



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado  
de  
**INVESTIGACIÓN**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DEL METODO DE MADUREZ DEL  
CONCRETO (NORMA ASTM C 1074) PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN CON APOYO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**RUMICHE ORMEÑO ERICK MARLON**

**ASESOR:**

**MG. TELLO MALPARTIDA OMAR DEMETRIO**

**JURADO:**

**Dr. PUMARICRA PADILLA, RAÚL VALENTÍN**

**Ms. TABORY MALPARTIDA, GUSTABO AUGUSTO**

**Ms. GARCÍA URRUTIA OLAVARRÍA ROQUE JESÚS LEONARDO**

**LIMA – PERÚ**

**2018**

## RESUMEN

La capacidad de poder saber la resistencia a compresión que tiene una estructura vaciada por concreto en las primeras horas, puede colocar un hito importante en los procesos de construcción de un edificio, puente, carretera, etc.

Para empezar en nombrar los beneficios tenemos que tener claro que los costos de encofrados en un proyecto son en el rango de un 20% al 60% dependiendo del tipo de construcción, también el proceso de construcción se amolda al tiempo acumulado de las estructuras encofradas y saber que resistencia a compresión tiene realmente una estructura vaciada por concreto nos serviría entre otras cosas para saber exactamente en qué tiempo proceder al desencofrado de la estructura y esto repercute directamente a la programación de obra y los costos del mismo.

La importancia en dominar este tiempo a través del control real de la resistencia a compresión de la estructura vaciada de concreto radica en usarlo técnicamente para decidir el proceso de encofrado y desencofrado.

La siguiente tesis propone, implementar el método de madurez de acuerdo ASTM C1074–NTP339.217 ayudándonos de equipos electrónicos desarrollados para este fin, evitando todo el proceso engorroso, haciéndolo rápido y fácil.

Palabras claves: Método, madurez, resistencia a compresión, fraguado, concreto.

## **ABSTRACT**

The ability to know the compressive strength of a structure emptied by concrete in the first hours can place an important milestone in the construction processes of a building, bridge, road, etc.

To start by naming the benefits we have to be clear that the costs of formwork in a project are in the range of 20% to 60% depending on the type of construction, also the construction process adapts to the accumulated time of the formwork structures and knowing that resistance to compression really has a structure emptied by concrete would serve us, among other things, to know exactly when to proceed with the demolition of the structure and this has a direct impact on the work schedule and its costs.

The importance in dominating this time through the real control of the compressive strength of the emptied concrete structure lies in using it technically to decide the formwork and stripping process.

The following thesis proposes, to implement the maturity method according to ASTM C1074-NTP339.217, using electronic equipment developed for this purpose, avoiding all the cumbersome process, making it fast and easy.

**Keywords:** Method, maturity, compression strength, setting, concrete.

## PROLOGO

La siguiente investigación propone implementar un equipo que pueda calcular la madurez del concreto en base a la ASTM C1074–NTP 339.217, para definir la resistencia del concreto desde las primeras horas de haberse vaciado en un molde o encofrado. Este procedimiento que es apoyado por el uso de un equipo electrónico tiene muchas ventajas para definir una planificación dentro de la programación de una construcción, el ejemplo más palpable es de saber la disponibilidad inmediata de los encofrados o el saber en qué momento las estructuras de concretos son lo suficientemente fuertes para poder recibir cargas vivas, entre otras cosas como liberar un pavimento rígido para su uso.

Los ensayos hechos en la siguiente investigación, han sido guiado siguiendo las recomendaciones de la norma Técnica Peruana (NTP) de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales de INDECOPI, “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez” (NTP 339.217,2007), lo que realza la calidad de los resultados y se basa al siguiente concepto: “la acumulación de la temperatura está directamente relacionada con la madurez de la resistencia del concreto” (ASTM C1074, 2004, p.1); en base a esta relación se establece una serie de procedimientos matemáticos para definir una correlación en donde la columna vertebral de esta correlación es el seguimiento de la temperatura en el tiempo del concreto, en este aspecto los equipos electrónicos apoyan el procedimiento, sin duda alguna la ventaja de desarrollar el método de madurez con un equipo electrónico es una gran ventaja, pues elimina la complejidad que significa el censado interrumpido de la temperatura del concreto.

Como todas investigaciones que pueden ser bases de otras, esta define el camino para el estudio del comportamiento de las variables que intervienen para modificar el desarrollo de la madurez del concreto además de poder proponer diferentes tipos de materiales para ser usados en los encofrados los mismos que se puede estudiar en una siguiente tesis.

## INDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
PROLOGO.....	4
CAPITULO I.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Descripción y formulación del problema.....	10
1.2 Antecedentes.....	10
1.2.1 Realidad problemática.....	11
1.2.2 Problema.....	13
1.2.2.1 Problema principal.....	13
1.2.2.2 Problema secundario.....	13
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificación.....	14
1.4.1 Justificación de la investigación.....	14
1.4.1.1 Justificación teórica.....	14
1.4.1.2 Justificación práctica.....	15
1.4.1.3 Justificación metodológica.....	15
1.4.1.4 Justificación social.....	16
1.5 Hipótesis.....	16
1.5.1.1 Hipótesis principal.....	17
1.5.1.2 Hipótesis secundaria.....	17
1.6 Limitaciones.....	17

CAPITULO II.....	18
<b>2. Marco teórico</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Bases Teóricas del Concreto</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1 Sobre el Concreto</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1.1 Dosificación de Mezclas de Concreto</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2 Curado del concreto</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.3 Teoría de generación de calor del concreto</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.3.1 Concreto en estado fresco</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3.2 Concreto en estado de Fraguado Inicial</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.3.3 Proceso de endurecimiento</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.3.4 Concreto endurecido</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.4 Ensayos al Concreto Fresco</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4.1 Temperatura</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4.2 Revenimiento (slump)</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4.3 Tiempo de Fraguado del Concreto</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.4.4 Resistencia del Concreto</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.5 Bases teóricas de la plataforma Arduino</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.5.1 Entorno de desarrollo en Arduino</b> .....	<b>27</b>
<b>2.1.5.2 Sensores de temperatura</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.6 Bases teóricas de la plataforma electrónicas Raspberry Pi 3</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1.7 Bases teóricas sobre el método de Madurez del concreto</b> .....	<b>33</b>
<b>2.1.7.1 Definición del método de Madurez del Concreto</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1.7.2 Reseña histórica y antecedentes del método de madurez</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1.7.3 Teoría de Nurse-Saúl - ASTM C 1074</b> .....	<b>35</b>
<b>2.1.7.4 Teoría de Arrhenius</b> .....	<b>36</b>
 CAPITULO III.....	 <b>38</b>
<b>3.1 METODO</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2 Ámbito temporal y espacial</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3 Variables</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3.1 Definición de las variables</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3.1.1 Variable Método ASTM C 1074</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3.1.2 Prueba y característica de la Resistencia a la compresión del concreto</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3.1.3 El tiempo</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3.2 Operación de las variables</b> .....	<b>41</b>

3.3.2.1	Variables Método ASTM C 1074.....	41
3.3.2.1.1	Temperatura.....	41
3.3.2.1.2	Tiempo.....	42
3.3.2.1.3	Resistencia .....	42
3.4	Población y muestra.....	42
3.4.1	Población .....	42
3.4.2	Muestra.....	43
3.5	Instrumentos.....	44
3.5.1	Validación de los Instrumentos por juicio de Expertos .....	44
3.5.2	Técnicas de procesamiento de datos .....	45
3.6	Procedimientos.....	47
3.6.1	Material.....	48
3.6.2	Unidad de estudio.....	48
3.6.2.1	Raspberry Pi 3 (Hardware).....	52
3.6.2.2	Arduino Uno (Hardware) .....	53
3.6.2.3	Sensor DS18B20 (Hardware) .....	54
3.6.2.4	Conectividad Datalogger – Sensor DS18B20 con el lenguaje de Programación Arduino .....	54
3.6.2.5	Conectividad del Datalogger-PC con lenguaje de programación ..... Python .....	56
3.7	Análisis de datos .....	59
3.7.1	Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recopilación de datos.....	59
3.7.1.1	Técnicas .....	59
3.7.2	Técnicas de análisis e interpretación de la información. ....	60
3.7.3	Descripción del caso.....	60
3.7.4	Calculo Manual del método de Madurez en las 24 horas.....	61
	Tabla 7; Evaluación del método de madurez con el equipo a 24 horas.....	72
	<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>73</b>
4.	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
4.1	Descripción de Resultados.....	73
4.1.1	Primera verificación .....	73
4.1.2	Segunda verificación.....	74

<b>CAPITULO V.....</b>	<b>77</b>
<b>5. Discusión de Resultados .....</b>	<b>77</b>
<b>5.1 Prueba del equipo implementado para el Método de Madurecen laboratorio .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2 Evaluación del caso .....</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>¡Error!</b>
Marcador no definido.	87
<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El último boom de la construcción suscitado en la década pasada ha incentivado el desarrollo de nuevas técnicas constructivas con nuevas tecnologías que permiten optimizar los diversos procesos constructivos haciéndolos más eficientes, esto ha derivado en proyectos de infraestructura donde se mejora la calidad, plazo y costo.

