3174	
						3691	2,24	167,93	20,7	211,2	3003	
7	210N3/4	13/08/2019	20/08/2019	7	4	3772	2,29	186,85	23,0	235,0	3342	106%
						3718	2,26	175,76	21,7	221,0	3143	
						3684	2,24	171,30	21,1	215,4	3064	
14	210N3/4	13/08/2019	27/08/2019	14	4	3705	2,25	199,02	24,5	250,3	3559	119%
						3695	2,24	204,42	25,2	257,0	3656	
						3742	2,27	197,24	24,3	248,0	3528	
28	210N3/4	13/08/2019	10/09/2019	28	4	3712	2,25	219,18	27,0	275,6	3920	132%
						3712	2,25	220,28	27,2	277,0	3940	
						3680	2,23	224,34	27,7	282,1	4012	

**Tabla 6. Resistencias a la Compresión para el diseño de 3000 psi sin aditivo retardante**

No. MUESTRA	CONCRETO	FECHAS		EDAD	SLUMP	PESO (g)	DENSIDA D (g/cm3)	CARGA KN	RESISTENCIA			% RESISTENCIA PROMEDIO
		ELABORADO	ROTURA						Mpa	Kg/cm2	PSI	
		DD.MM.AA	DD.MM.AA									
S.A 3	210N3/4	13/08/2019	16/08/2019	3	4 +-1	3649	2,2	88,69	10,9	111,5	1586,2	54%
								96,24	11,9	121,0	1721,3	
								86,85	10,7	109,2	1553,3	
S.A 7	210N3/4	13/08/2019	20/08/2019	7	4 +-1	3655	2,2	112,26	13,8	141,2	2007,8	68%
								116,32	14,3	146,3	2080,4	
								110,42	13,6	138,8	1974,9	
S.A 14	210N3/4	13/08/2019	27/08/2019	14	4 +-1	3671	2,2	140,2	17,3	176,3	2507,5	81%
								132,75	16,4	166,9	2374,2	
								130,38	16,1	163,9	2331,9	
S.A 28	210N3/4	13/08/2019	10/09/2019	28	4 +-1	3650	2,2	150,32	18,5	189,0	2688,5	89%
								147,87	18,2	185,9	2644,7	
								149,2	18,4	187,6	2668,5	



**Figura 14. RMC en función del tiempo para la mezcla de concreto con aditivo retardante y sin aditivo**

En la gráfica 1. se aprecia que la curva de resistencia es similar en ambos diseños. Se observa que el concreto con aditivo retardante es el que gana mayor resistencia a la compresión debido a que su relación agua/cemento es menor en comparación al diseño sin aditivo retardante, este último solo alcanza el 89 % de la resistencia, mientras que el concreto con aditivo retardante alcanza una resistencia del 132 %.

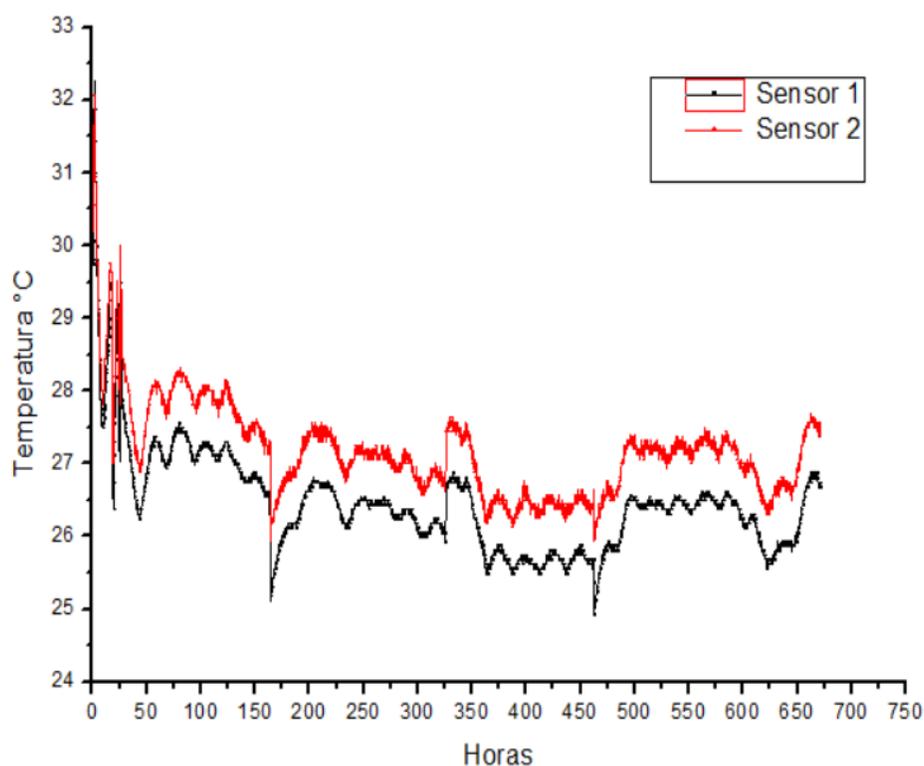
#### **Cálculo de la madurez del Concreto:**

**Perfil térmico para la mezcla de concreto de 3000 psi con aditivo retardante en laboratorio.** Para calcular la resistencia mecánica por el método de la madurez bajo la norma ASTM C1074 se requiere conocer todo el historial de temperatura del concreto hasta la edad que se desee determinar la madurez para la investigación .se dejó el prototipo funcionando los 28 días del curado.

A continuación, en la tabla 7, se observa el historial de temperatura y la temperatura promedio para la mezcla de 3000 psi en el laboratorio para los sensores 2 y 3, el sensor 1 instalado en los especímenes del laboratorio fue descartado para los efectos de cálculo en la curva de madurez, debido a que dejó de funcionar al poco tiempo.

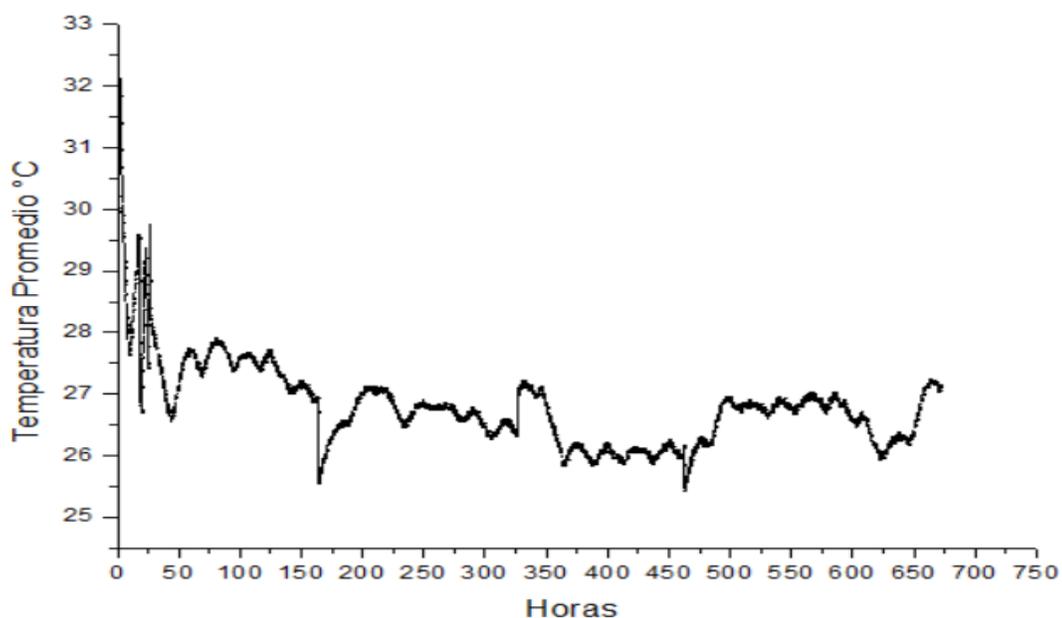
**Tabla 7. Concreto 3000 psi laboratorio. Temperatura promedio vs tiempo durante 28 días**

<b>3000 PSI N3/4 LABORATORIO</b>				
<b>Sensor 2</b>		<b>Sensor 3</b>		<b>Temperatura Promedio</b>
<b>Edad (Horas)</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Edad (Horas)</b>	<b>Temperatura</b>	
0	29,88	0	30,44	30,16
1	30,06	1	30,38	30,22
3	30,69	3	30,69	30,69
5	29,25	5	29,63	29,44
7	28,19	7	28,63	28,41
9	27,5	9	28	27,75
12	28	12	28,44	28,22
15	28,75	15	29,25	29,00
24	28,13	24	28,88	28,51
48	26,69	48	27,38	27,04
72	27,06	72	27,88	27,47
96	27,06	96	27,81	27,44
120	27,19	120	28	27,60
144	26,75	144	27,31	27,03
168	25,56	168	26,38	25,97
192	26,38	192	27,13	26,76
216	26,75	216	27,31	27,03
240	26,38	240	27,06	26,72
264	26,44	264	27,13	26,79
288	26,31	288	27	26,66
312	26,13	312	26,81	26,47
336	26,75	336	27,38	27,07
360	25,88	360	26,56	26,22
384	25,63	384	26,25	25,94
408	25,63	408	26,38	26,01
432	25,69	432	26,38	26,04
456	25,63	456	26,44	26,04
480	25,88	480	26,5	26,19
504	26,38	504	27,13	26,76
528	26,38	528	27	26,69
552	26,38	552	27,13	26,76
576	26,38	576	27,13	26,76
600	26,19	600	26,94	26,57
624	25,63	624	26,38	26,01
648	25,94	648	26,75	26,35
672	26,75	672	27,56	27,16



**Figura 15. Perfil térmico de la mezcla de 3000 psi en laboratorio para los dos sensores**

La grafica 2. Permite observar el comportamiento de la mezcla en relación con la temperatura vs tiempo, mostrando que los dos sensores tienen el mismo comportamiento durante los 28 días. Se puede observar que las mayores temperaturas son alcanzadas en las primeras 48 horas de edad, después esta comienza a descender alcanzando un promedio de 27 °C hasta los 28 días.



**Figura 16. Perfil térmico de temperaturas promedio mezcla de concreto de 3000 Psi en laboratorio**

En la gráfica 3, Se muestra el comportamiento de la mezcla de concreto de 3000 psi, para las temperaturas promedios durante los 28 días, se puede observar que en las primeras 2 horas hay un aumento de temperatura que aproximadamente alcanza los 32.2 °C y luego al termino de las primeras 8 horas desciende aproximadamente hasta los 28°C , Entre las 15 a 29 horas la mezcla vuelve y eleva un poco la temperatura alrededor de los 28.5°C para empezar a descender variando la temperatura entre 25,26 y 27 °C hasta llegar a una temperatura no mayor de 27.2°C durante los 28 días .

**Cálculo del índice de Madurez (IM) o el factor de temperatura-tiempo (FTT) para la mezclas de concreto de 3000 con aditivo retardante.** Para realizar los cálculos de los M o FTT según la norma ASTM C 1074, se utilizó la expresión (1), donde se trabajó como temperatura

datum el valor de cero tal y como lo sugiere la norma.

En las tablas 8 y 9 se presentan los intervalos de dichos resultados de la formula FTT para cada intervalo de tiempo y se determina la temperatura promedio de las lecturas registradas entre los intervalos de tiempo que son de 0.25, los datos para los demás tiempos se presentan en el anexo 8.

**Tabla 8. Cálculo de valores de madurez sensor 2- Laboratorio para los primeros 10 intervalos**

<b>Sensor 2 - 3000 psi (Laboratorio)</b>						
<b>Intervalo</b>	<b>Edad</b>	<b>Temp C°</b>	<b>Incre edad h</b>	<b>Temp prom</b>	<b>Factor T° -t increm °C T</b>	<b>Madurez</b>
0	0,25	29,88				0
1	0,50	29,75	0,25	29,82	7,45	7
2	0,75	29,75	0,25	29,75	7,44	15
3	1,00	29,81	0,25	29,78	7,45	22
4	1,25	30,06	0,25	29,94	7,48	30
5	1,50	30,88	0,25	30,47	7,62	37
6	1,75	31,75	0,25	31,32	7,83	45
7	2,00	32,13	0,25	31,94	7,99	53
8	2,25	32,25	0,25	32,19	8,05	61
9	2,50	31,88	0,25	32,07	8,02	69
10	2,75	31,44	0,25	31,66	7,92	77

**Tabla 9. Cálculo de valores de madurez sensor 3- Laboratorio para los primeros 10 intervalos**

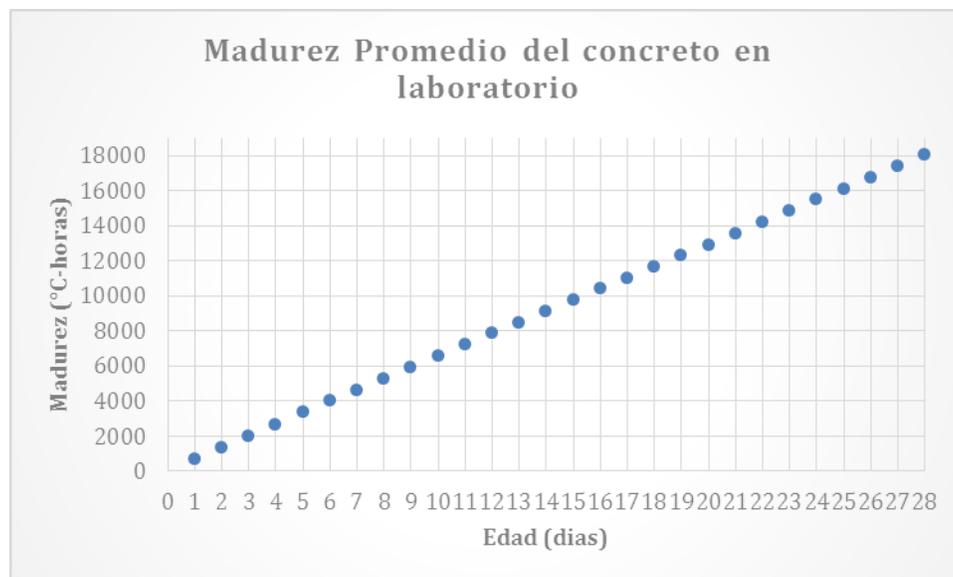
<b>Sensor 3 - 3000 psi (Laboratorio)</b>						
<b>Intervalo</b>	<b>Edad</b>	<b>Temp C°</b>	<b>Incre edad h</b>	<b>Temp prom</b>	<b>Factor T° -t increm °C T</b>	<b>Madurez</b>
0	0,25	30,44				0
1	0,50	30,44	0,25	30,44	7,61	8
2	0,75	30,19	0,25	30,32	7,58	15
3	1,00	30,25	0,25	30,22	7,56	23
4	1,25	30,38	0,25	30,32	7,58	30
5	1,50	30,88	0,25	30,63	7,66	38
6	1,75	31,56	0,25	31,22	7,81	46
7	2,00	31,88	0,25	31,72	7,93	54
8	2,25	32,06	0,25	31,97	7,99	62
9	2,50	31,81	0,25	31,94	7,98	70
10	2,75	31,38	0,25	31,60	7,90	78

Una vez obtenidos los valores de madurez para cada una de las edades requeridas se procedió a calcular el valor de madurez promedio para cada edad como se indica en la tabla 10.

**Tabla 10. Valores de madurez promedio para las edades de 1,2,3,4,5,6,7,14 y 28 días para el concreto del laboratorio**

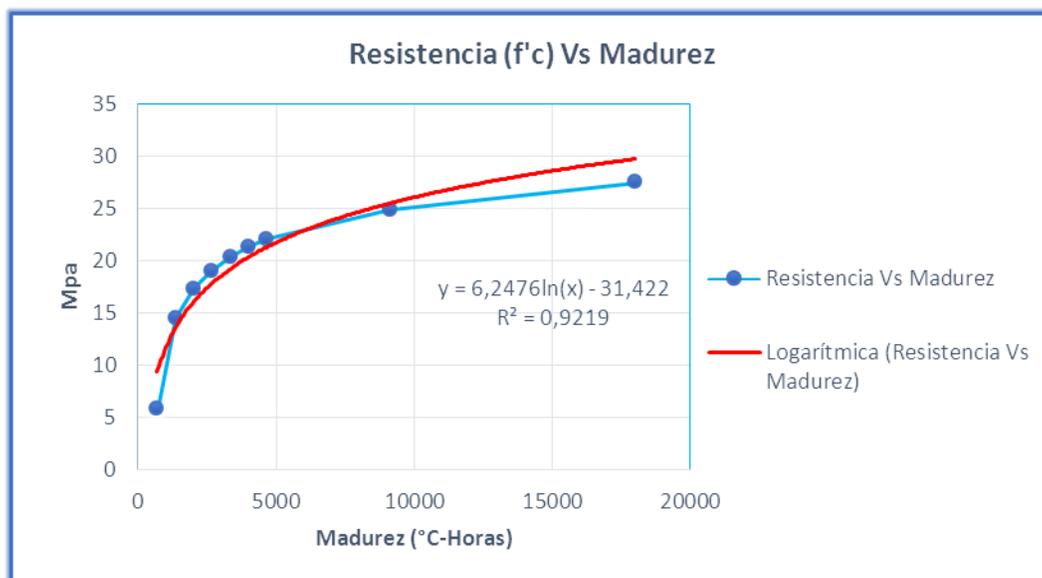
<b>Edad días</b>	<b>Edad horas</b>	<b>sensor 2 Madurez</b>	<b>sensor 3 Madurez</b>	<b>Madurez promedio</b>
1	24	688	697	693
2	48	1337	1363	1350
3	72	1988	2032	2010
4	96	2643	2706	2675
5	120	3296	3376	3336
6	144	3944	4041	3993
7	168	4580	4694	4637
14	336	9009	9239	9124
28	672	17777	18259	18018

En la gráfica 4 se puede apreciar el comportamiento lineal de los valores de madurez del concreto con relación a la edad del mismo.



**Figura 17. Madurez del concreto Vs edad**

**Determinación de la Ecuación resistencia-Madurez.** Para determinar la curva de resistencias Vs madurez se realizó un ajuste logarítmico usando la ecuación (2) a los datos de experimentales de la RMC obtenidos por la norma NTC 673-10 versus los valores del índice de madurez (M) para cada edad, de la cual se hallan los coeficientes A y B que caracterizan las mezclas de concreto diseñadas con aditivo retardante. Ver grafica 5



**Figura 18. Resistencia vs Madurez del concreto en laboratorio**

Esta ecuación en términos de la resistencia y madurez queda de la siguiente manera:

$$\text{RMC} = 6.2476 \ln(M) - 31.422$$

Dónde:

RMC = resistencia del concreto la compresión cualquier edad (mega pascales)

M= Madurez del concreto (°C-h)

#### **Validación de la constante del modelo:**

Se determinó si el valor de la constante (A) de la ecuación es significativo por medio de la prueba de hipótesis t- student, para una hipótesis nula:  $H_0 = A = 0$  no es significativo, en la, se observan los resultados de la prueba de hipótesis el cual indica que un  $P \leq 0.05$  se debe rechazar la hipótesis nula por lo tanto el valor de la constante (A) de la ecuación es significativa.

**Tabla 11. Validación del modelo**

	<b>Coefficientes</b>				
	Coefficients no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Ln Madurez	6,248	0,688	,960	9,084	,000
(Constante)	-31,429	5,615		-5,597	,001

**Análisis de varianza del modelo:**

De igual manera, se realizó el análisis de varianza anova para determinar la bondad del ajuste, con una hipótesis nula  $H_0 =$  modelo no es significativo, en la tabla 12, se encuentra los resultados del análisis de varianza que permite determinar que con un valor de  $P \leq 0,05$  se rechaza la hipótesis nula, los resultados de la prueba da un valor de significancia (sig = 0,000) lo que indica que se debe rechazar la hipótesis nula por lo cual la ecuación es significativa lo que permite explicar la variable dependiente que es la resistencia a la compresión en función de la madurez del concreto.

**Tabla 12. Análisis de varianza del modelo**

	<b>ANOVA</b>				
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	296,366	1	296,366	82,524	0,000
Residuo	25,139	7	3,591		
Total	321,505	8			

La variable independiente es Madurez

### Coefficiente de determinación y correlación:

En la tabla 13. Se encuentra el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.92, que indica que el modelo de regresión logarítmico explica el 92, 2% de la variabilidad de la resistencia a la compresión y un coeficiente de correlación  $R=0,96$  que indica que la correlación es positiva y alta.

**Tabla 13. Coeficiente de determinación y correlación**

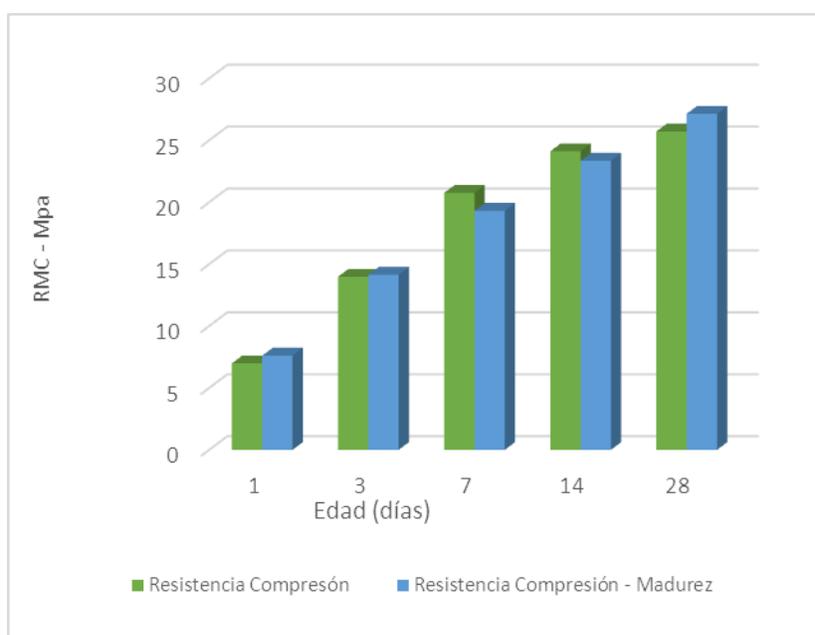
<b>Resumen del modelo</b>			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,960	,922	,911	1,895

La variable independiente Madurez.

**Tabla 14. Valores del índice de madurez (M) promedio, RMC (NTC 673-10), RCM (M) para mezcla de concreto con aditivo retardante 3000 Psi**

Edad (Días)	M (°C-h)	RMC (NTC 673-10) (Mpa)	RMC (M) (Mpa)	Error (%)
1	693	5,86	9,44	61,19
2	1350	14,54	13,61	6,41
3	2010	17,35	16,10	7,24
4	2675	19,03	17,88	6,04
5	3336	20,44	19,26	5,78
6	3993	21,42	20,38	4,81
7	4637	22,18	21,32	3,86
14	9124	24,95	25,55	2,40
28	18018	27,57	29,80	8,09

De los resultados de la tabla 14, se observa que la estimación de la RMC por el método de la madurez presenta errores porcentuales menores al 10% durante los 28 días, excepto para el primer día de edad, estos resultados concuerdan con otras investigaciones [Aspilcueta M. 2015; M. C. Castro-2019], dando confiabilidad a los resultados reportados.



**Figura 19. Resistencia mecánica por norma Vs resistencia mecánica por madurez**

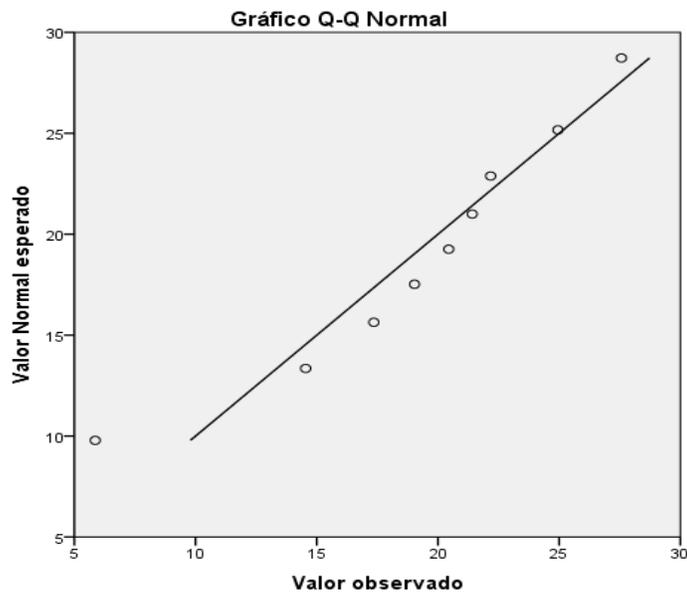
En la gráfica 6, se observa la comparación entre los resultados obtenidos de la estimación de la RMC por el método de madurez y la RMC por la norma NTC 673-10, para los días 1 y 28 la estimación esta por encima de la resistencia a la compresión por la norma y para los días 7 y 14 la estimación de la resistencia está por debajo a la resistencia mecánica por la norma. Sin embargo, todos los resultados reportados son consistentes a los reportados en la literatura.

### **Validación del Modelo Logarítmico:**

El éxito en el ajuste de un modelo de regresión y la validez de los hallazgos y conclusiones obtenidas, dependen de los supuestos del modelo. La importancia de realizar procedimientos conducentes a validar los supuestos, radica fundamentalmente en que ellos inciden en las cualidades de los estimadores de mínimos cuadrados.

**Prueba de normalidad de los residuos.** El supuesto de la normalidad implica que las variables siguen la ley normal, este supuesto se verifica mediante el gráfico de probabilidad normal y la prueba Shapiro –wilk para muestras pequeñas.

**Gráfico de probabilidad normal. (Q-Q normal).** Este gráfico permite determinar si los residuos de la variable tiene un comportamiento normal si los puntos están cerca de la línea en diagonal. En la figura 20, se muestran el gráfico Q-Q normal para la mezcla de concreto con aditivos retardante donde se puede percibir que los residuos siguen un comportamiento normal, es decir los puntos no están tan alejados de la línea recta.



**Figura 20. Grafico Q-Q Normal**

**Prueba shapiro- wilk.** La prueba de Shapiro –Wilk para muestra pequeñas permite hacer una aproximación más analítica sobre la normalidad de los residuos en donde la hipótesis nula:  $H_0$  = los residuos se distribuyen normalmente y la hipótesis alternativa:  $H_a$  = los residuos no se distribuyen normalmente. En la tabla 15 se tienen los resultados de la prueba, observándose que el valor de significancia es mayor a 0.05 ( $sig= 0,530$ ), lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula, lo cual se comprueba que los residuos de la variables siguen un comportamiento normal.

**Tabla 15. Prueba shapiro- wilk**

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VAR00002	,160	9	,200*	,935	9	,530

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

### Independencia de los errores:

El supuesto de independencia de los errores implica que los errores en la medición de las variables explicativas sean independientes entre sí. Se utilizó la prueba de Ljung- Box para determinar si las autocorrelaciones estimadas son todas estadísticamente igual a cero.

En la prueba la hipostasis nula  $H_0$  = los residuos se distribuyen aleatoriamente y la hipótesis alternativa  $H_a$ : los residuos no se distribuye aleatoriamente. Los resultados de la prueba permiten concluir que con niveles de significancia mayor de 0,05 se acepta la hipótesis nula. Es decir los errores residuales son independiente, Como se observan en las Tabla16.

**Tabla 16. Prueba de Ljung- Box**

Autocorrelaciones					
Serie: VAR00003					
Retardo	Autocorrelación	Desv. Error <sup>a</sup>	Estadístico de Box-Ljung		
			Valor	gl	Sig. <sup>b</sup>
1	0,391	0,284	1,889	1	0,169
2	0,089	0,266	2,002	2	0,368
3	0,002	0,246	2,002	3	0,572
4	-0,081	0,225	2,133	4	0,711
5	-0,157	0,201	2,743	5	0,740
6	-0,224	0,174	4,395	6	0,623
7	-0,280	0,142	8,262	7	0,310

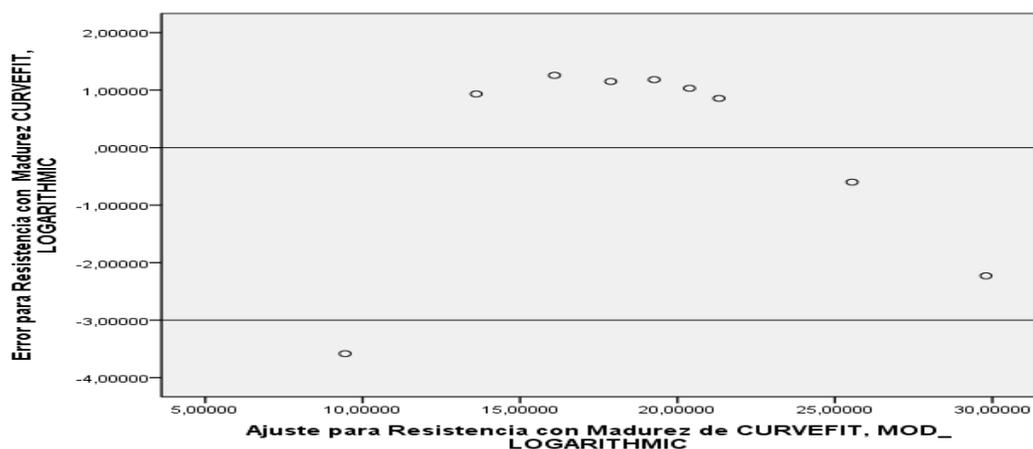
a. El proceso subyacente asumido es independencia (ruido blanco).

b. Se basa en la aproximación de chi-cuadrado asintótica.

### Homocedasticidad de los residuos:

El supuesto de la homocedasticidad implica que los errores tengan varianza constante. Este supuesto se verifica con un gráfico de dispersión (ZPRED= pronósticos tipificados) y (ZRESID = residuos tipificados). En la Figura 21 se pueden observar que los puntos están dentro del intervalo

de  $\pm 3$  desviaciones estándar lo que permite definir que los residuos para todas las mezclas de concreto tienen varianzas constantes.



**Figura 21. Homocedasticidad de los residuos**

### **Validación de la Mezclas de concreto de según la Norma ASTM C31:**

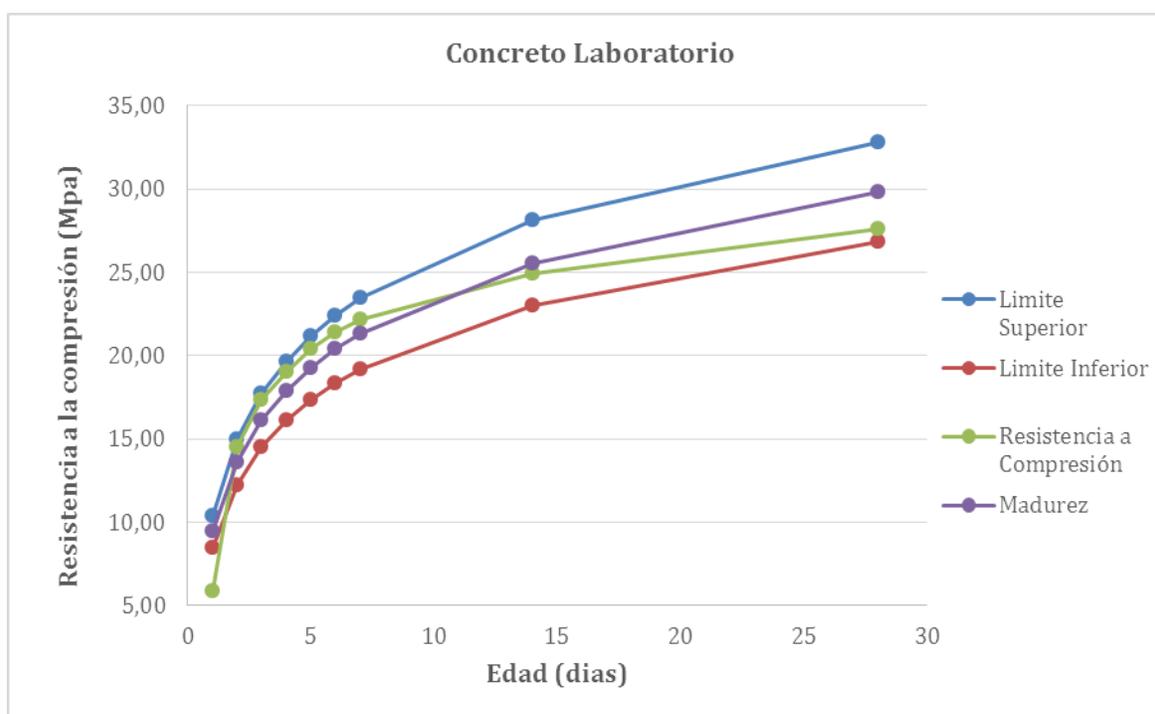
De acuerdo a la norma ASTM C 31, los valores de resistencia obtenidos se comparan con los valores de resistencia del método de madurez de acuerdo al siguiente criterio: si los promedios de resistencia de los especímenes para cada edad de ensayo están fuera del  $\pm 10\%$  de la resistencia obtenida por el método de madurez, se deberán realizar revisiones en cuanto a la reproducción de la mezcla y procedimientos al momento de elaborar y ensayar los cilindros, si no se encuentran factores que hayan influido en los valores de resistencia, entonces la mezcla deberá ser calibrada nuevamente, ya que esta no sería válida, a continuación se comparan los valores de resistencia de cilindros con el  $\pm 10\%$  de resistencia obtenida por el método de madurez.