Es importante la calidad del concreto en lo que concierne a la resistencia a la compresión, por esto, el método de madurez del concreto descrito por la norma ASTM C1074–NTP339.217 es un buen aliado para determinar en situ la resistencia a la compresión del concreto vaciado, la National Ready Mixed Concrete Association [NRMCA] (2017), establece que el “Método de Madurez del Concreto provee una aproximación relativamente simple para estimar de manera confiable la resistencia a la compresión y flexión del concreto a edades menores de 14 días en el sitio durante la construcción; teniendo como base la conjunción de tres variables las cuales son: temperatura, tiempo y la resistencia del concreto.” (p.1).

En nuestro medio la forma de determinación de la Resistencia a Compresión se realiza a través del “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas” (NTP 339.034, 2008), en base al método normado “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by Maturity Method” (ATSMC39/C39M, 2005); el ensayo consiste en tomar especímenes de concreto normados de acuerdo a la NTP 339.033, que tienen un tratamiento distinto al concreto de las estructuras vaciadas en obra por lo que se indica que el resultado del ensayo realizado a estos especímenes representa la resistencia potencial del diseño de mezcla según “el código de American Concrete Institute” (ACI 318, 2008, p.71).

Esto nos lleva a la siguiente interrogante: ¿es posible determinar la resistencia a la compresión del concreto cumpliendo los estándares de calidad en tiempo real y que sean lo más cercano a lo real posible? Si consideramos realizar estos ensayos por el método de la norma ASTM C39/C39M – NTP 339.034, tendríamos que llevarlos a

lugares especializados o implementar un laboratorio en obra haciendo más costoso poder responder a esta interrogante, además se tendría que esperar a realizar el ensayo cada cierto tiempo (3, 7, 21 y 28 días), esto de acuerdo a la curva teórica de concreto de la resistencia a la compresión vs tiempo.

Considerando lo expuesto es muy importante tener una alternativa al método estándar tradicional de determinación de la Resistencia a la compresión que optimice el costo, el tiempo y lo real como es el caso del método de madurez del concreto basado en la norma ASTM C1074–NTP339.217.

### **1.1 Descripción y formulación del problema**

¿Cómo implementar el método de madurez del concreto según la norma ASTM C1074 adecuada a nuestra realidad con equipos electrónicos?

### **1.2 Antecedentes**

Hay varias instituciones que han estudiado la madurez del concreto, instituciones como el American Concrete Institute de USA, American Standard Testing Material of Concrete de USA, la Oficina Central de Estándares del Reino Unido; y todas coinciden en que su uso en el desenvolvimiento en la construcción de un proyecto puede evitar accidentes a la hora del desencofrado del concreto, justo los accidentes con desmoronamientos de las estructuras en el proceso constructivo fueron la causa que iniciaron los estudios para determinar el método actual. Ha quedado el registro de múltiples accidentes en el Reino Unido que han sido atribuidos a la falta de madurez del concreto y en Estados Unidos tomaron los estudios iniciados por el Reino Unido como base para años después lograr la publicación de la norma “Método del Cálculo de la Madurez del Concreto” (ASTM C1074, 2004).

La necesidad de poder saber cuál es la resistencia a compresión de una estructura vaciada en concreto siempre ha sido una prioridad y sobre todo después que la Oficina Central de Estándares del Reino Unido en el año 1940 reconoció que se tenía que profundizar el estudio de la evolución de la resistencia del concreto, es decir saber el estado resistencia vs tiempo, esto debería ser una práctica constante. Para asumir

dicha responsabilidad debemos reconocer que las normas, códigos y reglamentos de construcción referidos al concreto destacan la existencia de la resistencia potencial del concreto, cuyo símbolo es  $f'c$  y se recomienda que esta medida debe de ser a los 28 días, esto por simple convención, pero es abierto para cualquier caso de exención, un ejemplo sería  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> a 3 días. La importancia de saber la evolución de la resistencia (madurez del concreto) radica en calcular el tiempo en que la estructura puede soportar el montaje de otra estructura del mismo material o diferente o en su defecto el tiempo en que la estructura puede entrar en servicio. Como ya lo expuesto justifica el conocimiento de la evolución de la resistencia (madurez del concreto) de una estructura vaciada en concreto la pregunta es obvia ¿Por qué este dato no se contempla como obligatorio en la construcción?, la respuesta es que por convención se acepta que la evaluación debe hacerse a los 28 días y además debe evaluarse la resistencia potencial del concreto, estos dos datos están protegidos por un sobredimensionamiento, la causa es que el método para lograr obtener la madurez del concreto es engorroso y consta de testeo durante todo el tiempo de evaluación, siempre se debe saber la madurez del concreto pero como no es fácil obtenerlo se acepta obtener la resistencia del concreto a los 28 días y además se acepta obtener la resistencia potencial como referencia indirecta de la resistencia de la estructura vaciada de concreto.

Las investigaciones acerca de la evolución de la resistencia (madurez del concreto) se han hecho desde el momento en que se pretende hacer una caracterización del material a comienzos del siglo pasado, sin embargo recién en 1940 se sientan las bases de investigación obteniéndose los resultados de las investigaciones en 1950 conjugando los resultados de un testeo de temperatura y tiempo in situ de la estructura vaciada de concreto correlacionando con la resistencia a compresión, el concepto se sintetiza en “muestras de una misma mezcla de concreto tendrán iguales resistencias si es que tienen iguales valores de madurez, aunque el historial de temperaturas varíe en transcurso del tiempo”.

### **1.2.1 Realidad problemática**

El concreto armado se ha hecho popular en la construcción de edificios, estadios, puentes, carreteras; esto debido al bajo costo que significa usar este material. Son más de cien años usando y estudiando el concreto, sin embargo su proceso de

selección de sus materias primas, producción, transporte y vaciado aún cuenta con varios mitos, esto a pesar que hay muchas referencias de investigación que define su comportamiento y desempeño. A nivel global podríamos enunciar a varias instituciones que han estudiado el desempeño del concreto, a pesar de esto su uso se ha contaminado de procedimientos artesanales y mitos que han ocasionado incidentes y accidentes en su proceso constructivo, por ejemplo la calidad de la dosificación y materiales son muchas veces causa de múltiples problemas, el más común es cuando resistencia a compresión no se logra en el tiempo especificado; dado que el tiempo en una programación de construcción es importante para el cumplimiento, si no se logra este es un problema potencial no solo por los temas contractuales, sino también por la resistencia a las cargas de la estructura. Por dar un ejemplo en Barranquilla (2017) se desplomó un edificio en pleno proceso de construcción, la resistencia de las estructuras de concreto no soportó los pesos muertos del edificio, y se terminó desplomando, esto está referido en la publicación del periódico “El Herald” de Colombia el día 28 de abril del 2017. Este ejemplo tiene replicas similares que muchas veces no salen a la luz pública, y no es que los diseños y cálculos de la estructura estén errados, es el proceso de madurez de la estructura el que no está de acuerdo con la programación de obra. En nuestro medio la forma de determinar en qué momento se inicia el desmoldado del concreto es a través del ensayo “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas” (NTP 339.034, 2008), dicha norma consiste en someter a un espécimen a esfuerzos axiales y de este modo poder determinar la resistencia del espécimen y compararla con la resistencia de diseño, este ensayo de resistencia a la compresión debe realizarse en instituciones especializadas con personal calificado. Este ensayo demanda tiempo y costo para poder realizarlo, ya que en proyectos alejados que no cuenten con dichas institución de la zona, pueden demorar demasiado tiempo obtener los resultados lo cual genera costos adicionales que se pudieran evitar, sin embargo a pesar de todo casi nunca una probeta de concreto estándar refleja la resistencia de una estructura en obra, esto está referido muy detenidamente en el informe “Métodos para la evaluación de estructuras de concreto no destructivos (In-Place Methods to Estimate Concrete Strength)” (ACI 228, 1995, p. 2) de EEUU. El método de madurez, ASTM C1074–NTP339.217, es una buena alternativa permite determinar la resistencia a la compresión en situ, ya que solo es necesario comparar los resultados de la

temperatura y tiempo (los cuales se obtendrán con equipos electrónicos) para determinar la resistencia a la compresión, basados en los resultados de laboratorio obtenidos anteriormente. Es por ello que es necesario adecuar el método de madurez a nuestra realidad debido a las múltiples ventajas que este ofrece.

## **1.2.2 Problema**

### **1.2.2.1 Problema principal**

¿Cómo determinar la resistencia a la compresión cumpliendo los estándares de calidad en nuestro medio para obtener resultados reales de los elementos vaciados en obra con medios electrónicos?

### **1.2.2.2 Problema secundario**

La forma estándar para determinar la Resistencia a compresión del concreto se realiza en laboratorios especializados que cuenten con el equipo adecuado, esto genera que el resultado tome tiempo en determinarse, sin embargo este resultado no representa la resistencia del elemento vaciado en obra, solo representa la resistencia potencial del diseño de mezcla, según “el código de American Concrete Institute” (ACI 318, 2008, p.1) de EEUU y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Implementar el procedimiento del método de madurez del concreto (norma ASTM C 1074) para calcular la resistencia a la compresión con apoyo de equipos electrónicos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Preparación de los sensores de temperatura, relojes digitales calibrados y placas genéricas programables, para censar la temperatura en el concreto, y ese dato transformarlo en un número digital.