En la tabla 17 se presentan los valores límites ( $-10\%$ ,  $+10\%$ ) de las resistencias para cada edad obtenidas por el método de madurez para el concreto del laboratorio. Se puede apreciar que los valores de la resistencia a compresión de los cilindros están dentro el porcentaje de desviación

aceptado por el método.

**Tabla 17. Banda de Calibración ( $\pm 10\%$ ) Concreto laboratorio**

Edad (Días)	Madurez °C-Horas	Resistencia obtenida por el método de la madurez			Resistencia a la compresión de cilindros en Mpa
		-10%	Valor	10%	
1	693	8,50	9,44	10,39	5,86
2	1350	12,25	13,61	14,97	14,54
3	2010	14,49	16,10	17,71	17,35
4	2675	16,09	17,88	19,67	19,03
5	3336	17,34	19,26	21,19	20,44
6	3993	18,35	20,38	22,42	21,42
7	4637	19,19	21,32	23,45	22,18
14	9124	22,99	25,55	28,10	24,95
28	18018	26,82	29,80	32,78	27,57



**Figura 22. Banda Calibración ( $\pm 10\%$ ) Concreto Laboratorio**

La construcción de la banda de calibración que permite comparar la RMC con la norma y la RMC por el método de la madurez, muestra con claridad que para la mezcla con aditivo retardante para una resistencia de 3000 psi, los valores de la RMC de los cilindros están dentro del porcentaje de desviación aceptado por el método. Ver grafica 7. Los resultados permiten concluir que la mezcla está calibrada y que las RMC estimadas por el método de la madurez son confiables.

### **Cálculo de la Madurez del concreto en obra:**

Para llevar a cabo este proyecto se decidió instalar los sensores en un lugar dentro de la obra que fuera de fácil acceso a la energía eléctrica para garantizar que el circuito se mantuviera energizado por 28 días, y a su vez se buscó un lugar en cual el circuito no estuviera expuesto a la lluvia ni al sol, teniendo en cuenta lo anterior se optó por instalar los sensores en el piso del laboratorio del colegio gremios unidos, sede Simón Bolívar.



**Figura 23. Piso del Laboratorio antes de la instalación del concreto**

El área de referencia fue 6.30m \* 4m para un total de 25.2m<sup>2</sup>, los sensores estaban separados equidistantemente a 2 metros, tal como lo muestra la siguiente imagen.



**Figura 24. Sensores instalados en el concreto**

**Perfil térmico de la mezcla de 3000 psi en obra:**

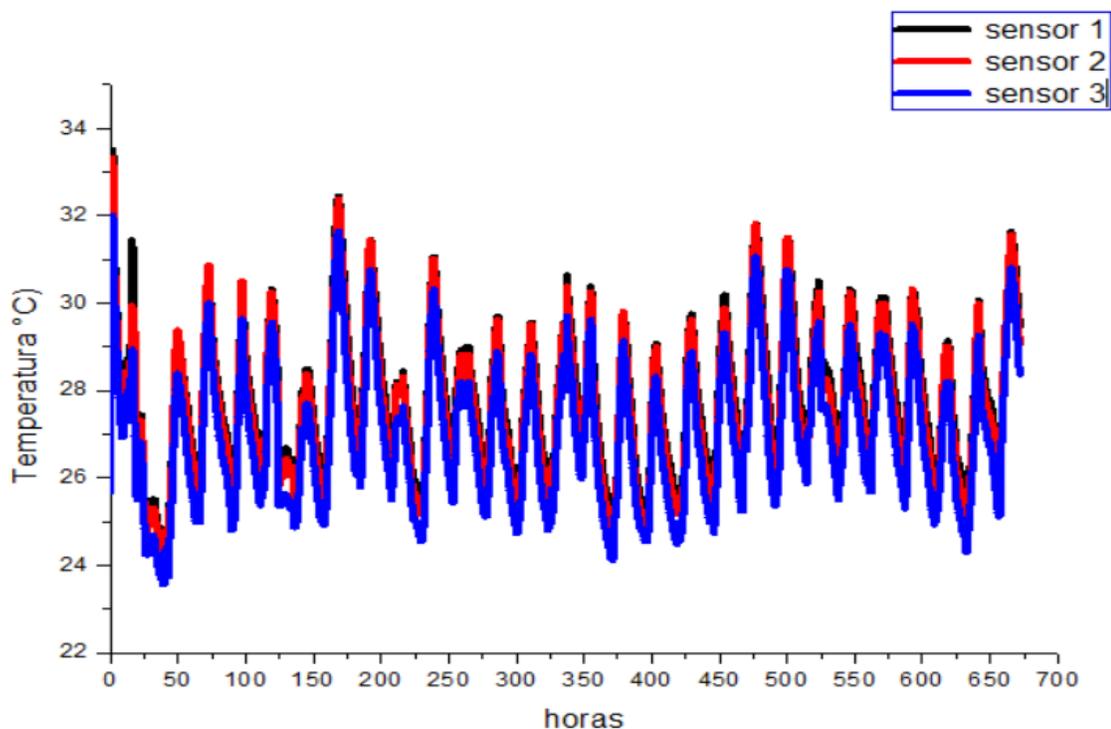
En la tabla 18 se describe el comportamiento de la temperatura interna del concreto, lo cual permite conocer el perfil térmico de las mezclas de concreto.

**Tabla 18. 3000 psi Obra, temperatura vs tiempo durante 28 días**

3000 PSI N3/4 OBRA						
Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Temperatura Promedio
Edad (Horas)	Temperatura	Edad (Horas)	Temperatura	Edad (Horas)	Temperatura	
0	30,81	0	26,63	0	25,69	27,71
1	30,94	1	30,94	1	30,44	30,77
3	31,5	3	31,31	3	30,56	31,12
5	29,69	5	29,50	5	28,81	29,33
7	28,25	7	28,06	7	27,56	27,96
9	27,69	9	27,31	9	26,94	27,31
12	28,31	12	27,94	12	27,56	27,94
15	29,06	15	28,69	15	28,31	28,69
24	26,5	24	26,44	24	25,94	26,29
48	28,69	48	28,75	48	27,81	28,42
72	30,56	72	30,63	72	29,81	30,33
96	29,56	96	29,56	96	28,75	29,29

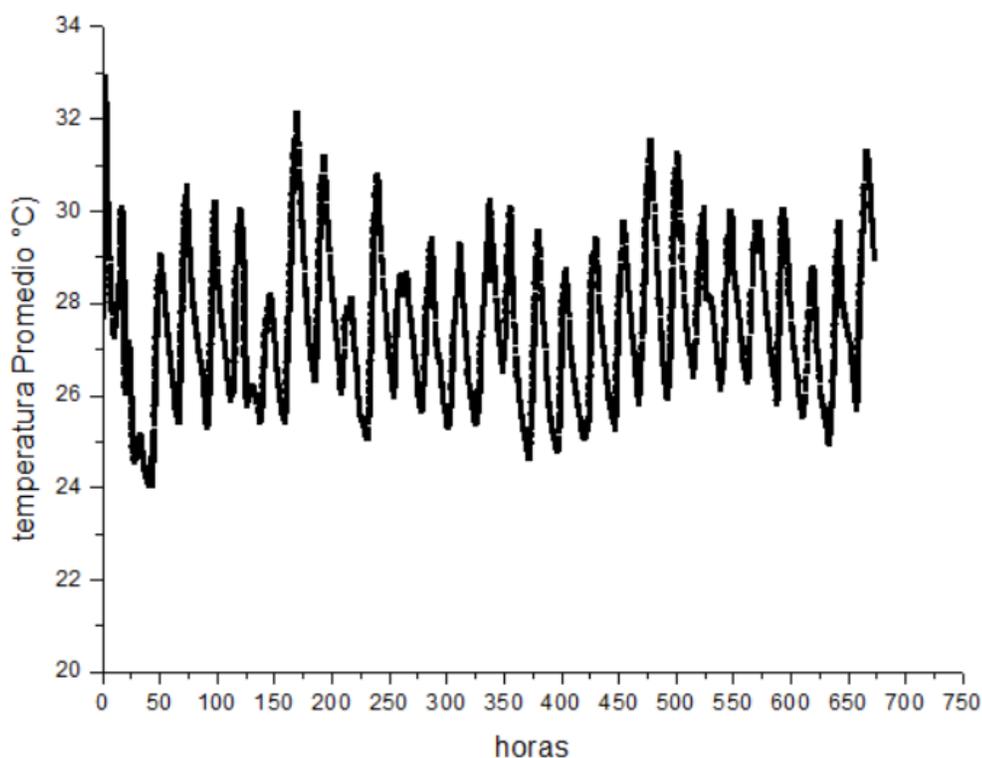
3000 PSI N3/4 OBRA						
Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Temperatura Promedio
Edad (Horas)	Temperatura	Edad (Horas)	Temperatura	Edad (Horas)	Temperatura	
120	30,19	120	30,13	120	29,44	29,92
144	28,31	144	28,19	144	27,44	27,98
168	32,38	168	32,25	168	31,63	32,09
192	31,44	192	31,44	192	30,69	31,19
216	28,44	216	28,31	216	27,63	28,13
240	30,81	240	30,69	240	30,00	30,50
264	29,00	264	28,81	264	28,06	28,62
288	28,81	288	28,63	288	27,94	28,46
312	29,19	312	29,06	312	28,31	28,85
336	29,31	336	29,19	336	28,50	29,00
360	27,06	360	26,63	360	26,00	26,56
384	27,88	384	27,56	384	26,99	27,48
408	27,31	408	27,00	408	26,31	26,87
432	28,56	432	28,31	432	27,63	28,17
456	29,31	456	29,06	456	28,44	28,94
480	30,69	480	30,38	480	29,75	30,27
504	30,00	504	29,63	504	28,88	29,50
528	28,5	528	28,19	528	27,63	28,11
552	28,69	552	28,38	552	27,75	28,27
576	28,88	576	28,56	576	27,94	28,46
600	28,06	600	27,75	600	26,94	27,58
624	27,06	624	26,75	624	26,00	26,60
648	27,88	648	27,56	648	26,94	27,46
672	29,50	672	29,06	672	28,38	28,98

En la gráfica 8. Permite observar el comportamiento de las mezcla en relación con la temperatura vs tiempo, mostrando que no hay diferencia significativa de temperatura para cada uno de los sensores en el periodo de 28 días. Se puede observar que en obra son registradas las mayores temperaturas en las primeras 5 horas de edad y alcanzando su pico más alto a los 7 días, luego de esta edad la temperatura comienza a descender con un promedio de 28 °C hasta los 28 días.



**Figura 25. Perfil termico mezcla 3000 psi con retardante en obra**

En la gráfica 9. Se muestra el comportamiento de la mezcla de concreto de 3000 psi instalado en la Obra, para las temperaturas promedio durante los 28 días, se puede observar que en las primeras 2 horas hay un aumento de temperatura que aproximadamente alcanza los 32.9 °C y luego al termino de las primeras 9 horas desciende aproximadamente hasta los 27.3 °C , Entre las 12 y 17 horas la mezcla vuelve y eleva un poco la temperatura alrededor de los 30 °C para empezar a descender hasta los 24.2 °C en las primeras 42 horas. Posteriormente adopta un comportamiento térmico muy fluctuoso que va desde los 25 °C a los 32 °C debido a la variación natural de la temperatura al transcurrir el día, donde las mayores temperaturas se registran en la tarde y las menores por la noche.



**Figura 26. Perfil térmico de temperatura promedio para la mezcla de 3000 psi con aditivo retardante en obra**

En la siguiente figura encontramos intervalos de dichos resultados de la formula FTT para cada intervalo de tiempo y se determina la temperatura promedio de las lecturas registradas entre los intervalos de tiempo que son de 0.25 la cual se pueden verificar en la siguiente ecuación. (Ver anexo 9)