- Mediante un software determinar la resistencia a la compresión usando el método madurez del concreto y los datos del censado de temperatura del concreto.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación de la investigación**

La forma habitual para determinar la resistencia a la compresión es a través del “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas” (NTP 339.034, 2008), pero como ya se mencionó anteriormente se requiere de instituciones especializadas con personal calificado, lo cual en algunos casos es muy complicado pues no siempre están disponibles, además los ensayos son programados a los 28 días y solo demuestra la resistencia potencial del diseño de mezcla, lo que provoca una confusión, pues se cree que esta puede tomarse como la resistencia del concreto que tiene la estructura vaciada con el mismo material, lo cual no es cierto y está bien justificado en el código ACI 228 (ACI 228,1995, p. 1), referido a la evaluación de las estructuras de concreto mediante métodos no destructivos. La base fundamental de lo descrito anteriormente es que los tamaños y la temperatura del ambiente influyen mucho en la temperatura de las estructuras vaciadas en concreto y esta a su vez es directamente proporcional a la resistencia del concreto, en pocas palabras no es igual un cilindro de 4x8 pulgadas que una columna de 0.25x0.25x3 metros y a su vez no es igual tener concreto en un laboratorio y tenerlo al aire libre, por más que estemos hablando del mismo material.

#### **1.4.1.1 Justificación teórica**

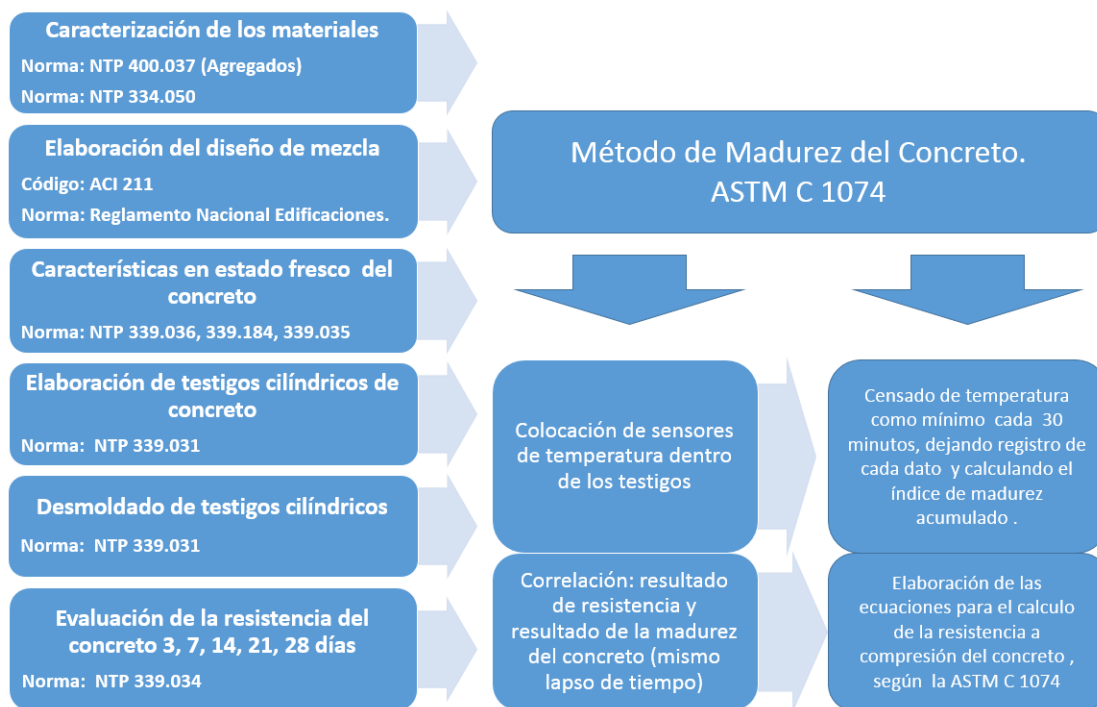
El método de la madurez del concreto, es una forma de evaluar la resistencia del concreto recién vaciado, relacionando el tiempo y las mediciones de temperatura a valores de resistencia reales. Si todo este procedimiento es automatizado a través de equipos electrónicos, es probable que el uso de este método se pueda masificar y ayudar en la programación y tiempos en el proceso constructivo.

### **1.4.1.2 Justificación práctica**

La importancia de saber la evolución de la resistencia (madurez del concreto) radica en calcular el tiempo de moldeo o encofrado y el tiempo en que la estructura puede soportar el montaje de otra estructura del mismo material o diferente o en su defecto el tiempo en que la estructura puede entrar en servicio.

### **1.4.1.3 Justificación metodológica**

El concepto se sintetiza en “muestras de una misma mezcla de concreto tendrán iguales resistencias si es que tienen iguales valores de madurez, aunque el historial de temperaturas varíe en transcurso del tiempo”, se puede asegurar que es un método no destructivo y pretende de forma muy sencilla establecer la evolución de la resistencia de una estructura vaciada en concreto. Todo el procedimiento está descrito en la norma ASTM C1074 – NTP 339.217, “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez” (NTP 339.217,2007), en donde se especifica que a toda estructura recién vaciada se debe tomar la temperatura y registra el tiempo en que se tomó la misma; este registro debe de ser ininterrumpido y guardado y acumulado. Con mucha anterioridad los laboratorios de tecnología de materiales deben de determinar una característica del cemento que se llama constante de activación, la misma norma recomienda el valor de esta constante si no se realice este estudio; y también los laboratorios de tecnología de materiales deben de determinar la temperatura cero, en donde no se produce ningún incremento de resistencia, también la norma recomienda un valor si es que no se hace un estudio previo; estos valores recomendados por la norma son productos de múltiples estudios en EEUU, que sin duda sirven mucho en la obtención del método, mu al margen de estos dos datos los materiales en el siguiente gráfico establecemos un procedimiento sinóptico:



**Figura 1-, Gráfica del concepto de la Madurez del concreto**

#### 1.4.1.4 Justificación social

Establece un método que asegura la confianza en el procedimiento constructivo, más que una ventaja es lograr establecer el grado de resistencia de una estructura con la finalidad de planificar trabajos que están relacionados con la misma sabiendo que la resistencia no va ser impedimento para realizar dichas actividades, las mismas que serán realizadas por el personal de construcción. En los “Métodos para la evaluación de estructuras de concreto no destructivos, donde se especifica que las probetas evaluadas en el Laboratorio no representan lo que la estructura tiene como resistencia, por eso cobra importancia el este método, pues calcula la resistencia directamente de la estructura de concreto sin llegar a utilizar los cilindros estándar (ACI 228, 1995, p.1). Esto resuelve una incertidumbre en la calidad a tiempo real de las estructuras de concreto.

#### 1.5 Hipótesis



### **1.5.1.1 Hipótesis principal**

¿Se podrá implementar el procedimiento del método de madurez del concreto usando equipos electrónicos que permitan determinar la resistencia del concreto?

### **1.5.1.2 Hipótesis secundaria**

Apoyado en el sistema de emulación de automatización Myopenlab se deberá hacer una secuencia programada para detectar los datos de temperatura vs tiempo a través de hardware, y luego se calculara la resistencia de compresión.

## **1.6 Limitaciones**

La calibración de los sensores del equipo electrónico es de vital importancia para obtener resultados fidedignos para la obtención del índice de la madurez vs resistencia, por lo que se tuvo la limitación en el área geográfica, debido a la disponibilidad acorde a la actividad laboral de realizar pruebas en la ciudad de Lima durante el año 2016 - 2017.

## **CAPITULO II**

### **2. Marco teórico**

#### **2.1 Bases Teóricas del Concreto**

##### **2.1.1 Sobre el Concreto**

El concreto se basa en la dosificación o diseño de mezcla, de sus materiales, esto define sus características físicas en estado fresco y endurecido; el propósito de realizar un diseño de mezcla es crear un concreto de buena calidad, a un costo accesible y que cumpla con todos los requisitos del proyecto. En esta investigación no se ahondara en este tema ya que no es su propósito, pero se tocara los lineamientos para realizar un buen diseño de mezcla de concreto usando el método ACI 211 (ACI 211, 2002).

##### **2.1.1.1 Dosificación de Mezclas de Concreto**

Debe establecerse que uno de los requisitos para el cálculo de la Madurez del concreto es realizar todo el método cada vez que se modifica el peso de cualquier material del diseño de mezcla, así que se debe deducir que la formulación del diseño de mezcla tiene muchas variables como para establecer una correlación de los cambios que afectan al resultado final del Método de Madurez, por tanto sólo se establecerá que el sistema de diseño de mezcla lo establece el el Código ACI 211 (ACI 211,2002), y de allí hay varias sistemas de calculo que varían de este y cuyo estudio no es objetivo del presente documento.

### **2.1.2 Curado del concreto**

Este proceso se refiere al humedecimiento del elemento de concreto, esto considerando que la base del incremento de la resistencia del concreto está en las reacciones químicas que se producen una vez que el cemento y el agua se mezclan (hidratado), este proceso puede durar menos de 28 días o más de 28 días (depende mucho de los materiales), pero por convención se ha estandarizado que si no se re especifica al respecto nada, se tomara 28 días como la medida general para la evaluación de la resistencia del concreto; con esto podemos reafirmar que el humedecimiento de la muestra de concreto sugiere la no interrupción de la hidratación, pero aun así debemos de aclarar que este proceso está estandarizado en el Reglamento Nacional de Edificaciones y no necesariamente se cumple en las estructuras de verticales o sobre cabeza de concreto, dígase placas, columnas, pilares, vigas, techos, etc, y es que al respecto se han hecho estudios en donde se ha comprobado que la cantidad de agua del diseño de mezcla (en los tipos de concreto más usados en la construcción) está por encima de lo necesario para producir el 100% de las reacciones químicas que producen la resistencia en el concreto; a raíz de estos estudios se han elaborado procedimientos de curado no convencionales como el uso de elementos químicos untados en las estructuras de concreto con la finalidad que el agua y humedad misma del concreto no se evapore y sea contenida en el elemento de concreto, como un auto curado, o incluso el revestimiento de la estructura de concreto con materiales para evitar el contacto con el viento y los rayos solares (principales propiciadores de la evaporación del agua interna del concreto); esta práctica se usa mucho y permite mucha flexibilidad en recurrir al humedecimiento constate de la superficie de concreto.

### **2.1.3 Teoría de generación de calor del concreto**

Hemos referido que los primeros indicios de establecer una relación entre la generación de calor y la resistencia del concreto es evaluando el comportamiento que ha tenido el concreto en construcciones sometidas a temperatura de ambiente altas y a temperatura de ambiente bajas, de esto hay mucha información e incluso hay mucha prudencia de parte de los encargados de la autoconstrucción en nuestro país, “maestro de obra vecinales”, solo para nombrar un ejemplo los “maestros” saben que en Lima se debe mantener como mínimo 14 días el encofrado de un techo aligerado

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

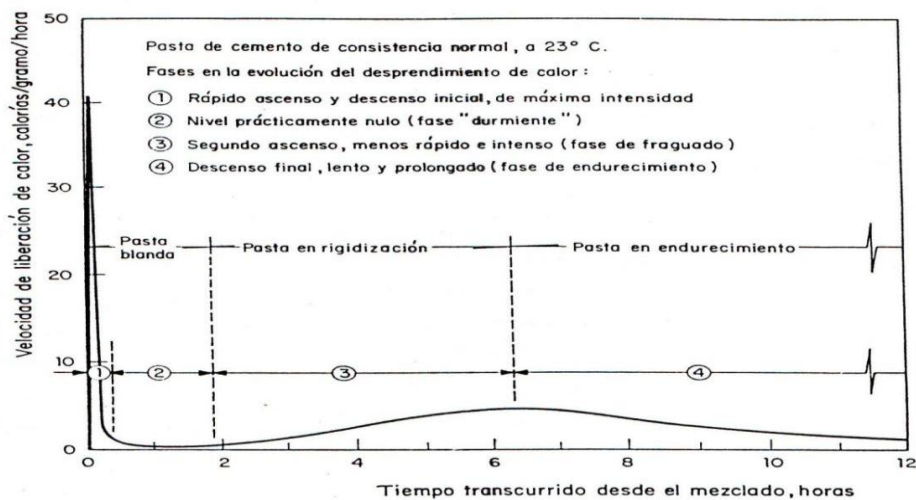


Figura 2: Evolución de la temperatura dentro de un ambiente controlado  
 "Manual de Tecnología del Concreto"

### 2.1.3.1 Concreto en estado fresco

El concreto está compuesto principalmente de cemento agua y agregados pétreos o arena gruesa y piedra, cuando todos estos compuestos se mezclan se debe entender que el agua y el cemento son los materiales que tendrán transformación química y física, se da por hecho que los materiales pétreos no deberían de formar ninguna clase de reacción durante el mezclado o después del mismo, es decir son inertes. La finura del cemento hace que la contacto con agua pueda conformar de una

pasta que actuara de lubricante entre los materiales pétreos; la proporción medida de todos los componentes le darán a propiedades de fluidez y consistencia ideales para el uso de llenado de formas (encofrado) y consolidación de la misma, un desentono en el la cantidad de un material podría provocar una falta de homogeneidad de la misma y esto redundara en la estructura final, la cual será muy probable que tendrá problemas de todo tipo he inclusive de resistencia. Es necesario seguir las recomendaciones del código ACI 211 (ACI 211, 2002), que detalla recomendaciones para llegar a u diseño de mezcla óptimo que tenga un buen desempeño y costo accesible. El concreto en esta fresco debe y tiene por naturaleza un comportamiento rehológico ya sea de alta fluidez (muy usado en columnas esbeltas) o de muy baja fluidez (usado en estructuras con pendiente acentuada tipo escareas), las características rehológicas dependerá mucho el elemento en donde se vaciara el concreto; el concreto en estado fresco, como ya hemos podido observar se usa para colocarlo y moldearlo en su forma permanente, mientras el estado fresco del concreto este vigente se puede realizar el moldeo y consolidación (con un sistema de vibrado externo) del mismo, pero su duración dependerá de varios aspectos, los agentes de tipo interno: *“al tipo de cemento, la calidad de agregado fino, la forma del agregado grueso, la temperatura de los materiales”*; y los agentes de tipo externo: *“la humedad relativa del ambiente, la temperatura ambiente, el tipo de encofrado y otros”*; lo cierto es que visualmente uno puede deducir que el concreto está en un estado fresco pero esto termina y lo hará cuando entre en un estado rígido que será vez se inicie estado de fragua inicial.

### **2.1.3.2 Concreto en estado de Fraguado Inicial**

El tiempo en que alcanza el fraguado inicial es cuando la resistencia a la penetración llega a 35 kg/cm<sup>2</sup> y el tiempo de fraguado final alcanza los 280 kg/cm<sup>2</sup>. Es un estado semirrígido y no tiene la capacidad suficiente como para resistir cargas, pero el estado fresco desapareció y cualquier sometimiento a cargas ocasionan deformaciones de tipo permanente que solo se pueden lidiar con mucha fuerza de consolidación, se puede decir que aún guarda propiedades para ser moldeado el concreto pero ahora necesita mayor fuerza de consolidación, la base de la existencia de este estado es por la formación no permanente de un gel que rodea la partícula de cemento que no deja que el cemento siga su proceso de hidratación, entonces el

proceso de hidratación se duerme por un periodo corto hasta que esta capa superficial es superada.

### 2.1.3.3 Proceso de endurecimiento

A este proceso se le reconoce con la liberación de calor, es en este momento en donde la capa de protección o gel formada en la superficie de la partícula de cemento se vuelve frágil lo cual provoca una mayor hidratación y a la vez engrosamiento de la superficie del cemento. El grado de rigidización del cemento hidratado llegara a extremos en donde se aglutinaran la pasta de cemento con el agregado fino para formar un material muy consistente que formara mucho calor y dependiendo el estado de aglutinamiento, forma y tamaño del agregado grueso evolucionara el calor, el endurecimiento y la resistencia a compresión del concreto.

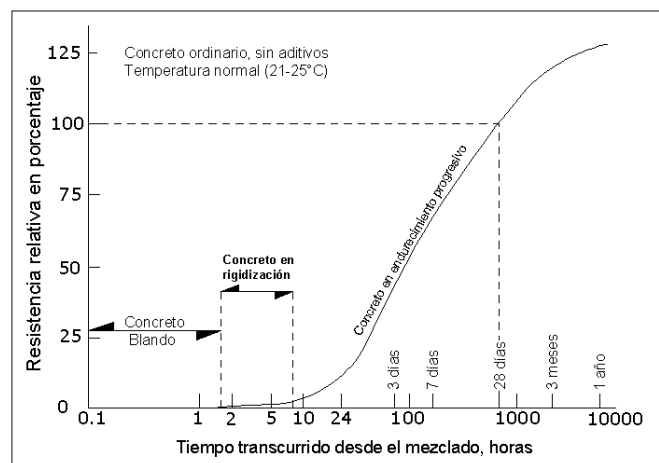


Figura 3: Rigidización y Endurecimiento del Concreto.  
Manual de Tecnología del Concreto.

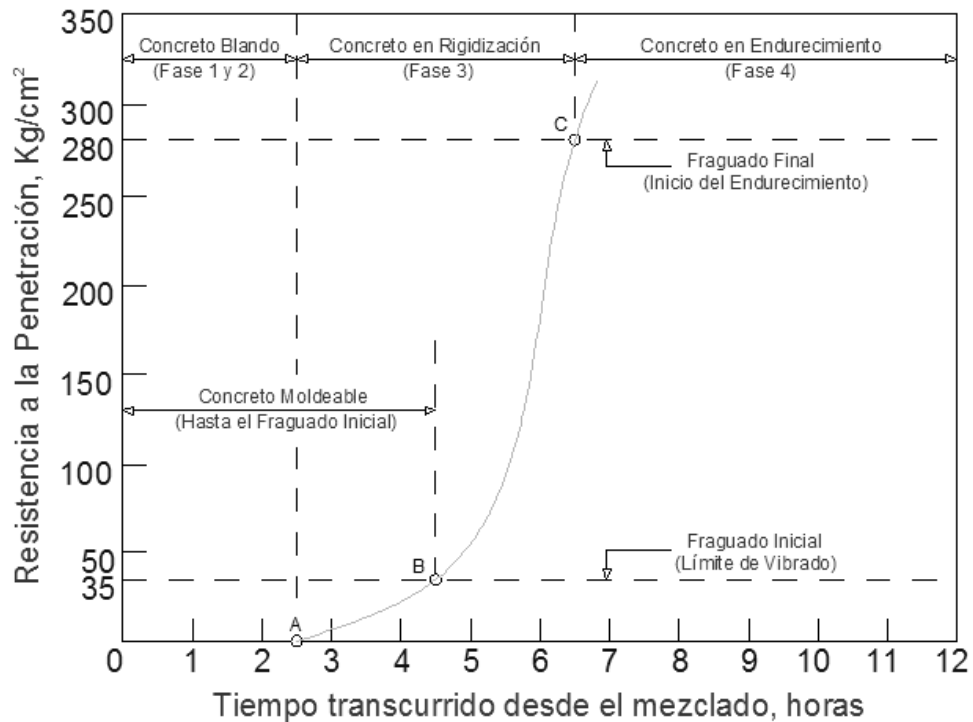


Figura 4: Proceso de fraguado del concreto  
Manual de Tecnología del Concreto.