$$FTT = \Delta t \sum (t_a - t_0)$$

**Figura 27. Cálculo de valores de madurez para los sensores en Obra de los primeros 20 intervalos**

**Tabla 19. Cálculo de valores**

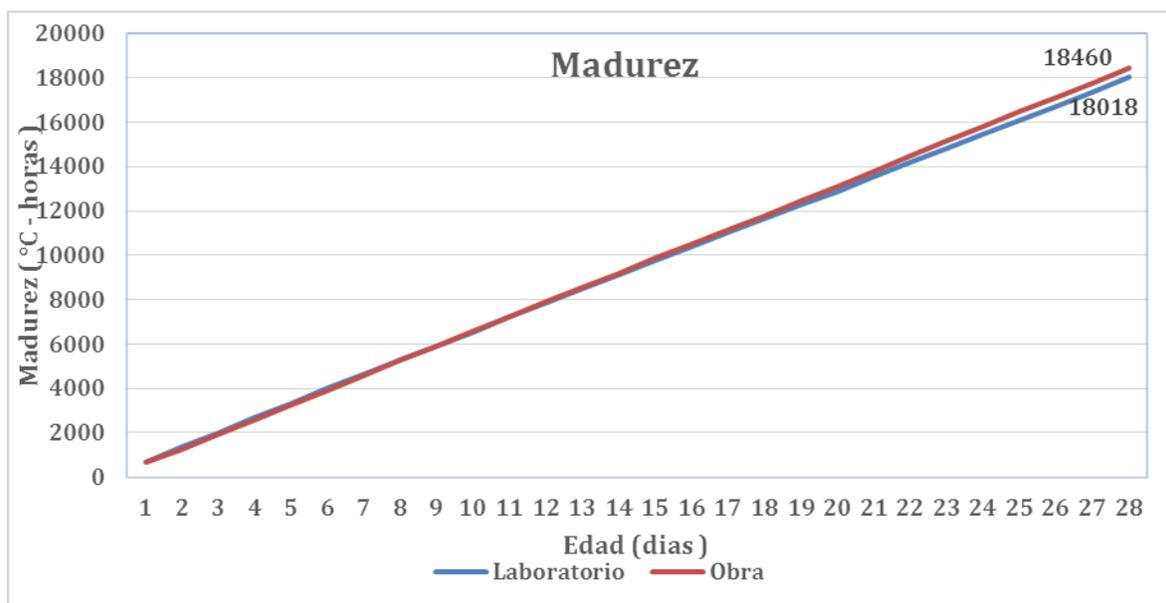
Sensor 1 - 3000 psi ( Obra )							Sensor 2 - 3000 psi ( Obra )							Sensor 3 - 3000 psi ( Obra )							
Intervalo	Edad	Temp C°	Incremento edad (h)	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez	Intervalo	Edad	Temp C°	Incremento edad (h)	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez	Intervalo	Edad	Temp C°	Incremento edad (h)	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez	
0	0	30.81					0	0	26.63				0	0	0	25.69					0
1	0.25	29.44	0.25	30.13	7.53	8	1	0.25	29.19	0.25	27.91	6.98	7	1	0.25	28.63	0.25	27.16	6.79	7	
2	0.5	30.00	0.25	29.72	7.43	15	2	0.50	29.94	0.25	29.57	7.39	14	2	0.50	29.38	0.25	29.01	7.25	14	
3	0.75	30.56	0.25	30.28	7.57	23	3	0.75	30.50	0.25	30.22	7.56	22	3	0.75	30.13	0.25	29.76	7.44	21	
4	1	30.94	0.25	30.75	7.69	30	4	1.00	30.94	0.25	30.72	7.68	30	4	1.00	30.44	0.25	30.29	7.57	29	
5	1.25	31.56	0.25	31.25	7.81	38	5	1.25	31.75	0.25	31.35	7.84	37	5	1.25	30.94	0.25	30.69	7.67	37	
6	1.5	32.63	0.25	32.10	8.02	46	6	1.50	32.81	0.25	32.28	8.07	46	6	1.50	31.75	0.25	31.35	7.84	45	
7	1.75	33.19	0.25	32.91	8.23	54	7	1.75	33.19	0.25	33.00	8.25	54	7	1.75	31.94	0.25	31.85	7.96	53	
8	2	33.50	0.25	33.35	8.34	63	8	2.00	33.31	0.25	33.25	8.31	62	8	2.00	32.00	0.25	31.97	7.99	61	
9	2.25	33.00	0.25	33.25	8.31	71	9	2.25	32.75	0.25	33.03	8.26	70	9	2.25	31.81	0.25	31.91	7.98	68	
10	2.5	32.44	0.25	32.72	8.18	79	10	2.50	32.25	0.25	32.50	8.13	78	10	2.50	31.38	0.25	31.60	7.90	76	
11	2.75	31.94	0.25	32.19	8.05	87	11	2.75	31.75	0.25	32.00	8.00	86	11	2.75	30.94	0.25	31.16	7.79	84	
12	3	31.50	0.25	31.72	7.93	95	12	3.00	31.31	0.25	31.53	7.88	94	12	3.00	30.56	0.25	30.75	7.69	92	
13	3.25	31.19	0.25	31.35	7.84	103	13	3.25	30.94	0.25	31.13	7.78	102	13	3.25	30.25	0.25	30.41	7.60	99	
14	3.5	30.88	0.25	31.04	7.76	111	14	3.50	30.69	0.25	30.82	7.70	110	14	3.50	30.00	0.25	30.13	7.53	107	
15	3.75	30.69	0.25	30.79	7.70	118	15	3.75	30.50	0.25	30.60	7.65	117	15	3.75	29.75	0.25	29.88	7.47	114	
16	4	30.44	0.25	30.57	7.64	126	16	4.00	30.25	0.25	30.38	7.59	125	16	4.00	29.50	0.25	29.63	7.41	122	
17	4.25	30.25	0.25	30.35	7.59	134	17	4.25	30.00	0.25	30.13	7.53	133	17	4.25	29.31	0.25	29.41	7.35	129	
18	4.5	30.00	0.25	30.13	7.53	141	18	4.50	29.81	0.25	29.91	7.48	140	18	4.50	29.19	0.25	29.25	7.31	137	
19	4.75	29.81	0.25	29.91	7.48	149	19	4.75	29.63	0.25	29.72	7.43	148	19	4.75	28.94	0.25	29.07	7.27	144	
20	5	29.69	0.25	29.75	7.44	156	20	5.00	29.50	0.25	29.57	7.39	155	20	5.00	28.81	0.25	28.88	7.22	151	

En la tabla 20 se aprecia los valores de madurez promedio para las edades de 1,2,3,4,5,6,7,14 y 28 días del concreto en obra.

**Tabla 20. Madurez promedio Vs Edad en días para concreto de 3000 psi en Obra**

Edad días	Edad horas	Sensor 1 Madurez	Sensor 2 Madurez	Sensor 3 Madurez	Madurez Promedio
1	24	692	646	670	669
2	48	1300	1251	1259	1270
3	72	1966	1915	1904	1928
4	96	2633	2577	2550	2587
5	120	3309	3248	3206	3254
6	144	3959	3893	3833	3895
7	168	4628	4557	4482	4556
14	336	9237	9215	9030	9161
28	672	18728	18528	18125	18460

En la gráfica 12 se puede apreciar el comportamiento lineal de los valores de madurez del concreto con relación a la edad del mismo en obra comparado con los resultados del laboratorio siendo estas dos graficas muy similares durante los 28 días de edad del concreto.



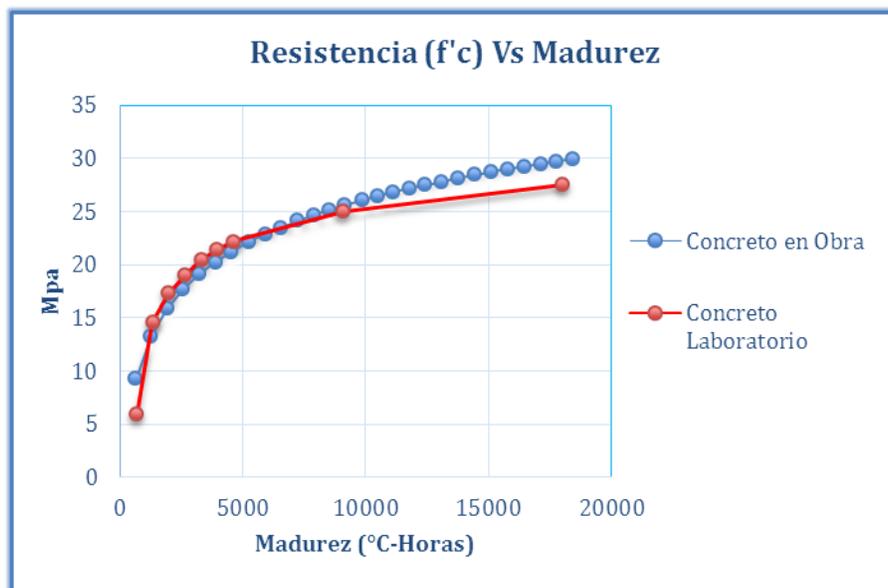
**Figura 28. Madurez Vs Edad para el concreto de Laboratorio y Obra**

Para calcular la resistencia a la compresión del concreto instalado en obra, sustituimos los valores de madurez promedio en obra en la ecuación logarítmica obtenida de los datos de las mezclas el laboratorio (ver tabla 21) y se obtiene los siguientes valores.

**Tabla 21. Resistencia del concreto instalado en Obra**

Madurez Vs Resistencia a la compresión		
Edad (Dias)	Madurez (° C-Horas)	Resistencia (f'c) Mpa
1	669	9,226648624
2	1270	13,22817387
3	1928	15,83741636
4	2587	17,67242378
5	3254	19,10698142
6	3895	20,22971411
7	4556	21,20857683
8	5247	22,09086962
9	5920	22,84557845
10	6569	23,4951343
11	7238	24,10075951
12	7895	24,644132
13	8542	25,13571992
14	9161	25,57281955
15	9868	26,03729402
16	10506	26,42891298
17	11142	26,79593019
18	11781	27,14452271
19	12434	27,48139195
20	13113	27,8138997
21	13795	28,13065831
22	14469	28,42867568
23	15140	28,71174681
24	15814	28,98399507
25	16483	29,2428523
26	17132	29,48399898
27	17777	29,71501135
28	18460	29,95054617

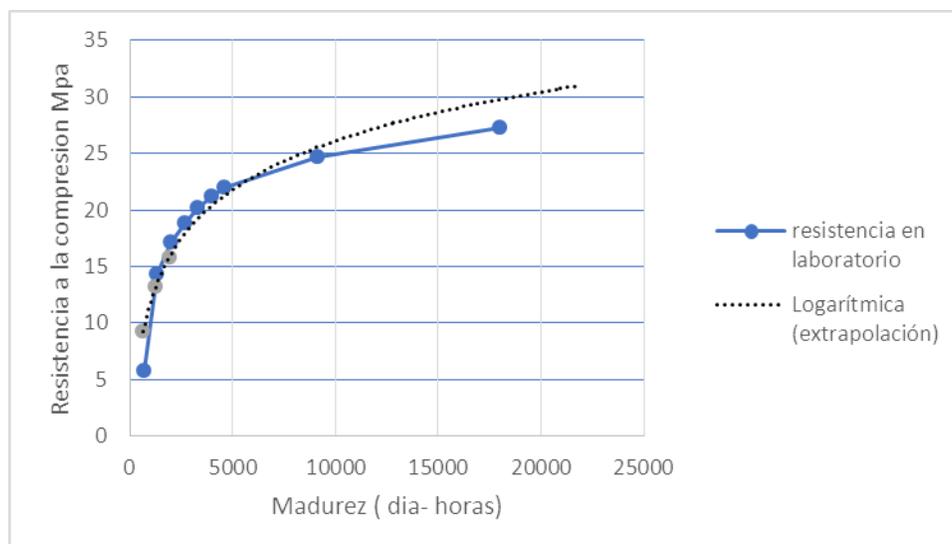
Con los valores de madurez y resistencia a la compresión en el concreto en obra, se procede a realizar la gráfica y compararla con la obtenida en el laboratorio.



**Figura 29. Comparación de la Resistencia vs Madurez para el concreto en obra y laboratorio**

Los resultados de la gráfica 13, permiten concluir que para las dos curvas a edades temprana los valores de madurez son muy cercanos, mientras que para después de los 14 días la madurez del concreto en obra es mayor a la madurez del concreto en el laboratorio. Así mismo, en ambas curvas a los 28 días la resistencia a la compresión está por encima a los 21 Mpa (3000 psi) para la cual fue diseñada.

Como el objetivo del método de la madurez es predecir la resistencia mecánica a la compresión con valores de madurez del concreto a edades temprana, se realizó una extrapolación de la curva con los datos de madurez obtenido en obra para los tres primeros días de curado. Ver grafica 14.



**Figura 30. Comparación entre la curva resistencia –madurez en el laboratorio con la curva obtenida por extrapolación**

Se puede observar en la gráfica 14, que la curva obtenida mediante la extrapolación de los datos presenta muy poca variabilidad con la curva obtenida en el laboratorio, lo cual permite concluir que el método de la madurez es confiable para predecir la resistencia mecánica a la compresión del concreto conociendo la madurez en los primeros días de curado, lo cual facilita la toma de decisiones en obra.

## 5. Conclusiones

1. Aunque la estimación de la resistencia mecánica a la compresión por el método de madurez ofrece considerables ventajas frente al método tradicional, es indispensable tener en cuenta que este solo funciona para un diseño de mezclas específico, donde los cambios en la dosificación modifican por completo la Curva Índice de Madurez vs. Resistencia a la compresión Simple.

2. Analizando el perfil térmico para temperaturas promedio del concreto en laboratorio, nos damos cuenta que durante las primeras 48 horas se dan picos y que después de este tiempo la temperatura se estabiliza. Este comportamiento es producto de la reacción exotérmica que se origina cuando la partícula de cemento comienza a hidratarse, estas temperaturas disminuyen gradualmente al finalizar la etapa de fraguado. Por otra parte, el perfil térmico de la temperatura promedio para el concreto en obra se muestra muy inestable durante todo el proceso, debido a que está condicionada por la temperatura ambiente.

3. Los valores de la Resistencia mecánica a la compresión de los cilindros están dentro del porcentaje de desviación aceptado por el método, lo cual permite concluir que la mezcla está calibrada y que las RMC estimadas por el método de la madurez son confiables.

4. La curva índice de madurez vs resistencia mecánica a la compresión calculada en el laboratorio nos permitió comparar las resistencias obtenidas en obra, donde la dispersión de estos valores no superó el 1.03 %, lo cual permite concluir que el método de la madurez es confiable para predecir la resistencia mecánica a la compresión conociendo la madurez en los primeros días de curado, lo cual facilita la toma de decisiones en obra.

5. Se concluye que al aditivo retardante, además de prolongar los tiempos de fraguado, juega un papel fundamental en el diseño de mezclas, plastificando el concreto y reduciendo el agua de mezclado, lo cual incrementa el desarrollo de las resistencias mecánicas.

## **6. Recomendaciones**

Se recomienda que los dispositivos destinados al registro temperaturas que se encuentran a la intemperie sean protegidos del agua, humedad, polvo y residuos de construcción. En nuestro caso para cumplir este propósito se cubrió el prototipo con una caja de madera y un forro plástico.

Se aconseja monitorear constantemente el correcto funcionamiento del Arduino para garantizar la toma y almacenamiento de las temperaturas.

Es importante determinar una fuente fija de energía para en circuito ya que las pérdida de energía, afecta la secuencia de los intervalos de tiempo para la determinación de la madurez.

Se aconseja realizar continuamente controles de calidad a los agregados con el fin de mantener las características iniciales del diseño o por el contrario tomar las medidas correctivas si surge la necesidad de optimizar el diseño de mezclas.

## Referencias Bibliográficas

- Aguilar, O: Rodríguez, E. & Sermeño, J. (2009). “Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio”. Trabajo de grado. Universidad de El Salvador.
- Bolívar, G. (2018) “Análisis de la resistencia a la compresión  $F'c$  del concreto hidráulico adicionado con silicato de sodio, mediante ensayos de madurez y resistencia a la compresión”. Trabajo de grado. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Castro, M. & López, M. (2013) “Aplicación del método de la madurez para la estimación de tiempos de fraguado y resistencias de concretos industrializados con el fin de conocer la edad del descimbrado”. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Marín, J. & Correa, C. (2006). Calorimetría directa como herramienta para la medición de flujo de calor en circuitos electrónicos. Universidad Industrial de Santander, 5(1)1.
- Ocampo, S. & Villamil, J. (2018). “Determinación de la resistencia del concreto de 21 MPA mediante el método de la madurez correlacionando resistencia temperatura y tiempo”. Trabajo de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.
- Suárez, E. & Peñuela, E. (2018). “Resistencia mecánica del concreto para tres diseños de mezclas variando la relación agua / cemento, mediante el método de la madurez”. Trabajo de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Vargas, D. & Duarte, I. (2016). “Correlación entre las fases del perfil térmico del concreto obtenido en condiciones de aislamiento térmico con los tiempos de fraguado”. Trabajo de grado. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

**ANEXOS**

## Anexo 1. Ficha técnica del aditivo retardante

<b>EUCON RETARDER 450 CL</b> ADITIVO RETARDANTE Y REDUCTOR DE AGUA	
<b>Descripción</b>	<p>EUCON RETARDER 450CL es un aditivo líquido, reductor de agua, de prolongado tiempo de manejabilidad para concreto. EUCON RETARDER 450CL está formulado para dar un óptimo desempeño en concretos que requieren reducir agua o que van a ser trabajados en ambientes de mediana a alta temperatura.</p> <p>EUCON RETARDER 450CL no contiene cloruro de calcio y otros materiales con potencial de oxidación.</p> <p>EUCON RETARDER 450CL cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-494 como Tipo B y D.</p>
<b>Información Técnica</b>	<p>Densidad: 1.20 kg/l +/- 0.02 kg/l Apariencia: Líquido de baja viscosidad. Color: Café.</p>
<b>Usos</b>	<p>EUCON RETARDER 450CL es recomendado en fabricación de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Concreto de uso general y/o concreto arquitectónico.</li> <li>Concreto que requiere un fraguado prolongado y mayor tiempo de manejabilidad.</li> <li>Aplicaciones de concreto en clima cálido e intermedio donde se requiera largo tiempo para su colocación.</li> <li>Concretos lanzados.</li> <li>Concretos Masivos.</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementa la trabajabilidad.</li> <li>Reduce el requerimiento de agua.</li> <li>Reduce la segregación.</li> <li>Compatible con otros aditivos.</li> <li>Permite reducción de agua mayor al 10%.</li> <li>Incrementa el desarrollo de resistencias mecánicas.</li> <li>Fraguado retardado en las dosis recomendadas.</li> </ul>
<b>Aplicación</b>	<p>EUCON RETARDER 450CL debe ser adicionado preferiblemente al agua de amasado o al concreto antes de la colocación, no debe ser colocado al cemento seco o sobre otros aditivos hasta que éstos estén completamente incorporados en la mezcla. Para asegurar la máxima eficacia se recomienda ampliar el tiempo de mezclado medio minuto más por cada metro cúbico de concreto.</p> <p>EUCON RETARDER 450CL puede ser dosificado con equipo automático para garantizar uniformidad en el trabajo.</p>
<b>Recomendaciones Especiales</b>	<p>EUCON RETARDER 450 CL debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado y en áreas ventiladas con temperatura entre 5°C y 35°C.</p> <p>Vida útil en almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 año en su empaque original cerrado.</li> <li>• 6 meses a granel</li> </ul>
<p><b>OFICINA PRINCIPAL:</b> Calle 20C Nº 43A - 52 Int. 4 - Bogotá - Colombia. PBX: (1) 208 8600 • FAX: (1) 208 8600 Ext 133. <a href="http://WWW.TOXEMENT.COM.CO">WWW.TOXEMENT.COM.CO</a></p>	
 <p>EUCLID GROUP TOXEMENT</p>	