#### 2.1.3.4 Concreto endurecido

Es la última fase del concreto, y es aquí que cualquier esfuerzo que se le aplique al concreto que sea mayor a la capacidad del mismo provocara irremediamente fisuras y deformación permanente, el comportamiento de cualquier esfuerzo menor a la capacidad de soporte del concreto hará que este se comporte de forma elástica pero con un nivel de deformación muy bajo. Por este motivo en la construcción se usa con el acero corrugado de refuerzo, de esta forma hacen el concreto armada o concreto reforzado, esta es base fundamental de las construcciones de concreto. Esta fase es la más larga y se puede detener y retomar dependiendo de ciertas condiciones externas e internas del concreto, como también el endurecimiento puede pararse para siempre para pasar a un proceso de degradación, esto puede provocarse por efectos químicos internos que demoran en activarse, para poner solo un ejemplo la reacción alcalina contra el agregado, pero estas reacciones son excepcionales, lo común es que el endurecimiento se siga dando durante un tiempo muy prolongado, pero se sabe por convención normativa que a los 28 días ya se tiene la capacidad potencial del concreto, y es con este criterio que se diseña en nuestro país, no sucede lo mismo con Brasil por ejemplo, en donde hay muchos proyectos que ha cambiado su política

de evaluar la resistencia que normalmente se hacía a los 28 días a una evaluación de 45, 60 o más días, esto tiene lógica pues gran parte de sus cementos son adicionados con puzolanas o escoria de alto horno, estos cementos se caracterizan por tener su endurecimiento mucho más largo y con bajo calor de hidratación.

#### **2.1.4 Ensayos al Concreto Fresco**

Las características físicas del concreto, se pueden reflejar a través de ensayos estándares que se realizan en estado fresco y endurecido, en esta oportunidad hablaremos de los ensayos estándares en estado fresco:

##### **2.1.4.1 Temperatura**

La temperatura es la característica del concreto más importante para el método de madurez, su medición está establecida en la Norma Técnica Peruana 339.184 y su implementación en los ensayos previstos para el cálculo de la Madurez del concreto es obligatorio.



**Figura 5: Termómetros digitales  
Tomada del laboratorio Normet**

##### **2.1.4.2 Revenimiento (slump)**

El propósito de la prueba de revenimiento es determinar la verificación de la uniformidad del concreto se realiza solo con esta finalidad, sin embargo también en los últimos años se ha usado como un medidor rehológico pero con un amplio sesgo de error, aun así es válido su resultado a nivel rehológico. La Norma Técnica Peruana que establece su correcto uso es el “Método de ensayo para la medición del



asentamiento del concreto de Cemento Portland” (NTP 339.035,2015). Nosotros lo usaremos como un medidor encaso se necesite elaborar más de una tanda o bach de concreto en diferentes días.

#### **2.1.4.3 Tiempo de Fraguado del Concreto**

Esta característica es la más aproximada a la evaluación de la resistencia del concreto en las primeras 24 horas después de haberse consumado el mezclado del diseño de mezcla del concreto, sin embargo solo es un aproximado pues en la realización del ensayo no interviene el agregado grueso del concreto y la resistencia es a ser penetrado por agujas con diferente área en la punta que se utiliza para penetrar la muestra; las unidades del resultado del ensayo es en  $\text{kg/cm}^2 \times \text{tiempo}$  (horas : minutos), y la Norma Técnica Peruana que define el procedimiento del ensayo es (NTP 339.082,).



**Figura 6: Ensayo de fraguado del concreto**  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto. Tomo II

#### **2.1.4.4 Resistencia del Concreto**

Es preciso recordar que la resistencia, al menos en los primeros 28 días, tiene variabilidad ascendente, a esto le llamamos evolución de la resistencia o madurez, esto se debe a que se incrementan el desarrollo de elementos químicos endurecidos (dentro del concreto) producto de la unión del cemento y agua (hidratación), esto solo para resumir objetivamente el proceso. La medición de esta característica viene a ser de forma convencional el resultado de un ensayo que propone aplicar una fuerza controlada a un área convenientemente proporcional a la altura del elemento a ensayar, y por convención de estandarización, de forma cilíndrica (Norma Americana), esta fuerza controlada se incrementa con velocidad

constante y convenientemente estandarizada, hasta que el testigo o elemento ensayado se vea afectado por un colapso en su forma (formación de fisuras descontroladas) y la fuerza de reacción se vea disminuida, en este punto se debe captar la máxima fuerza aplicada y se debe dividir entre el área aplicada del elemento. De acuerdo a lo expuesto podemos deducir que en el proceso constructivo de una estructura de concreto es muy importante saber en qué tiempo la estructura tendrá la resistencia solicitada, además saber su evolución de la misma, para programar actividades constructivas que estén relacionadas con la misma, por ejemplo desencofrar la estructura, o construir una estructura encima de la misma, de seguro este pensamiento ha sido la motivación para poder definir el método de madurez del concreto. Para detallar con mayor detenimiento el tipo de características físicas estándares del ensayo de una muestra de concreto debemos recurrir a la lectura a la Norma Técnica Peruana NTP 339.031, y para realizar el muestreo de concreto en estado fresco y poder formar un testigo que sea representativo debemos acudir a la Norma Técnica Peruana 339.036, los detalles de estandarización deben de cumplirse con la finalidad que la variabilidad y evolución del concreto no se vea afectada por inclusión de procedimientos no estandarizados.

### **2.1.5 Bases teóricas de la plataforma Arduino**

La placa electrónica Arduino es la más usada dentro del mundo del hardware y software libre, ha sido muchas veces usada para el prototipado de circuitos electrónicos con una diversidad de proyectos que se abocan a la carrera electrónica. Muy pocas proyectos se han embarcada en atender necesidades concernientes a la ingeniería civil, pero su sencillo y genérico uso hace que sea ideal para considerarlo como el equipo electrónico que desarrolle una automatización dentro de un censado de la calidad de un material en general. El arduino tiene entradas y salidas analógicas, y digitales, pines de comunicación I2C, Rx, Tx, comunicación serial.

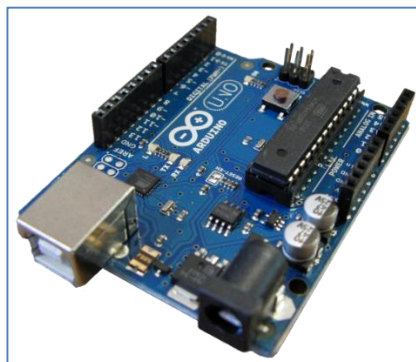


Figura 8: Fotografía de la placa Arduino UNO

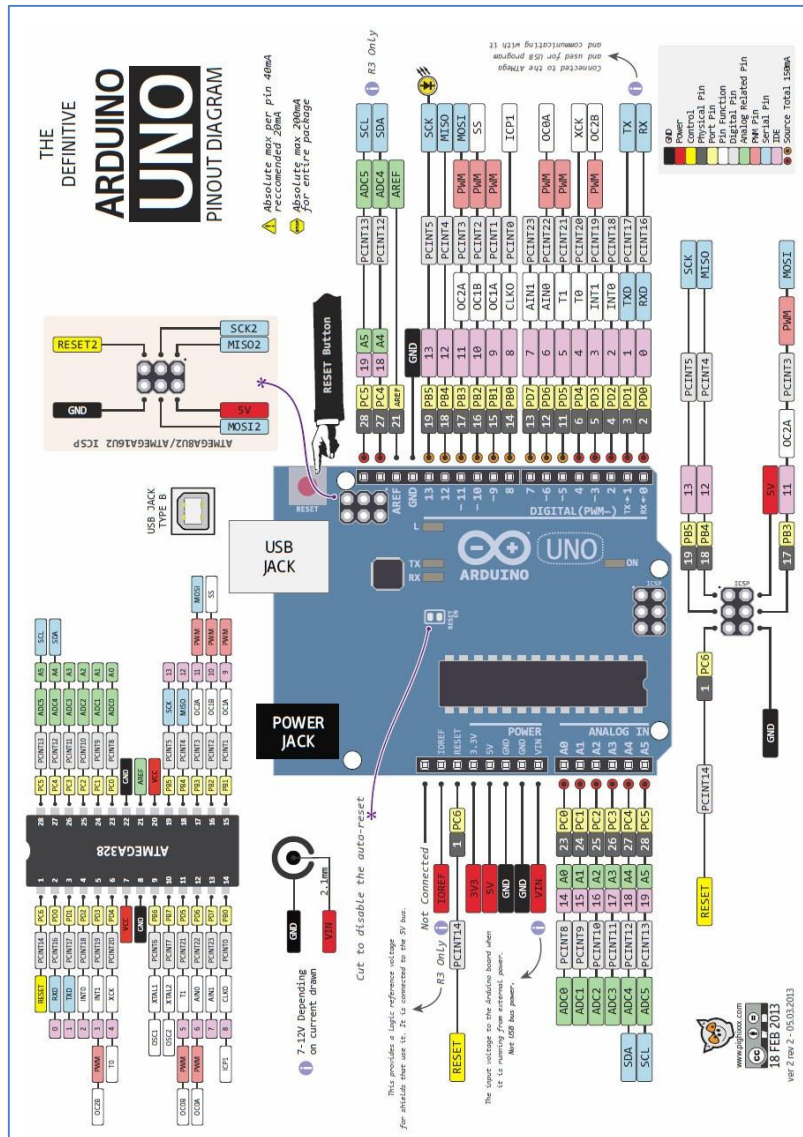


Figura 9: Distribución de los conectores de la placa Arduino UNO

### 2.1.5.1 Entorno de desarrollo en Arduino

El entorno de desarrollo en Arduino (IDE) es el entorno capaz de lograr la comunicación serial entre la placa electrónica un computador y el hardware de

Arduino, al respecto, en la etapa de programación del arduino podremos definir las siguientes pestañas más importantes para poder programar:

- **Editor de texto.**- Aquí se escribe el código el cual se denomina boceto.
- **Área de mensajes.**- Es la zona en donde encontramos los mensajes sobre los errores que tiene nuestro programa, además de darnos información del porcentaje de memoria flash que fue ocupada por el programa cargado con anterioridad.
- **Consola de texto.**- A través de esta zona tenemos el estado de comunicación entre el hardware y el software de arduino.
- **Barra de herramientas.**- Aquí se accede a todas las herramientas y funciones de programación..

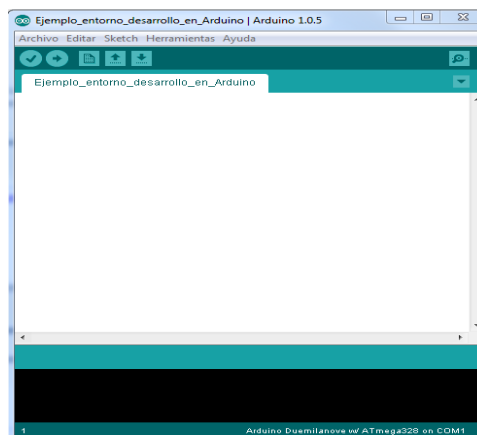


Figura10: IDE -Arduino

Las funciones más importantes del IDE arduino son:

- **Verificar:**La función que analiza el boceto previamente a cargarlo dentro del arduino, sus conclusiones es aceptar el código o boceto o detener su instalación dentro del arduino, además de dar información de los posibles errores, esta función ayuda mucho en el desarrollo del programa.
- **Cargar:**Esta función no solo carga el programa al arduino, si no hace un previo análisis utilizando la función de verificar y luego que el programa no tiene ninguna observación procede a cargar el programa.
- **Nuevo:**Sirve para hacer un nuevo programa o sketch.
- **Abrir:** Permite abrir un programa guardado con anterioridad.
- **Guardar:**Esta función tiene todos los beneficios de guardar el programa en la ruta que se especifica, es tan importante como la función guardar en Office.

- **Monitor Serial:** El monitor es la zona en donde se abre y se verifica la comunicación de la PC con la tarjeta electrónica, he incluso se pueden ver visualmente el intercambio de información que envía la tarjeta.

También establecemos la velocidad con que se va intercambiar información con la tarjeta electrónica, estas velocidades se miden en baudios y la misma colada en el monitor debe tener el código de programa través del comando Serial. Begin (“*valor del baudrate*”). En la figura 11 se puede ver las opciones que se tiene.

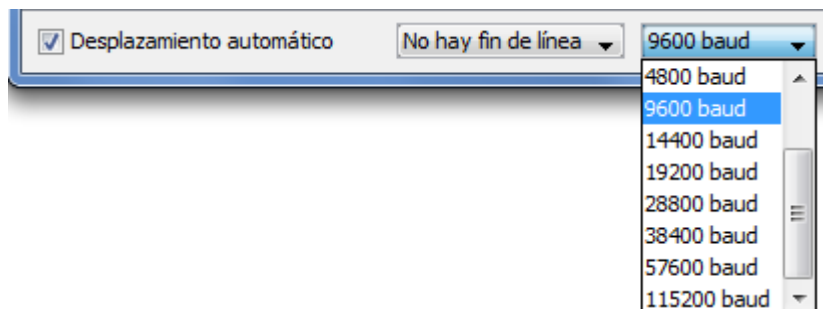


Figura 11: Selección del valor de 'baudrate' en la ventana "Monitor Serial"

### 2.1.5.2 Sensores de temperatura

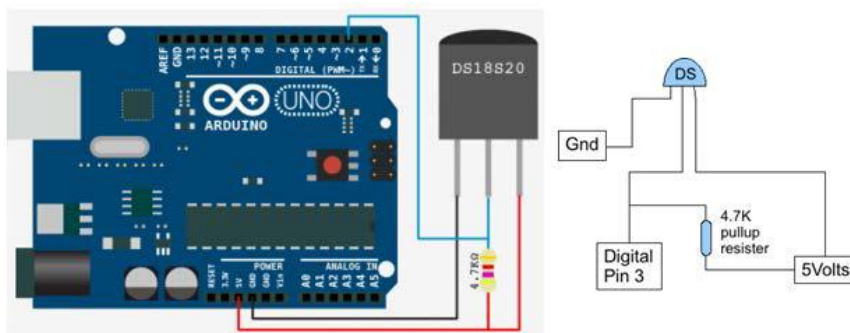
A continuación procedemos a evaluar los principales sensores de temperatura que hemos podido encontrar en el mercado y que son totalmente compatibles con las distintas versiones de la plataforma Arduino. Básicamente decidiremos por un tipo de sensor u otro en función de algunas de sus características (precio, robustez, velocidad de respuesta, etc.), aunque también tendremos en cuenta qué pines serán los que ocupe dicho sensor,

**Sensor de temperatura digital “DS18B20”.**- Comenzamos por el primero de los dos sensores que mantienen el mismo diseño, concretamente en su versión digital, el modelo DS18B20. En la figura 14 vemos una imagen del diseño que presenta este tipo de sensor, y podemos hacernos una idea de su reducido tamaño.



**Figura 14:** Sensor de temperatura DS18B20

Como vemos se trata de un elemento muy compacto, compuesto por una pequeña cabeza de plástico y tres patillas metálicas. En apariencia, resulta muy similar al diseño de un transistor. Para su montaje sobre la placa Arduino, una de sus patillas irá directamente conectada al pin 5V (alimentación); otra debe conectarse a masa (pin GND); y la tercera es la que irá conectada a uno de los pines digitales. Entre la patilla que recibe la alimentación y la que va conectada al pin digital (señal), debe conectarse una resistencia de pull-up de 4,7k $\Omega$ . En la figura 15 se muestra el esquema de conexión:



**Figura 13:** Esquema de montaje para la prueba del sensor DS18B20



**Figura 14:** Sensor de temperatura SEN118A2B

### 2.1.6 Bases teóricas de la plataforma electrónica Raspberry Pi 3

Es una placa electrónica del Reino Unido de software libre y además de mucha ventaja en el tema de los costos, ideal para prototipos de equipos con actividades específicas, además de tener la posibilidad de conectividad inalámbrica e internet como Ethernet. Ha sido muy difundida gracias al apoyo de la Fundación Raspberry Pi, cuyo objetivo siempre ha sido poner al servicio de los usuarios una placa de bajo costo y con la posibilidad de programar con software libre.

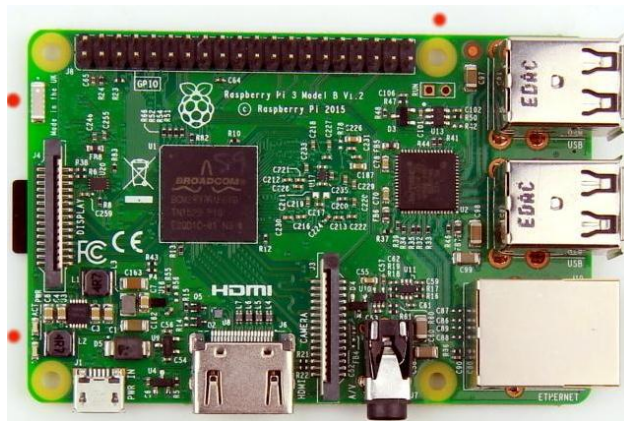
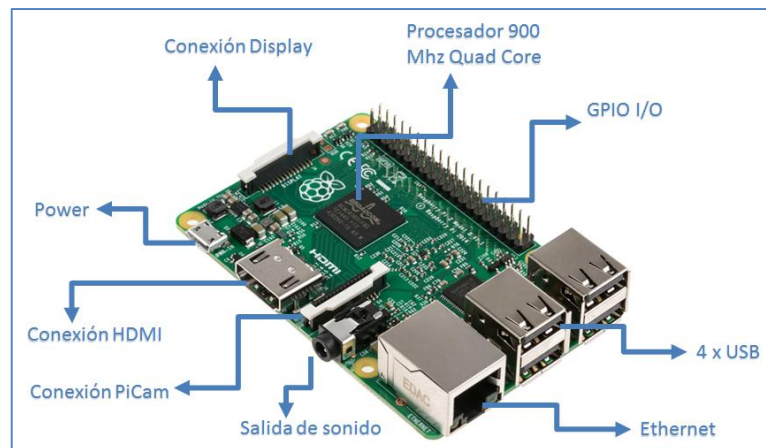


Figura 15: Raspberry Pi 3

Esta plataforma electrónica tiene muchas ventajas en sus características, que sopeando con el costo se ha vuelto en la mejor opción en el motor de proyectos electrónicos para automatizar labores y como un DATALOGGER. Debemos además resaltar su flexibilidad en su nivel de programación y no se queda atrás su tamaño que con sus 85.60mm x 53.98mm se vuelve en un equipo especial para proyecto en donde es muy importante el camuflaje y la protección de la electrónica. Las características del hardware se presenta de la siguiente forma: En el procesador tenemos un tipo Broadcom BCM 2837 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + Puerto USB) de esto tenemos que especificar que el CPU es de 1.2 GHz de 64 bit quad-core ARM v8, con un Risc de 32 bits, además de tener una memoria SDRAM de 1 Gb y todo esto compartido con la GPU. Como se nota es una Micro Pc muy versátil y de alto poder de procesamiento; hay que destacar también la calidad de comunicación con los equipos periféricos que se puede hacer mediante 4 puertos USB, 17 GPIO y un bus HAT ID, 10/100 Ethernet (RJ45) via hub, Wifi 802.11n, bluetooth 4.1.