ADITIVOS

Eucon Retarder 450 CL

## Anexo 2. Componentes de prototipo Arduino

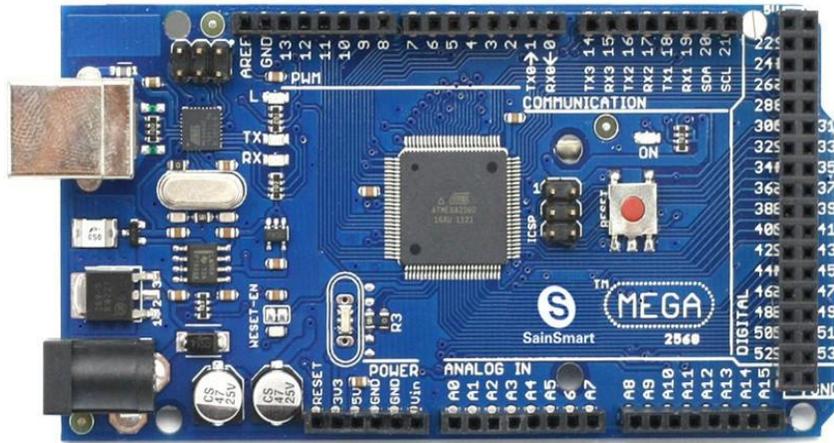


Figura. 1 Arduino Mega 2560 R3 (Atmega2560-16au)



Figura. 2 Sensor RTC (DS1302)

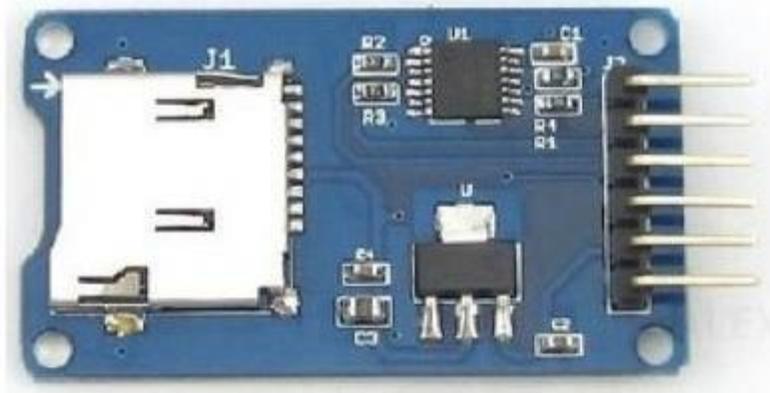


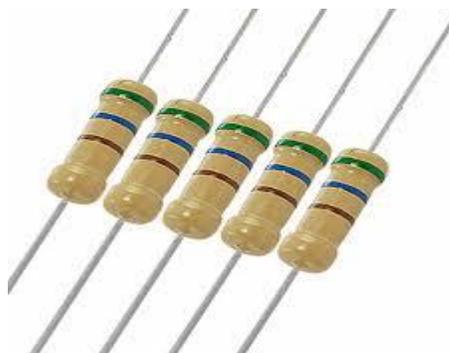
Figura. 3 Sensor Micro SD



*Figura. 4 Sensor de Temperatura (DS18B20)*



*Figura. 5 Tarjeta Bornera*



*Figura. 6 Resistencia para circuitos*

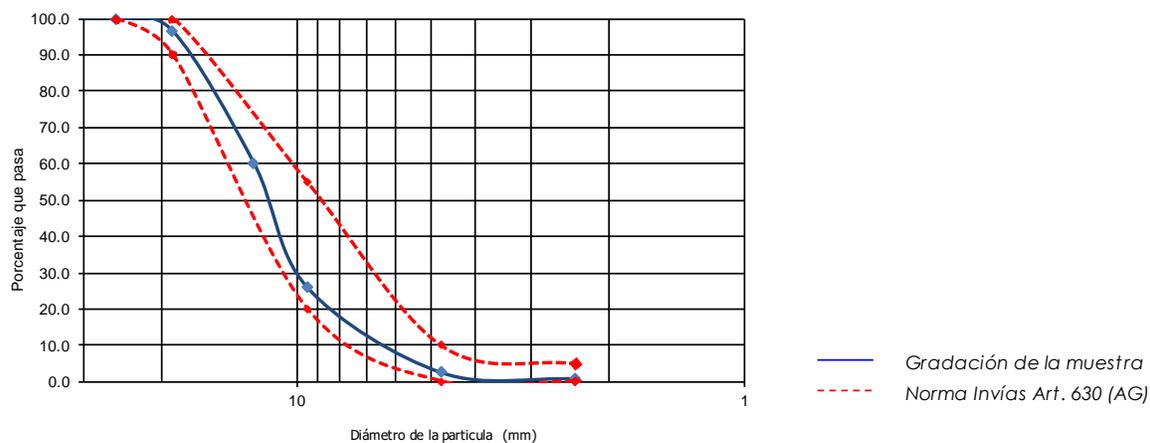
### Anexo 3 Laboratorios

 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>ENSAYO GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO</b>	<b>CODIGO:GPC-F-36</b>
	<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>	<b>VERSION:01</b>
		<b>FA:29/02/2015</b>

<b>MUESTRA:</b>	<b>TRITURADO DE TRANSMATERIALES 3/4"</b>
<b>FECHA:</b>	<b>lunes, 10 de junio de 2019</b>
<b>NORMA :</b>	<b>NTC 174</b>
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO</b>	

P <sub>1</sub> =	5223.0	P <sub>2</sub> =	5179.0		NORMA (%)	
<b>Tamiz</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>%Retenido Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
3"	0.0	0.000	0.000	100.0		
2 1/2"	0.0	0.000	0.000	100.0		
2"	0.0	0.000	0.000	100.0		
1 1/2"	0.0	0.000	0.000	100.0		
1"	0.0	0.000	0.000	100.0	100	100
3/4"	183.0	3.504	3.504	96.5	90	100
1/2"	1897.0	36.320	39.824	60.2		
3/8"	1780.0	34.080	73.904	26.1	20	55
No. 4	1228.0	23.511	97.415	2.6	0	10
No. 8	91.0	1.742	99.158	0.8	0	5
Fondo		0.000	99.158	0.8		
TOTAL	5,179.0					

<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	1"	25 mm
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>	3/4 "	19 mm



OBSERVACIONES: Ensayo realizado en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal

	ENSAYO GRANULOMETRIA AGREGADO FINO	CODIGO:GPC-F-37
	GESTION PRODUCCION Y CALIDAD	VERSION:01
		FA:29/02/2016

<b>MUESTRA:</b>	<b>ARENA GRUESA TRANSMATERIALES</b>
<b>FECHA:</b>	<i>lunes, 10 de junio de 2019</i>
<b>NORMA :</b>	<b>NTC 174</b>

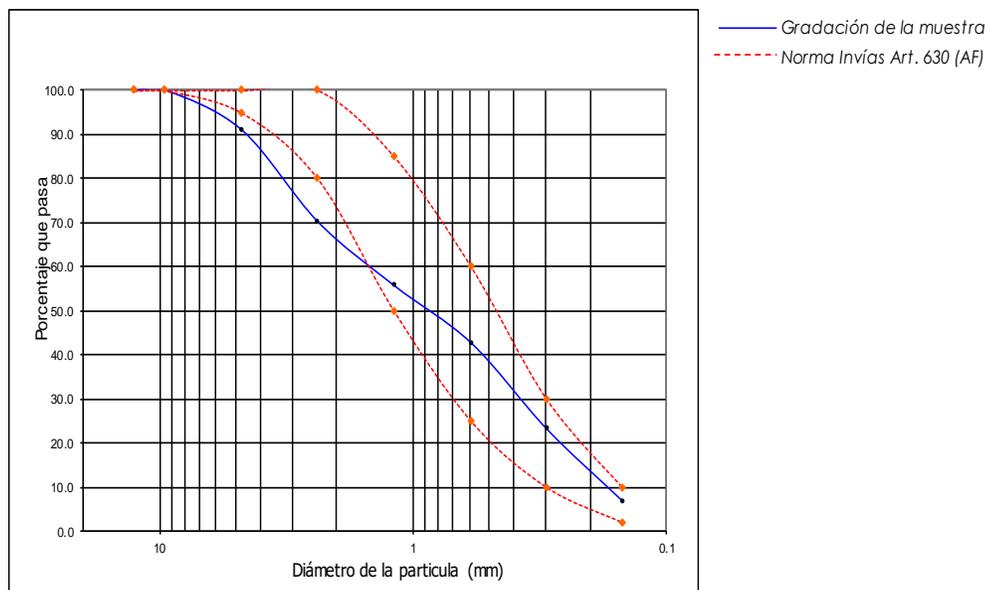
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO</b>
--

P1=	1090	P2=	1048	NTC-174		
				NORMA (%)		
Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Ret. Acumulado	%Pasa	Min.	Max.
1/2"		0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"		0.0	0.0	100.0	100	100
No. 4	98.0	9.0	9.0	91.0	95	100
No. 8	227.0	20.8	29.8	70.2	80	100
No. 16	157.0	14.4	44.2	55.8	50	85
No. 30	142.0	13.0	57.2	42.8	25	60
No. 50	212.0	19.4	76.7	23.3	10	30
No. 100	178.0	16.3	93.0	7.0	2	10
No.200	34.0	3.1	96.1	3.9		
Fondo	0.0	0.0	96.1	3.9		
<b>Total</b>	<b>1,048.0</b>	96.1				

<b>MODULO DE FINURA</b>	<b>3.10</b>
-------------------------	-------------

Norma	2.38 - 3.15
-------	-------------

### CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES: Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros ubicado en la Planta Principal

	<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL TRITURADO</b>	<b>CODIGO:GPC-F-46</b>														
		<b>VERSION:01</b>														
	<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>	FA:30/06/2016														
<b>MUESTRA:</b> <i>TRITURADO 3/4" - PLANTA TRANSMATERIALES</i>																
<b>FECHA:</b> <i>jueves, 13 de junio de 2019</i>																
<b>NORMA :</b> <i>NTC 176</i>																
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL TRITURADO</b>																
<table> <tr> <td>A= Peso de la muestra seca al horno (gr.)</td> <td>2955</td> </tr> <tr> <td>B= Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente (gr.)</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>C= Peso en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr.)</td> <td>1850</td> </tr> <tr> <td><b>Peso específico aparente Pea = (A*0.9975)/(B -C)</b></td> <td><b>2,56</b></td> </tr> <tr> <td>Peso específico aparente y superficialmente seco Peb= (B*0.9975)/(B-C)</td> <td>2,6</td> </tr> <tr> <td>Peso específico nominal Pe nominal = (A*0.9975)/(A-C)</td> <td>2,67</td> </tr> <tr> <td><b>% Absorción= ((B-A)/A)*100</b></td> <td><b>1,52</b></td> </tr> </table>			A= Peso de la muestra seca al horno (gr.)	2955	B= Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente (gr.)	3000	C= Peso en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr.)	1850	<b>Peso específico aparente Pea = (A*0.9975)/(B -C)</b>	<b>2,56</b>	Peso específico aparente y superficialmente seco Peb= (B*0.9975)/(B-C)	2,6	Peso específico nominal Pe nominal = (A*0.9975)/(A-C)	2,67	<b>% Absorción= ((B-A)/A)*100</b>	<b>1,52</b>
A= Peso de la muestra seca al horno (gr.)	2955															
B= Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente (gr.)	3000															
C= Peso en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr.)	1850															
<b>Peso específico aparente Pea = (A*0.9975)/(B -C)</b>	<b>2,56</b>															
Peso específico aparente y superficialmente seco Peb= (B*0.9975)/(B-C)	2,6															
Peso específico nominal Pe nominal = (A*0.9975)/(A-C)	2,67															
<b>% Absorción= ((B-A)/A)*100</b>	<b>1,52</b>															
Observaciones : Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal																

 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LA ARENA</b>	<b>CODIGO:GPC-F-45</b>
	<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>	<b>VERSION:01</b>
		FA:30/06/2016
<b>MUESTRA:</b>	<b>ARENA DE TRITURACIÓN - PLANTA TRANSMATERIALES</b>	
<b>FECHA:</b>	<i>jueves, 13 de junio de 2019</i>	
<b>NORMA :</b>	<b>NTC 237</b>	
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO</b>		
A= Peso de la muestra seca al horno (gr.)	495,44	
B = Peso del balón lleno con agua (gr.)	655,00	
S= Peso de muestra saturada y superficialmente seca	500,00	
C= Peso del balón con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr.)	965,00	
<b>Peso específico aparente <math>Pe_a = ((0.9975*A)/(B+S-C))</math></b>	<b>2,60</b>	
Peso específico saturado y superficie seca $Pe_{a, sss} = (S*0.9975)/(B+S-C)$	2,63	
Peso específico nominal $Pe_n = (0.9975*A)/(B+A-C)$	2,67	
<b>% Absorción= <math>((500-A)/A)*100</math></b>	<b>0,92</b>	
Observaciones Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal		

 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA</b>	<b>CODIGO:GPC-F-48</b>
		<b>VERSION:01</b>
	<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>	FA:30/06/2016

<b>MUESTRA:</b>	<b>TRITURADO 3/4" TRANSMATERIALES</b>
<b>FECHA:</b>	<b>Miercoles, 12 de junio de 2019</b>
<b>NORMA :</b>	<b>NTC 92</b>

<b>MUS-MUC TRITURADO 3/4"</b>	
No. Recipiente	
W Recipiente + Material Suelto (g)	19013
W Recipiente (g)	11210
W Material Suelto (g)	7803
Volumen Recipiente (cm <sup>3</sup> )	5515,61
<b>MUS (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,414</b>
W Recipiente + Material Compacto (g/cm <sup>3</sup> )	19833
W Material Compacto (g)	8623
<b>MUC (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,563</b>
Observaciones	Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal

 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA</b>	<b>CODIGO:GPC-F-48</b>
		<b>VERSION:01</b>
	<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>	FA:30/06/2016

<b>MUESTRA:</b>	<b>ARENA TRANSMATERIALES</b>
<b>FECHA:</b>	<b>Miercoles, 12 de junio de 2019</b>
<b>NORMA :</b>	<b>NTC 92</b>

<b>MUS-MUC ARENA</b>	
No. Recipiente	
W Recipiente + Material Suelto (g)	19551
W Recipiente (g)	11210
W Material Suelto (g)	8341
Volumen Recipiente (cm <sup>3</sup> )	5515,61
<b>MUS (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,512</b>
W Recipiente + Material Compacto (g/cm <sup>3</sup> )	20727
W Material Compacto (g)	9517
<b>MUC (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,725</b>
Observaciones	Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal

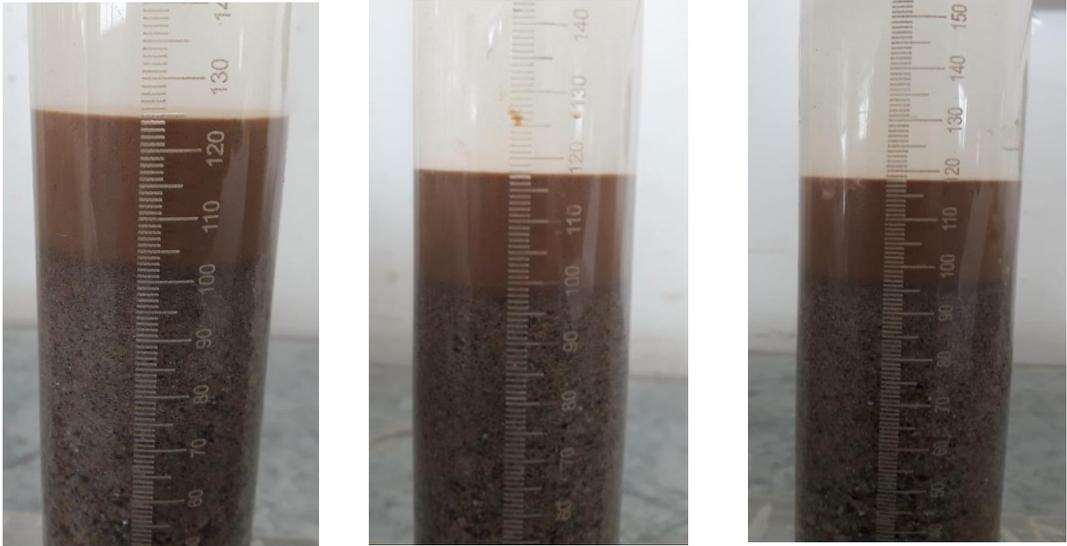
 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>ENSAYO DE COLORIMETRIA AGREGADO FINO</b>	<b>CODIGO:GPC-F-38</b>
	<b>GESTION PRODUCCION Y CALIDAD</b>	<b>VERSION:01</b>
		<b>FA:29/02/2016</b>

<b>COLORIMETRIA AGREGADO FINO</b>			
<b>MUESTRA:</b>	<b>ARENA TRANSMATERIALES</b>		
<b>FECHA DE INICIO</b>	<i>lunes, 10 de junio de 2019</i>	<b>FECHA DE FIN:</b>	<i>martes, 11 de junio de 2019</i>
<b>HORA INICIAL</b>	<i>8:15:00 a. m.</i>	<b>HORA FINAL</b>	<i>8:15:00 a. m.</i>
<b>NORMA</b>	<b>NTC 127</b>		

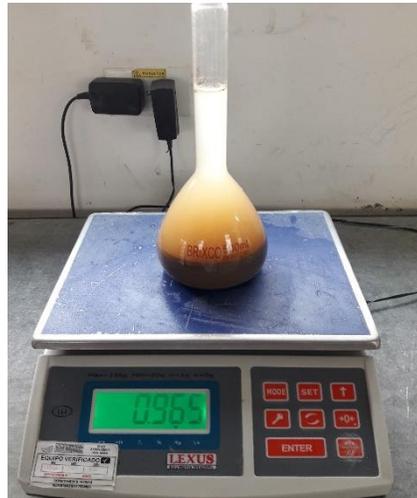


<b>COLOR</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CALIDAD</b>
<b>1</b>	<b>ARENA GRUESA</b>	<b>ACEPTABLE</b>

**OBSERVACIONES:** Ensayos realizados en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal

 <b>CONCRETOS &amp; MORTEROS</b>	<b>ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA</b>		<b>CODIGO:GPC-F-43</b>		
			<b>VERSION:01</b>		
		<b>GESTION DE PRODUCCION Y CALIDAD</b>		<b>FA:11/01/2016</b>	
<b>MUESTRA:</b>					
<b>ARENA TRANSMATERIALES</b>					
<b>FECHA:</b>					
<b>martes, 11 de junio de 2019</b>					
<b>NORMA :</b>					
<b>INV 133</b>					
<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>					
<b>PRUEBA</b>			<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>
<b>LECTURA ARCILLA</b>	mm	'(1)	125	118	119
<b>LECTURA ARENA</b>	mm	(2)	99	93	92
<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	%	(2) / (1)	79	79	77
<b>PROMEDIO</b>	%		<b>78</b>		
					
<b>OBSERVACIONES:</b>	Especificaciones de la Norma INV ART 630-13				
	Agregado fino para concreto estructural, min (%)		60		
Ensayo realizado en el laboratorio de Concretos & Morteros Planta Principal					

### Anexo 4. Registro fotográfico de los laboratorios





### Anexo 5. Corrección por humedad

<b>AJUSTE POR HUMEDAD</b>	
<p><u>Arena</u>            Humedad Libre: HL            Humedad Natural: HN  <math>HL = HN - Abs</math>  <math>Arena(correg) = Arena(seca) * (1 + HN/100)</math>  <math>Agua (correg) = Arena(seca) * (HL/100)</math></p>	<p><u>Grava</u>            Humedad Libre: HL            Humedad Natural: HN  <math>HL = HN - Abs</math>  <math>Grava(correg) = Grava(seca) * (1 + HN/100)</math>  <math>Agua (correg) = Grava(seca) * (HL/100)</math></p>
<p><u>Arena</u>            HN: 6.74% Abs: 0.92%  <math>HL = 6.74\% - 0.92\% = 5.82\%</math>  <math>Arena(coreg) =</math>  <math>1000 \text{ kg/m}^3 * (1 + 6.74/100) = 1067.4 \text{ kg/m}^3</math>  <math>Agua (correg) Arena =</math>  <math>1000 \text{ kg/m}^3 * (5.82\% / 100) = 58.2 \text{ kg}</math></p>	<p><u>Grava</u>            HN: 2.63% Abs: 1.52%  <math>HL = 2.63\% - 1.52\% = 1.11\%</math>  <math>Grava(coreg) =</math>  <math>930 \text{ kg/m}^3 * (1 + 2.63/100) = 954.459 \text{ kg/m}^3</math>  <math>Agua (correg) grava =</math>  <math>930 \text{ kg/m}^3 * (1.11\% / 100) = 10.323 \text{ kg}</math></p>
<p>Agua Corregida para el concreto con Aditivo : <math>170 - 58.2 - 10.323 = 101.477 \text{ kg/m}^3</math></p>	
<p>Agua Corregida para el concreto sin Aditivo : <math>189 - 58.2 - 10.323 = 120.477 \text{ kg/m}^3</math></p>	
<p>La cantidad de agua para el diseño sin aditivo es 188.88 litros/m<sup>3</sup></p> <p>El agua de diseño para el concreto con aditivo retardante-reductor de agua con capacidad de reducción del 10%, se calcula de la siguiente forma:</p> <p>Agua estimada = Agua de diseño * (1 - % reducción agua)</p> <p>Agua estimada = <math>188.88 * (1 - 10\%)</math></p> <p>Agua estimada = <math>188.88 * 0.90</math></p> <p>Agua estimada = 170 kg</p>	

**Anexo 6. Formula base para dosificar concreto**

<b>FORMULA BASE PARA DOSIFICAR CONCRETO</b>							
$1\text{m}^3 \text{concreto} =$	$\frac{\text{Cement}(\text{kg})}{\delta_{\text{cimento}}(\text{kg}/\text{m}^3)}$	$+$	$\frac{\text{Agua}(\text{kg})}{\delta_{\text{agua}}(\text{kg}/\text{m}^3)}$	$+$	$\frac{\text{Arend}(\text{kg})}{\delta_{\text{arena}}(\text{kg}/\text{m}^3)}$	$+$	$\frac{\text{Grava}(\text{kg})}{\delta_{\text{grava}}(\text{kg}/\text{m}^3)}$
	↓		↓		↓		↓
<b>Las densidades de los materiales se obtienen de los ensayos de caracterización</b>							

### Anexo 7. Planta principal Concretos y Morteros







## Anexo 8. Imagen de la programación arduino

```

controlCemento | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
controlCemento
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <DS1302.h>

/*CONFIGURAMOS EL SENSOR RTC*/
DS1302 rtc(2, 3, 4);

/*PRIMER PAQUETE*/
OneWire ourWire1(46);
OneWire ourWire2(47);
OneWire ourWire3(44);
DallasTemperature sensors1(&ourWire1);
DallasTemperature sensors2(&ourWire2);
DallasTemperature sensors3(&ourWire3);

/*SEGUNDO PAQUETE*/
OneWire ourWire4(45);
OneWire ourWire5(42);
OneWire ourWire6(43);
DallasTemperature sensors4(&ourWire4);
DallasTemperature sensors5(&ourWire5);
DallasTemperature sensors6(&ourWire6);

/*TERCER PAQUETE*/
OneWire ourWire7(40);
OneWire ourWire8(41);
OneWire ourWire9(39);
DallasTemperature sensors7(&ourWire7);
DallasTemperature sensors8(&ourWire8);
DallasTemperature sensors9(&ourWire9);

/*CONFIGURAMOS PIN DEL MICRO SD Y LA VARIABLE ARCHIVO*/
++ CC BY - BY.

```

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <DS1302.h>
/*CONFIGURAMOS EL SENSOR RTC*/
DS1302 rtc(2, 3, 4);
/*PRIMER PAQUETE*/
OneWire ourWire1(46);
OneWire ourWire2(47);
OneWire ourWire3(44);
DallasTemperature sensors1(&ourWire1);
DallasTemperature sensors2(&ourWire2);
DallasTemperature sensors3(&ourWire3);
/*SEGUNDO PAQUETE*/
OneWire ourWire4(45);
OneWire ourWire5(42);
OneWire ourWire6(43);
DallasTemperature sensors4(&ourWire4);
DallasTemperature sensors5(&ourWire5);
DallasTemperature sensors6(&ourWire6);
/*TERCER PAQUETE*/
OneWire ourWire7(40);
OneWire ourWire8(41);
OneWire ourWire9(39);
DallasTemperature sensors7(&ourWire7);

```

```

DallasTemperature sensors8(&ourWire8);
DallasTemperature sensors9(&ourWire9);
/*CONFIGURAMOS PIN DEL MICRO SD Y LA VARIABLE ARCHIVO*/
    int CS_PIN = 53;
    File file;
    void setup()
    {
        rtc.halt(false);
        rtc.writeProtect(false);
        Serial.begin(9600);
/*CONFIGURAMOS HORA Y FECHA*/
        //rtc.setDOW(WEDNESDAY);
        //rtc.setTime(16, 26, 0);
        //rtc.setDate(21, 2, 2018);
/*CREAMOS Y COPIAMOS EL HEADER EN EL ARCHIVO*/
        initializeSD();
        createFile("datos.csv");
writeToFile("fecha;hora;s1;s2;s3;s4;s5;s6;s7;s8;s9");
        closeFile();
/*ABRIMOS EL ARCHIVO Y LEEMOS DATOS*/
        //openFile("test.txt");
        //Serial.println(readLine());
        //Serial.println(readLine());
        //closeFile();
/*INICIAMOS LOS SENSORES*/
        sensors1.begin();
        sensors2.begin();
        sensors3.begin();
        sensors4.begin();
        sensors5.begin();
        sensors6.begin();
        sensors7.begin();
        sensors8.begin();
        sensors9.begin();
    }
    void loop()
    {
/*TOMAMOS DATOS*/
        String data;
        data = rtc.getDateStr();
        data.concat(";");
        data.concat(rtc.getTimeStr());
/*DATOS DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA*/
        sensors1.requestTemperatures();
        sensors2.requestTemperatures();
        sensors3.requestTemperatures();
        sensors4.requestTemperatures();

```

```

        sensors5.requestTemperatures();
        sensors6.requestTemperatures();
        sensors7.requestTemperatures();
        sensors8.requestTemperatures();
        sensors9.requestTemperatures();
        data.concat(";");
    data.concat(sensors1.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors2.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors3.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors4.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors5.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors6.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors7.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors8.getTempCByIndex(0));
        data.concat(";");
    data.concat(sensors9.getTempCByIndex(0));
        Serial.println(data);
/*ABRIMOS EL ARCHIVO Y ESCRIBIMOS LOS DATOS*/
        createFile("datos.csv");
        writeToFile(data);
        closeFile();
        delay(900000);
    }
    void initializeSD()
    {
        Serial.println("Iniciando la tarjeta SD...");
        pinMode(CS_PIN, OUTPUT);
        if (SD.begin())
        {
            Serial.println("La tarjeta SD esta lista para usarse.");
        } else
        {
            Serial.println("Fallo la inicializacion de la tarjeta SD.");
            return;
        }
    }
    int createFile(String filename)
    {
        file = SD.open(filename, FILE_WRITE);
        if (file)

```

```

        {
Serial.println("Archivo creado exitosamente.");
        return 1;
        } else
        {
Serial.println("Error mientras se creaba el archivo.");
        return 0;
        }
    }
    int writeToFile(String text)
    {
        if (file)
        {
            file.println(text);
Serial.println("Escribiendo en el archivo: ");
Serial.println(text);
            return 1;
        } else
        {
Serial.println("No se pudo escribir en el archivo.");
            return 0;
        }
    }
    void closeFile()
    {
        if (file)
        {
            file.close();
Serial.println("Archivo cerrado.");
        }
    }
    int openFile(String filename)
    {
        file = SD.open(filename);
        if (file)
        {
Serial.println(" Archivo abierto con exito!");
            return 1;
        } else
        {
Serial.println("Error abriendo el archivo...");
            return 0;
        }
    }
    String readLine()
    {
        String received = "";

```