**Figura 16: Raspberry Pi 3 y sus partes más importantes.**

El consumo de corriente 800 mA (4.0 W) y su fuente de alimentación es de 5v via micro USB o GPIO header, para tener claro la alimentación debería de ser 5v (+ 5%) y un mínimo de 3000 mA, sin embargo si la capacidad del proyecto que se desborda en usar más del 50% de sus conectores, se debe aumentar el amperaje de acuerdo a un cálculo de la corriente que se necesita para alimentar estos equipos periféricos. El almacenamiento integrado es a través de un porta micro SD, con la posibilidad, de colocar un MSD memoria con un mínimo de 8 Gigas, y como recomendación adicional una de categoría 10 o más, para lograr una mayor transmisión de datos. No podemos dejar fuera la salida de video, la cual tiene un conector RGA (PAL NTSC), HDMI (rev 1.3 y 1.4), y además un interfaz DSI para panel LCD. El sistema operativo usado para este hardware es el Raspbian; es un software libre GNU/Linux, todo basado en Debian Jessie (sistema operativo para Linux) orientado a la enseñanza de informática. Este sistema operativo tiene la opción de un menú para hacer las configuraciones necesarias para cualquier proyecto, sin necesidad de modificar los archivos de configuración. Con toda confianza pueden usarse varios recursos de Linux, entre ellos incluyen el Libre office, archivos binarios, códigos Python y una interfaz especial para procesadores ARM para arduino, que en esta oportunidad será el camino que seguiremos.



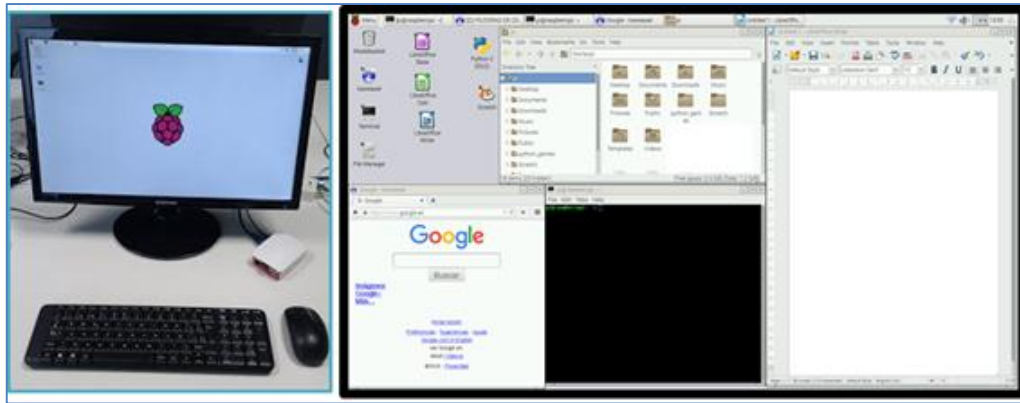


Figura 17: Raspberry Pi 3 y el sistema operativo Raspbian.

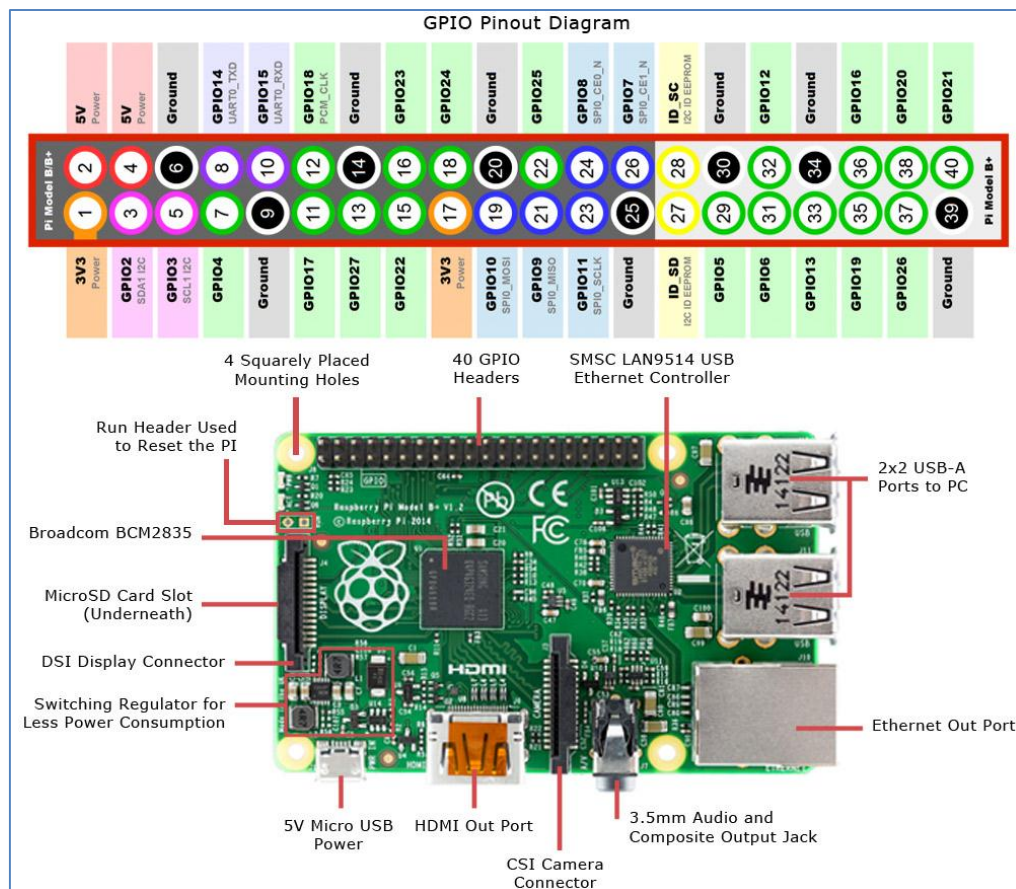


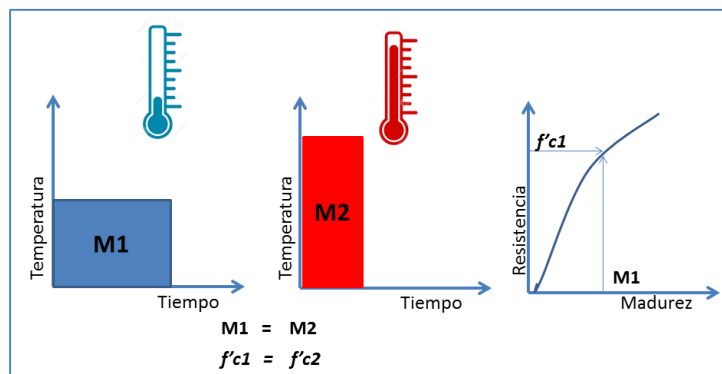
Figura 18: Raspberry Pi 3 y sus partes más importantes.

### 2.1.7 Bases teóricas sobre el método de Madurez del concreto

Detallaremos a continuación todo lo referente al método de madurez, su significado y su desarrollo de sus ecuaciones.

### 2.1.7.1 Definición del método de Madurez del Concreto

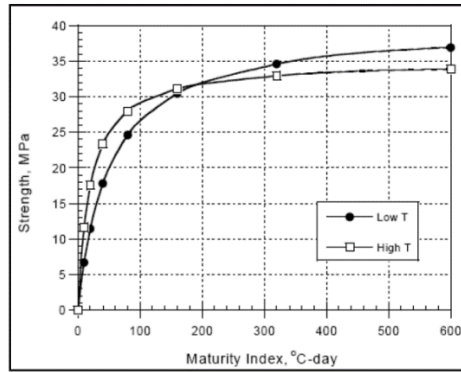
La madurez o evolución significa la ganancia de una propiedad, esto puede ser la ganancia de resistencia de un material, en este caso la madurez del concreto equivale a decir la evolución o incremento en el tiempo de la resistencia del concreto; la forma de medir esta evolución es relacionándola con algún efecto físico del material, y es aquí donde interviene la temperatura. Luego de los estudios hechos por Nurse y Saúl se ha determinado que la acumulación de la temperatura en el tiempo está directamente relacionada a la resistencia, esta es la base del método de madurez del concreto.