```
    char ch;
while (file.available())
    {
    ch = file.read();
    if (ch == '\n')
        {
return String(received);
        }
    else
        {
received += ch;
        }
    }
return "";
```

### Anexo 9. Registro de temperaturas para el concreto en laboratorio

Sensor 2 - 3000 psi ( Laboratorio)						
Intervalo	Edad	Temp C°	Incre edad h	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez
0	0	29.88				
1	0.25	29.75	0.25	29.82	7.45	7
2	0.5	29.75	0.25	29.75	7.44	15
3	0.75	29.81	0.25	29.78	7.45	22
4	1	30.06	0.25	29.94	7.48	30
5	1.25	30.88	0.25	30.47	7.62	37
6	1.5	31.75	0.25	31.32	7.83	45
7	1.75	32.13	0.25	31.94	7.99	53
8	2	32.25	0.25	32.19	8.05	61
9	2.25	31.88	0.25	32.07	8.02	69
10	2.5	31.44	0.25	31.66	7.92	77
11	2.75	31.00	0.25	31.22	7.81	85
12	3	30.69	0.25	30.85	7.71	93
13	3.25	30.44	0.25	30.57	7.64	100
14	3.5	30.19	0.25	30.32	7.58	108
15	3.75	30.00	0.25	30.10	7.52	115
16	4	29.81	0.25	29.91	7.48	123
17	4.25	29.69	0.25	29.75	7.44	130
18	4.5	29.50	0.25	29.60	7.40	138
19	4.75	29.38	0.25	29.44	7.36	145
20	5	29.25	0.25	29.32	7.33	152
21	5.25	29.13	0.25	29.19	7.30	160
22	5.5	29.00	0.25	29.07	7.27	167
23	5.75	28.88	0.25	28.94	7.24	174
24	6	28.69	0.25	28.79	7.20	181
25	6.25	28.63	0.25	28.66	7.17	189
26	6.5	28.44	0.25	28.54	7.13	196
27	6.75	28.31	0.25	28.38	7.09	203
28	7	28.19	0.25	28.25	7.06	210
29	7.25	28.06	0.25	28.13	7.03	217
30	7.5	27.88	0.25	27.97	6.99	224
31	7.75	27.81	0.25	27.85	6.96	231
32	8	27.75	0.25	27.78	6.95	238
33	8.25	27.69	0.25	27.72	6.93	245
34	8.5	27.56	0.25	27.63	6.91	252
35	8.75	27.50	0.25	27.53	6.88	259
36	9	27.50	0.25	27.50	6.88	265

37	9.25	27.50	0.25	27.50	6.88	272
38	9.5	27.50	0.25	27.50	6.88	279
39	9.75	27.50	0.25	27.50	6.88	286
40	10	27.50	0.25	27.50	6.88	293
41	10.25	27.56	0.25	27.53	6.88	300
42	10.5	27.56	0.25	27.56	6.89	307
43	10.75	27.63	0.25	27.60	6.90	314
44	11	27.75	0.25	27.69	6.92	321
45	11.25	27.81	0.25	27.78	6.95	328
46	11.5	27.81	0.25	27.81	6.95	334
47	11.75	27.94	0.25	27.88	6.97	341
48	12	28.00	0.25	27.97	6.99	348
49	12.25	28.06	0.25	28.03	7.01	355
50	12.5	28.13	0.25	28.10	7.02	362
51	12.75	28.25	0.25	28.19	7.05	369
52	13	28.31	0.25	28.28	7.07	377
53	13.25	28.38	0.25	28.35	7.09	384
54	13.5	28.44	0.25	28.41	7.10	391
55	13.75	28.50	0.25	28.47	7.12	398
56	14	28.50	0.25	28.50	7.13	405
57	14.25	28.56	0.25	28.53	7.13	412
58	14.5	28.63	0.25	28.60	7.15	419
59	14.75	28.75	0.25	28.69	7.17	426
60	15	28.75	0.25	28.75	7.19	434
61	15.25	28.75	0.25	28.75	7.19	441
62	15.5	28.88	0.25	28.82	7.20	448
63	15.75	29.00	0.25	28.94	7.24	455
64	16	29.25	0.25	29.13	7.28	463
65	16.25	29.44	0.25	29.35	7.34	470
66	16.5	29.44	0.25	29.44	7.36	477
67	16.75	29.44	0.25	29.44	7.36	485
68	17	29.50	0.25	29.47	7.37	492
69	17.25	29.44	0.25	29.47	7.37	499
70	17.5	29.44	0.25	29.44	7.36	507
71	17.75	28.63	0.25	29.04	7.26	514
72	18	27.56	0.25	28.10	7.02	521
73	18.25	27.13	0.25	27.35	6.84	528
74	18.5	26.56	0.25	26.85	6.71	535
75	18.75	26.56	0.25	26.56	6.64	541
76	19	26.50	0.25	26.53	6.63	548
77	19.25	26.38	0.25	26.44	6.61	554
78	19.5	26.38	0.25	26.38	6.60	561

79	19.75	26.75	0.25	26.57	6.64	568
80	20	27.13	0.25	26.94	6.74	574
81	20.25	27.31	0.25	27.22	6.81	581
82	20.5	27.56	0.25	27.44	6.86	588
83	20.75	27.75	0.25	27.66	6.91	595
84	21	27.94	0.25	27.85	6.96	602
85	21.25	28.19	0.25	28.07	7.02	609
86	21.5	28.44	0.25	28.32	7.08	616
87	21.75	28.75	0.25	28.60	7.15	623
88	22	28.94	0.25	28.85	7.21	630
89	22.25	29.19	0.25	29.07	7.27	638
90	22.5	29.25	0.25	29.22	7.31	645
91	22.75	29.19	0.25	29.22	7.31	652
92	23	29.00	0.25	29.10	7.27	660
93	23.25	28.63	0.25	28.82	7.20	667
94	23.5	28.44	0.25	28.54	7.13	674
95	23.75	28.25	0.25	28.35	7.09	681
96	24	28.13	0.25	28.19	7.05	688
97	24.25	27.94	0.25	28.04	7.01	695
98	24.5	27.69	0.25	27.82	6.95	702
99	24.75	27.38	0.25	27.54	6.88	709
100	25	27.06	0.25	27.22	6.81	716
101	25.25	27.06	0.25	27.06	6.77	722
102	25.5	28.56	0.25	27.81	6.95	729
103	25.75	29.50	0.25	29.03	7.26	737
104	26	29.50	0.25	29.50	7.38	744
105	26.25	28.50	0.25	29.00	7.25	751
106	26.5	28.00	0.25	28.25	7.06	758
107	26.75	27.88	0.25	27.94	6.99	765
108	27	27.88	0.25	27.88	6.97	772
109	27.25	27.81	0.25	27.85	6.96	779
110	27.5	27.81	0.25	27.81	6.95	786
111	27.75	27.75	0.25	27.78	6.95	793
112	28	27.75	0.25	27.75	6.94	800
113	28.25	27.69	0.25	27.72	6.93	807
114	28.5	27.69	0.25	27.69	6.92	814
115	28.75	27.63	0.25	27.66	6.92	821
116	29	27.63	0.25	27.63	6.91	828
117	29.25	27.63	0.25	27.63	6.91	835
118	29.5	27.56	0.25	27.60	6.90	842
119	29.75	27.56	0.25	27.56	6.89	848
120	30	27.50	0.25	27.53	6.88	855

<b>Sensor 3 - 3000 psi ( Laboratorio)</b>						
<b>Intervalo</b>	<b>Edad</b>	<b>Temp C°</b>	<b>Incre edad h</b>	<b>Temp prom</b>	<b>Factor T° -t increm °C T</b>	<b>Madurez</b>
0	0	30.44				0
1	0.25	30.44	0.25	30.44	7.61	8
2	0.50	30.19	0.25	30.32	7.58	15
3	0.75	30.25	0.25	30.22	7.56	23
4	1.00	30.38	0.25	30.32	7.58	30
5	1.25	30.88	0.25	30.63	7.66	38
6	1.50	31.56	0.25	31.22	7.81	46
7	1.75	31.88	0.25	31.72	7.93	54
8	2.00	32.06	0.25	31.97	7.99	62
9	2.25	31.81	0.25	31.94	7.98	70
10	2.50	31.38	0.25	31.60	7.90	78
11	2.75	30.94	0.25	31.16	7.79	85
12	3.00	30.69	0.25	30.82	7.70	93
13	3.25	30.56	0.25	30.63	7.66	101
14	3.50	30.38	0.25	30.47	7.62	108
15	3.75	30.19	0.25	30.29	7.57	116
16	4.00	30.00	0.25	30.10	7.52	123
17	4.25	29.88	0.25	29.94	7.49	131
18	4.50	29.75	0.25	29.82	7.45	138
19	4.75	29.75	0.25	29.75	7.44	146
20	5.00	29.63	0.25	29.69	7.42	153
21	5.25	29.38	0.25	29.51	7.38	161
22	5.50	29.31	0.25	29.35	7.34	168
23	5.75	29.25	0.25	29.28	7.32	175
24	6.00	29.00	0.25	29.13	7.28	183
25	6.25	28.94	0.25	28.97	7.24	190
26	6.50	28.81	0.25	28.88	7.22	197
27	6.75	28.69	0.25	28.75	7.19	204
28	7.00	28.63	0.25	28.66	7.17	211
29	7.25	28.44	0.25	28.54	7.13	219
30	7.50	28.38	0.25	28.41	7.10	226
31	7.75	28.31	0.25	28.35	7.09	233
32	8.00	28.25	0.25	28.28	7.07	240
33	8.25	28.06	0.25	28.16	7.04	247
34	8.50	28.06	0.25	28.06	7.02	254
35	8.75	28.00	0.25	28.03	7.01	261
36	9.00	28.00	0.25	28.00	7.00	268
37	9.25	27.94	0.25	27.97	6.99	275

38	9.50	27.81	0.25	27.88	6.97	282
39	9.75	27.94	0.25	27.88	6.97	289
40	10.00	27.94	0.25	27.94	6.99	296
41	10.25	28.00	0.25	27.97	6.99	303
42	10.50	28.06	0.25	28.03	7.01	310
43	10.75	28.06	0.25	28.06	7.02	317
44	11.00	28.13	0.25	28.10	7.02	324
45	11.25	28.19	0.25	28.16	7.04	331
46	11.50	28.31	0.25	28.25	7.06	338
47	11.75	28.44	0.25	28.38	7.09	345
48	12.00	28.44	0.25	28.44	7.11	352
49	12.25	28.50	0.25	28.47	7.12	359
50	12.50	28.63	0.25	28.57	7.14	366
51	12.75	28.69	0.25	28.66	7.17	374
52	13.00	28.69	0.25	28.69	7.17	381
53	13.25	28.75	0.25	28.72	7.18	388
54	13.50	28.94	0.25	28.85	7.21	395
55	13.75	28.94	0.25	28.94	7.24	402
56	14.00	29.06	0.25	29.00	7.25	410
57	14.25	29.06	0.25	29.06	7.27	417
58	14.50	29.13	0.25	29.10	7.27	424
59	14.75	29.19	0.25	29.16	7.29	431
60	15.00	29.25	0.25	29.22	7.31	439
61	15.25	29.31	0.25	29.28	7.32	446
62	15.50	29.44	0.25	29.38	7.34	453
63	15.75	29.56	0.25	29.50	7.38	461
64	16.00	29.63	0.25	29.60	7.40	468
65	16.25	29.69	0.25	29.66	7.42	476
66	16.50	29.75	0.25	29.72	7.43	483
67	16.75	29.75	0.25	29.75	7.44	490
68	17.00	29.75	0.25	29.75	7.44	498
69	17.25	29.69	0.25	29.72	7.43	505
70	17.50	29.63	0.25	29.66	7.42	513
71	17.75	29.06	0.25	29.35	7.34	520
72	18.00	28.13	0.25	28.60	7.15	527
73	18.25	27.69	0.25	27.91	6.98	534
74	18.50	27.13	0.25	27.41	6.85	541
75	18.75	27.00	0.25	27.07	6.77	548
76	19.00	27.00	0.25	27.00	6.75	555
77	19.25	27.13	0.25	27.07	6.77	561
78	19.50	27.06	0.25	27.10	6.77	568

79	19.75	27.50	0.25	27.28	6.82	575
80	20.00	27.63	0.25	27.57	6.89	582
81	20.25	27.88	0.25	27.76	6.94	589
82	20.50	28.06	0.25	27.97	6.99	596
83	20.75	28.19	0.25	28.13	7.03	603
84	21.00	28.31	0.25	28.25	7.06	610
85	21.25	28.56	0.25	28.44	7.11	617
86	21.50	28.81	0.25	28.69	7.17	624
87	21.75	29.06	0.25	28.94	7.23	631
88	22.00	29.25	0.25	29.16	7.29	639
89	22.25	29.44	0.25	29.35	7.34	646
90	22.50	29.50	0.25	29.47	7.37	653
91	22.75	29.50	0.25	29.50	7.38	661
92	23.00	29.44	0.25	29.47	7.37	668
93	23.25	29.25	0.25	29.35	7.34	675
94	23.50	29.13	0.25	29.19	7.30	683
95	23.75	29.00	0.25	29.07	7.27	690
96	24.00	28.88	0.25	28.94	7.24	697
97	24.25	28.75	0.25	28.82	7.20	704
98	24.50	28.56	0.25	28.66	7.16	712
99	24.75	28.19	0.25	28.38	7.09	719
100	25.00	27.94	0.25	28.07	7.02	726
101	25.25	27.81	0.25	27.88	6.97	733
102	25.50	29.06	0.25	28.44	7.11	740
103	25.75	29.88	0.25	29.47	7.37	747
104	26.00	30.00	0.25	29.94	7.49	755
105	26.25	29.19	0.25	29.60	7.40	762
106	26.50	28.81	0.25	29.00	7.25	769
107	26.75	28.69	0.25	28.75	7.19	776
108	27.00	28.56	0.25	28.63	7.16	784
109	27.25	28.56	0.25	28.56	7.14	791
110	27.50	28.50	0.25	28.53	7.13	798
111	27.75	28.44	0.25	28.47	7.12	805
112	28.00	28.44	0.25	28.44	7.11	812
113	28.25	28.31	0.25	28.38	7.09	819
114	28.50	28.38	0.25	28.35	7.09	826
115	28.75	28.31	0.25	28.35	7.09	833
116	29.00	28.38	0.25	28.35	7.09	840
117	29.25	28.31	0.25	28.35	7.09	848
118	29.50	28.38	0.25	28.35	7.09	855
119	29.75	28.25	0.25	28.32	7.08	862
120	30.00	28.19	0.25	28.22	7.06	869

Sensor 1 - 3000 psi ( Obra )						
Intervalo	Edad	Temp C°	Incre edad h	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez
0	0	30.81				
1	0.25	29.44	0.25	30.13	7.53	8
2	0.5	30.00	0.25	29.72	7.43	15
3	0.75	30.56	0.25	30.28	7.57	23
4	1	30.94	0.25	30.75	7.69	30
5	1.25	31.56	0.25	31.25	7.81	38
6	1.5	32.63	0.25	32.10	8.02	46
7	1.75	33.19	0.25	32.91	8.23	54
8	2	33.50	0.25	33.35	8.34	63
9	2.25	33.00	0.25	33.25	8.31	71
10	2.5	32.44	0.25	32.72	8.18	79
11	2.75	31.94	0.25	32.19	8.05	87
12	3	31.50	0.25	31.72	7.93	95
13	3.25	31.19	0.25	31.35	7.84	103
14	3.5	30.88	0.25	31.04	7.76	111
15	3.75	30.69	0.25	30.79	7.70	118
16	4	30.44	0.25	30.57	7.64	126
17	4.25	30.25	0.25	30.35	7.59	134
18	4.5	30.00	0.25	30.13	7.53	141
19	4.75	29.81	0.25	29.91	7.48	149
20	5	29.69	0.25	29.75	7.44	156
21	5.25	29.44	0.25	29.57	7.39	163
22	5.5	29.31	0.25	29.38	7.34	171
23	5.75	29.13	0.25	29.22	7.31	178
24	6	28.94	0.25	29.04	7.26	185
25	6.25	28.81	0.25	28.88	7.22	193
26	6.5	28.63	0.25	28.72	7.18	200
27	6.75	28.44	0.25	28.54	7.13	207
28	7	28.25	0.25	28.35	7.09	214
29	7.25	28.13	0.25	28.19	7.05	221
30	7.5	28.00	0.25	28.07	7.02	228
31	7.75	27.88	0.25	27.94	6.99	235
32	8	27.81	0.25	27.85	6.96	242
33	8.25	27.81	0.25	27.81	6.95	249
34	8.5	27.75	0.25	27.78	6.95	256
35	8.75	27.69	0.25	27.72	6.93	263
36	9	27.69	0.25	27.69	6.92	270
37	9.25	27.69	0.25	27.69	6.92	277
38	9.5	27.69	0.25	27.69	6.92	284
39	9.75	27.69	0.25	27.69	6.92	290
40	10	27.75	0.25	27.72	6.93	297
41	10.25	27.81	0.25	27.78	6.95	304
42	10.5	27.88	0.25	27.85	6.96	311
43	10.75	27.94	0.25	27.91	6.98	318
44	11	28.00	0.25	27.97	6.99	325
45	11.25	28.06	0.25	28.03	7.01	332

46	11.5	28.13	0.25	28.10	7.02	339
47	11.75	28.19	0.25	28.16	7.04	346
48	12	28.31	0.25	28.25	7.06	353
49	12.25	28.38	0.25	28.35	7.09	361
50	12.5	28.50	0.25	28.44	7.11	368
51	12.75	28.50	0.25	28.50	7.13	375
52	13	28.63	0.25	28.57	7.14	382
53	13.25	28.69	0.25	28.66	7.17	389
54	13.5	28.75	0.25	28.72	7.18	396
55	13.75	28.81	0.25	28.78	7.20	403
56	14	28.88	0.25	28.85	7.21	411
57	14.25	28.94	0.25	28.91	7.23	418
58	14.5	29.00	0.25	28.97	7.24	425
59	14.75	29.00	0.25	29.00	7.25	432
60	15	29.06	0.25	29.03	7.26	440
61	15.25	29.06	0.25	29.06	7.27	447
62	15.5	29.19	0.25	29.13	7.28	454
63	15.75	30.00	0.25	29.60	7.40	462
64	16	31.13	0.25	30.57	7.64	469
65	16.25	31.44	0.25	31.29	7.82	477
66	16.5	31.19	0.25	31.32	7.83	485
67	16.75	31.13	0.25	31.16	7.79	493
68	17	30.94	0.25	31.04	7.76	500
69	17.25	30.75	0.25	30.85	7.71	508
70	17.5	30.63	0.25	30.69	7.67	516
71	17.75	29.50	0.25	30.07	7.52	523
72	18	28.31	0.25	28.91	7.23	531
73	18.25	27.56	0.25	27.94	6.98	538
74	18.5	26.94	0.25	27.25	6.81	544
75	18.75	26.81	0.25	26.88	6.72	551
76	19	26.75	0.25	26.78	6.70	558
77	19.25	26.44	0.25	26.60	6.65	564
78	19.5	26.44	0.25	26.44	6.61	571
79	19.75	26.50	0.25	26.47	6.62	578
80	20	26.50	0.25	26.50	6.63	584
81	20.25	26.44	0.25	26.47	6.62	591
82	20.5	26.44	0.25	26.44	6.61	597
83	20.75	26.44	0.25	26.44	6.61	604
84	21	26.44	0.25	26.44	6.61	611
85	21.25	26.56	0.25	26.50	6.63	617
86	21.5	26.75	0.25	26.66	6.66	624
87	21.75	27.00	0.25	26.88	6.72	631
88	22	27.25	0.25	27.13	6.78	637
89	22.25	27.38	0.25	27.32	6.83	644
90	22.5	27.44	0.25	27.41	6.85	651
91	22.75	27.38	0.25	27.41	6.85	658
92	23	27.19	0.25	27.29	6.82	665
93	23.25	27.00	0.25	27.10	6.77	672
94	23.5	26.81	0.25	26.91	6.73	678

95	23.75	26.75	0.25	26.78	6.70	685
96	24	26.50	0.25	26.63	6.66	692
97	24.25	26.31	0.25	26.41	6.60	698
98	24.5	26.13	0.25	26.22	6.56	705
99	24.75	25.88	0.25	26.01	6.50	711
100	25	25.69	0.25	25.79	6.45	718
101	25.25	25.44	0.25	25.57	6.39	724
102	25.5	25.31	0.25	25.38	6.34	731
103	25.75	25.19	0.25	25.25	6.31	737
104	26	25.00	0.25	25.10	6.27	743
105	26.25	24.88	0.25	24.94	6.24	749
106	26.5	24.81	0.25	24.85	6.21	756
107	26.75	24.94	0.25	24.88	6.22	762
108	27	24.94	0.25	24.94	6.24	768
109	27.25	24.94	0.25	24.94	6.24	774
110	27.5	24.94	0.25	24.94	6.24	780
111	27.75	25.00	0.25	24.97	6.24	787
112	28	25.06	0.25	25.03	6.26	793
113	28.25	25.13	0.25	25.10	6.27	799
114	28.5	25.13	0.25	25.13	6.28	806
115	28.75	25.19	0.25	25.16	6.29	812
116	29	25.31	0.25	25.25	6.31	818
117	29.25	25.31	0.25	25.31	6.33	824
118	29.5	25.31	0.25	25.31	6.33	831
119	29.75	25.31	0.25	25.31	6.33	837
120	30	25.38	0.25	25.35	6.34	843

Sensor 2 - 3000 psi ( Obra)						
Intervalo	Edad	Temp C°	Incre edad h	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez
0	0	26,63				0
1	0,25	29,19	0,25	27,91	6,98	7
2	0,50	29,94	0,25	29,57	7,39	14
3	0,75	30,50	0,25	30,22	7,56	22
4	1,00	30,94	0,25	30,72	7,68	30
5	1,25	31,75	0,25	31,35	7,84	37
6	1,50	32,81	0,25	32,28	8,07	46
7	1,75	33,19	0,25	33,00	8,25	54
8	2,00	33,31	0,25	33,25	8,31	62
9	2,25	32,75	0,25	33,03	8,26	70
10	2,50	32,25	0,25	32,50	8,13	78
11	2,75	31,75	0,25	32,00	8,00	86
12	3,00	31,31	0,25	31,53	7,88	94
13	3,25	30,94	0,25	31,13	7,78	102
14	3,50	30,69	0,25	30,82	7,70	110
15	3,75	30,50	0,25	30,60	7,65	117
16	4,00	30,25	0,25	30,38	7,59	125
17	4,25	30,00	0,25	30,13	7,53	133
18	4,50	29,81	0,25	29,91	7,48	140
19	4,75	29,63	0,25	29,72	7,43	148
20	5,00	29,50	0,25	29,57	7,39	155
21	5,25	29,31	0,25	29,41	7,35	162
22	5,50	29,13	0,25	29,22	7,31	170
23	5,75	29,00	0,25	29,07	7,27	177
24	6,00	28,75	0,25	28,88	7,22	184
25	6,25	28,63	0,25	28,69	7,17	191
26	6,50	28,38	0,25	28,51	7,13	198
27	6,75	28,19	0,25	28,29	7,07	205
28	7,00	28,06	0,25	28,13	7,03	212
29	7,25	27,88	0,25	27,97	6,99	219
30	7,50	27,69	0,25	27,79	6,95	226
31	7,75	27,56	0,25	27,63	6,91	233
32	8,00	27,50	0,25	27,53	6,88	240
33	8,25	27,38	0,25	27,44	6,86	247
34	8,50	27,44	0,25	27,41	6,85	254
35	8,75	27,38	0,25	27,41	6,85	261

36	9,00	27,31	0,25	27,35	6,84	268
37	9,25	27,31	0,25	27,31	6,83	274
38	9,50	27,38	0,25	27,35	6,84	281
39	9,75	27,38	0,25	27,38	6,85	288
40	10,00	27,38	0,25	27,38	6,85	295
41	10,25	27,44	0,25	27,41	6,85	302
42	10,50	27,56	0,25	27,50	6,88	309
43	10,75	27,56	0,25	27,56	6,89	316
44	11,00	27,63	0,25	27,60	6,90	322
45	11,25	27,69	0,25	27,66	6,92	329
46	11,50	27,81	0,25	27,75	6,94	336
47	11,75	27,88	0,25	27,85	6,96	343
48	12,00	27,94	0,25	27,91	6,98	350
49	12,25	28,06	0,25	28,00	7,00	357
50	12,50	28,13	0,25	28,10	7,02	364
51	12,75	28,19	0,25	28,16	7,04	371
52	13,00	28,25	0,25	28,22	7,06	378
53	13,25	28,31	0,25	28,28	7,07	385
54	13,50	28,44	0,25	28,38	7,09	393
55	13,75	28,44	0,25	28,44	7,11	400
56	14,00	28,56	0,25	28,50	7,13	407
57	14,25	28,63	0,25	28,60	7,15	414
58	14,50	28,63	0,25	28,63	7,16	421
59	14,75	28,69	0,25	28,66	7,17	428
60	15,00	28,69	0,25	28,69	7,17	435
61	15,25	28,75	0,25	28,72	7,18	443
62	15,50	28,75	0,25	28,75	7,19	450
63	15,75	29,19	0,25	28,97	7,24	457
64	16,00	29,75	0,25	29,47	7,37	464
65	16,25	29,94	0,25	29,85	7,46	472
66	16,50	29,88	0,25	29,91	7,48	479
67	16,75	29,75	0,25	29,82	7,45	487
68	17,00	29,63	0,25	29,69	7,42	494
69	17,25	29,50	0,25	29,57	7,39	502
70	17,50	29,50	0,25	29,50	7,38	509
71	17,75	29,42	0,25	29,46	7,37	516
72	18,00	29,31	0,25	29,37	7,34	524
73	18,25	28,06	0,25	28,69	7,17	531
74	18,50	27,13	0,25	27,60	6,90	538
75	18,75	26,75	0,25	26,94	6,74	544
76	19,00	26,63	0,25	26,69	6,67	551
77	19,25	26,31	0,25	26,47	6,62	558

78	19,50	26,25	0,25	26,28	6,57	564
79	19,75	26,38	0,25	26,32	6,58	571
80	20,00	26,44	0,25	26,41	6,60	577
81	20,25	26,44	0,25	26,44	6,61	584
82	20,50	26,44	0,25	26,44	6,61	591
83	20,75	26,38	0,25	26,41	6,60	597
84	21,00	26,44	0,25	26,41	6,60	604
85	21,25	26,50	0,25	26,47	6,62	611
86	21,50	26,75	0,25	26,63	6,66	617
87	21,75	26,94	0,25	26,85	6,71	624
88	22,00	27,13	0,25	27,04	6,76	631
89	22,25	27,31	0,25	27,22	6,81	637
90	22,50	27,31	0,25	27,31	6,83	644
91	22,75	27,25	0,25	27,28	6,82	651
92	23,00	27,19	0,25	27,22	6,81	658
93	23,25	27,00	0,25	27,10	6,77	665
94	23,50	26,88	0,25	26,94	6,74	671
95	23,75	26,75	0,25	26,82	6,70	678
96	24,00	26,44	0,25	26,60	6,65	685
97	24,25	26,19	0,25	26,32	6,58	691
98	24,50	26,06	0,25	26,13	6,53	698
99	24,75	25,94	0,25	26,00	6,50	704
100	25,00	25,69	0,25	25,82	6,45	711
101	25,25	25,38	0,25	25,54	6,38	717
102	25,50	25,25	0,25	25,32	6,33	724
103	25,75	25,13	0,25	25,19	6,30	730
104	26,00	24,94	0,25	25,04	6,26	736
105	26,25	24,81	0,25	24,88	6,22	742
106	26,50	24,69	0,25	24,75	6,19	749
107	26,75	24,75	0,25	24,72	6,18	755
108	27,00	24,75	0,25	24,75	6,19	761
109	27,25	24,81	0,25	24,78	6,20	767
110	27,50	24,81	0,25	24,81	6,20	773
111	27,75	24,81	0,25	24,81	6,20	779
112	28,00	24,88	0,25	24,85	6,21	786
113	28,25	24,94	0,25	24,91	6,23	792
114	28,50	24,94	0,25	24,94	6,24	798
115	28,75	25,06	0,25	25,00	6,25	804
116	29,00	25,06	0,25	25,06	6,27	811
117	29,25	25,13	0,25	25,10	6,27	817
118	29,50	25,13	0,25	25,13	6,28	823
119	29,75	25,19	0,25	25,16	6,29	830
120	30,00	25,19	0,25	25,19	6,30	836

Sensor 3 - 3000 psi ( Obra)						
Intervalo	Edad	Temp C°	Incre edad h	Temp prom	Factor T° -t increm °C T	Madurez
0	0	25.69				0
1	0.25	28.63	0.25	27.16	6.79	7
2	0.50	29.38	0.25	29.01	7.25	14
3	0.75	30.13	0.25	29.76	7.44	21
4	1.00	30.44	0.25	30.29	7.57	29
5	1.25	30.94	0.25	30.69	7.67	37
6	1.50	31.75	0.25	31.35	7.84	45
7	1.75	31.94	0.25	31.85	7.96	53
8	2.00	32.00	0.25	31.97	7.99	61
9	2.25	31.81	0.25	31.91	7.98	68
10	2.50	31.38	0.25	31.60	7.90	76
11	2.75	30.94	0.25	31.16	7.79	84
12	3.00	30.56	0.25	30.75	7.69	92
13	3.25	30.25	0.25	30.41	7.60	99
14	3.50	30.00	0.25	30.13	7.53	107
15	3.75	29.75	0.25	29.88	7.47	114
16	4.00	29.50	0.25	29.63	7.41	122
17	4.25	29.31	0.25	29.41	7.35	129
18	4.50	29.19	0.25	29.25	7.31	137
19	4.75	28.94	0.25	29.07	7.27	144
20	5.00	28.81	0.25	28.88	7.22	151
21	5.25	28.63	0.25	28.72	7.18	158
22	5.50	28.50	0.25	28.57	7.14	165
23	5.75	28.38	0.25	28.44	7.11	172
24	6.00	28.19	0.25	28.29	7.07	180
25	6.25	28.00	0.25	28.10	7.02	187
26	6.50	27.88	0.25	27.94	6.99	194
27	6.75	27.69	0.25	27.79	6.95	200
28	7.00	27.56	0.25	27.63	6.91	207
29	7.25	27.38	0.25	27.47	6.87	214
30	7.50	27.25	0.25	27.32	6.83	221
31	7.75	27.19	0.25	27.22	6.81	228
32	8.00	27.06	0.25	27.13	6.78	235
33	8.25	27.06	0.25	27.06	6.77	241
34	8.50	27.00	0.25	27.03	6.76	248
35	8.75	27.00	0.25	27.00	6.75	255
36	9.00	26.94	0.25	26.97	6.74	262
37	9.25	26.94	0.25	26.94	6.74	268
38	9.50	27.00	0.25	26.97	6.74	275
39	9.75	27.00	0.25	27.00	6.75	282
40	10.00	27.06	0.25	27.03	6.76	289
41	10.25	27.06	0.25	27.06	6.77	295
42	10.50	27.19	0.25	27.13	6.78	302
43	10.75	27.25	0.25	27.22	6.81	309
44	11.00	27.31	0.25	27.28	6.82	316

45	11.25	27.38	0.25	27.35	6.84	323
46	11.50	27.50	0.25	27.44	6.86	330
47	11.75	27.56	0.25	27.53	6.88	336
48	12.00	27.56	0.25	27.56	6.89	343
49	12.25	27.69	0.25	27.63	6.91	350
50	12.50	27.75	0.25	27.72	6.93	357
51	12.75	27.81	0.25	27.78	6.95	364
52	13.00	27.88	0.25	27.85	6.96	371
53	13.25	27.88	0.25	27.88	6.97	378
54	13.50	28.00	0.25	27.94	6.99	385
55	13.75	28.06	0.25	28.03	7.01	392
56	14.00	28.13	0.25	28.10	7.02	399
57	14.25	28.19	0.25	28.16	7.04	406
58	14.50	28.25	0.25	28.22	7.06	413
59	14.75	28.25	0.25	28.25	7.06	420
60	15.00	28.31	0.25	28.28	7.07	427
61	15.25	28.38	0.25	28.35	7.09	434
62	15.50	28.38	0.25	28.38	7.10	441
63	15.75	28.56	0.25	28.47	7.12	449
64	16.00	28.75	0.25	28.66	7.16	456
65	16.25	28.94	0.25	28.85	7.21	463
66	16.50	28.88	0.25	28.91	7.23	470
67	16.75	28.88	0.25	28.88	7.22	477
68	17.00	28.88	0.25	28.88	7.22	485
69	17.25	28.81	0.25	28.85	7.21	492
70	17.50	28.88	0.25	28.85	7.21	499
71	17.75	28.00	0.25	28.44	7.11	506
72	18.00	27.00	0.25	27.50	6.88	513
73	18.25	26.44	0.25	26.72	6.68	520
74	18.50	25.88	0.25	26.16	6.54	526
75	18.75	25.75	0.25	25.82	6.45	533
76	19.00	25.69	0.25	25.72	6.43	539
77	19.25	25.56	0.25	25.63	6.41	546
78	19.50	25.50	0.25	25.53	6.38	552
79	19.75	25.63	0.25	25.57	6.39	558
80	20.00	25.69	0.25	25.66	6.42	565
81	20.25	25.69	0.25	25.69	6.42	571
82	20.50	25.75	0.25	25.72	6.43	578
83	20.75	25.75	0.25	25.75	6.44	584
84	21.00	25.81	0.25	25.78	6.45	590
85	21.25	25.94	0.25	25.88	6.47	597
86	21.50	26.13	0.25	26.04	6.51	603
87	21.75	26.31	0.25	26.22	6.56	610
88	22.00	26.56	0.25	26.44	6.61	617
89	22.25	26.69	0.25	26.63	6.66	623
90	22.50	26.81	0.25	26.75	6.69	630
91	22.75	26.75	0.25	26.78	6.70	637
92	23.00	26.63	0.25	26.69	6.67	643
93	23.25	26.50	0.25	26.57	6.64	650

94	23.50	26.38	0.25	26.44	6.61	657
95	23.75	26.25	0.25	26.32	6.58	663
96	24.00	25.94	0.25	26.10	6.52	670
97	24.25	25.75	0.25	25.85	6.46	676
98	24.50	25.63	0.25	25.69	6.42	683
99	24.75	25.50	0.25	25.57	6.39	689
100	25.00	25.06	0.25	25.28	6.32	695
101	25.25	24.88	0.25	24.97	6.24	701
102	25.50	24.69	0.25	24.79	6.20	708
103	25.75	24.63	0.25	24.66	6.17	714
104	26.00	24.44	0.25	24.54	6.13	720
105	26.25	24.31	0.25	24.38	6.09	726
106	26.50	24.25	0.25	24.28	6.07	732
107	26.75	24.25	0.25	24.25	6.06	738
108	27.00	24.25	0.25	24.25	6.06	744
109	27.25	24.25	0.25	24.25	6.06	750
110	27.50	24.25	0.25	24.25	6.06	756
111	27.75	24.25	0.25	24.25	6.06	762
112	28.00	24.25	0.25	24.25	6.06	769
113	28.25	24.38	0.25	24.32	6.08	775
114	28.50	24.44	0.25	24.41	6.10	781
115	28.75	24.50	0.25	24.47	6.12	787
116	29.00	24.56	0.25	24.53	6.13	793
117	29.25	24.56	0.25	24.56	6.14	799
118	29.50	24.50	0.25	24.53	6.13	805
119	29.75	24.56	0.25	24.53	6.13	811
120	30.00	24.56	0.25	24.56	6.14	818