**Figura. 19:** Evaluación de la Madurez del concreto bajo dos distintas temperaturas de curado

### 2.1.7.2 Reseña histórica y antecedentes del método de madurez

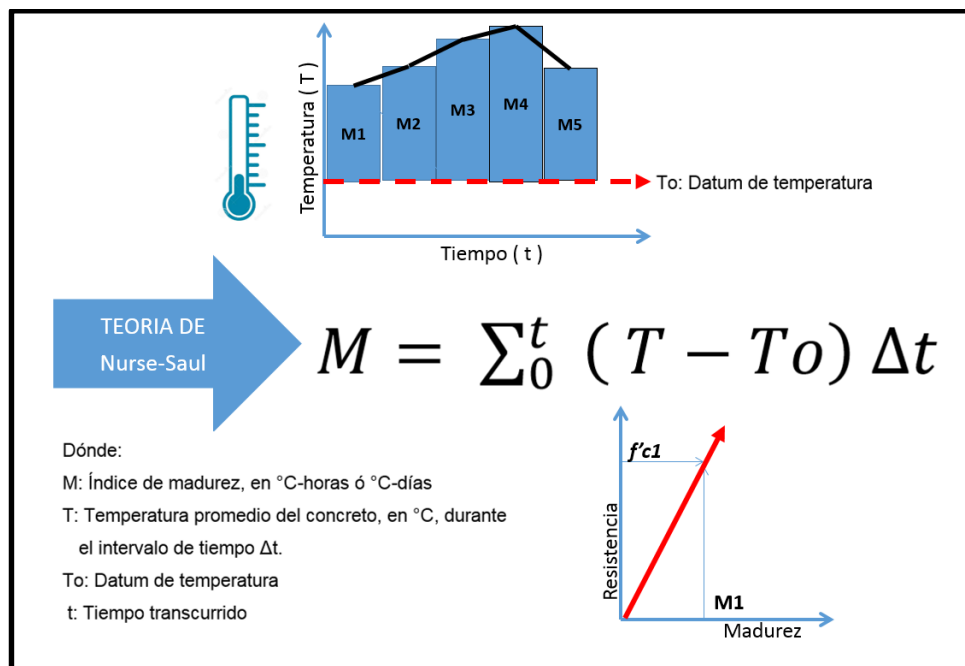
Hay que precisar que en 1940, a partir de una serie de accidentes sucedidos en el proceso constructivo de edificios, en el Reino Unido, la oficina Nacional de Estándares (NBS) inicio los estudios e investigaciones para llegar a la causa de dichos accidentes. La mayoría de accidentes se atribuyeron a un extraño comportamiento en las primeras horas del vaciado del concreto, cuando el ambiente que lo rodeaba tenía temperaturas muy por debajo del promedio normal. La NBS llegó a determinar que había una relación entre la temperatura del concreto y la evolución de la resistencia del concreto. Toda esta información está muy detallada en el “Hand book on Non destructive Testing of Concrete” y recaba con mucho detalle cómo se iniciaron los estudios del método de madurez. Entre la información que alberga el “hand book on Non destructive Testing of Concrete” y este comportamiento se le conoce como efecto – crossoverll. Ilustrado en la figura 20.



**Figura. 20:** Efecto crossover en dos mezclas de concreto a diferentes temperaturas  
National Institute of Standards and Technology

### 2.1.7.3 Teoría de Nurse-Saúl - ASTM C 1074

Las primeras investigaciones que se llevan a cabo son a partir de la década de los 40 en el siglo pasado, y no es precisamente que se comienza a estudiar el tema como la madurez del concreto, sino como un estudio de resistencia acelerada usando incorporación de calor externo al concreto; a partir de este concepto se llega a a conclusiones muy sólidas que luego va constituir la base de la interpretación de la evolución de la resistencia del concreto (Madurez). La teoría de Nurse-Saúl se basa en la siguiente formula:



**Figura. 21:** Ecuación Nurse Saúl

Calcula con mucha aproximación la resistencia en base a una correlación lineal entre la madurez acumulada (sumatoria de la multiplicación de temperatura x tiempo) y la resistencia del concreto, esta relación según la teoría siempre se cumplirá, mientras no se cambie la dosificación de ninguno de los materiales usados en el diseño de mezcla. La constante Datum es la temperatura en donde se detiene el proceso de ganancia de resistencia, lo que quiere decir que bajo esta temperatura el concreto detiene la evolución de la resistencia, la Norma ASTM C 1074 habla que dentro de los estudios hechos recomiendan que es dato sea 0°C, pero en todo caso deja abierta la posibilidad si es que este varía por alguna condición extraordinaria no contemplada en la norma se debe cambiar. Esta fórmula en la actualidad es la más usada por todo el mundo sin embargo a finales de los 70 fue presentada otra propuesta que también va a tener aceptación.

#### 2.1.7.4 Teoría de Arrhenius

En los 70 del siglo pasado se comenzó a realizar una práctica en base a una investigación de madurez del concreto que inicio Arrhenius, (Brown y LeMay, 1988), una ecuación que detalla no índice de madurez sino una edad equivalente y recogía una característica importante de uno de los materiales y dejaba de ser una fórmula empírica, la característica es el grado de activación del cemento, puesto que hay varios tipos de cemento y normalización hasta ahora es difícil de unificarla a nivel global, pues sus rangos de compuestos químicos son muy ologados. La nueva función permitió el cálculo de la edad equivalente del concreto como sigue:

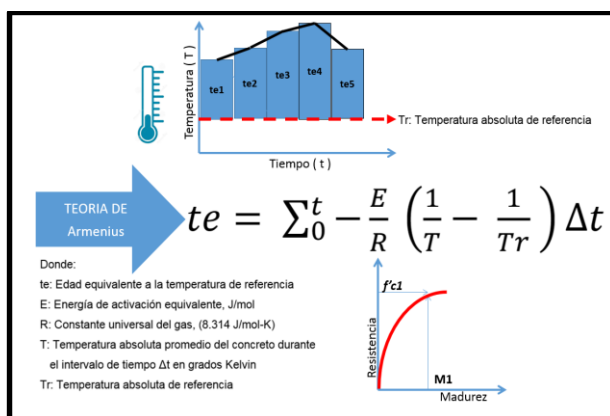


Figura. 22: Teoría Arrhenius

Si uno se da cuenta la formula pasa a ser exponencial, y es muy diferente a la ecuación de Nurse-Saul la cual es una línea recta, si debemos de emitir una opinión se debe de adjuntar las experiencias vividas por varios usuarios, por ejemplo en USA es muy usada la de Nurse-Saul, pues guarda una simplicidad en su elaboración y en su uso, pero la exactitud es relativa. A menudo se logra hacer regresiones lineales dentro del rango aproximado del índice de madurez requerido y esto es lo que lo hace más fácil en su uso. Sin embargo Arrhenius propone una sola formula y curvilínea pues la evolución de resistencia del concreto es curva y lo que trata Arrhenius es representar esta inflexión que provoca el inicio de la tercera fase del concreto o fraguado inicial y final. Para la norma ASTM C 1074 las dos fórmulas son importantes y son usadas, pero eso no quiere decir que ambas tiene que sacarlos mismos resultados, basta con que este dentro del rango de aceptación para decir que las dos teorías pueden ser usadas.

## CAPITULO III

### 3. METODO

#### 3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo al método de investigación podemos definirnos como una “**Tesis de investigación de campo** (Práctica)” porque nos estamos basando en una norma existente y vigente siguiendo sus métodos que ya han sido comprobados en otras investigaciones y los datos los obtenemos del mismo lugar de los hechos donde ocurren.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Lima-Perú entre los años 2014 al 2018, se contó con el apoyo de la empresa concretera MIXERCON, la empresa CONSTRUCTORA BETANIA S.A.C., los laboratorios de la empresa NORMET, quienes en aras de la investigación apoyaron en el desarrollo de esta tesis facilitando sus laboratorios con sus respectivo equipamiento (a lo cual se presenta registro fotográfico).

#### 3.3 Variables

##### 3.3.1 Definición de las variables

###### 3.3.1.1 Variable Método ASTM C 1074

El concreto puede ser considerado como un sistema de tres fases, agua, partículas sólidas y aire. Justo después de mezclar el agua con el cemento, las partículas sólidas se encuentran desconectadas o conectadas por fuerzas, con lo que

el concreto se comporta como un líquido viscoplástico cuya resistencia última depende de la fracción de volumen de sólidos. Conforme la hidratación tiene lugar, las partículas de cemento construyen puentes entre ellas, incrementando gradualmente la fracción volumétrica de sólidos e interrumpiendo la porosidad capilar, que se encuentra rellena de agua. Estos puentes generados por los productos de hidratación son mucho más fuertes que las fuerzas interparticulares, que hacen que floculen existiendo un momento en el que la resistencia de la masa crece más rápidamente que la fracción volumétrica de sólidos, formando de esta manera el esqueleto sólido del concreto. El fraguado inicial indica el momento en el cual la masa ya no puede ser vibrada debido a que se ha adquirido la resistencia suficiente en la cual puede dañar la estructura interna. Por lo tanto, el conocimiento del comportamiento de fraguado del concreto se puede plantear los tiempos de fraguado o tiempos de endurecimientos. Como afirma Andrade y Mosquera (2013), sostiene:

“Es bien conocido que la temperatura es uno de los parámetros que más influencia tienen en el desarrollo de resistencias del concreto, un incremento de la temperatura hará que la mezcla madure más rápidamente que cuando ésta permanece constante. Esto se debe a una aceleración de la reacción de hidratación, que es térmicamente activada. Además, la temperatura puede provocar efectos adversos en el concreto. Una temperatura del concreto demasiado elevada al inicio de la hidratación puede conducir a una pérdida permanente de resistencia. Grandes variaciones de temperatura pueden generar fisuración del concreto. Las heladas antes de que el concreto haya alcanzado suficientes resistencias pueden causar pérdidas de resistencia permanentes. Para prevenir estos daños y asegurar un funcionamiento adecuado del concreto será necesario un conocimiento previo de los efectos de la temperatura en el fraguado de la masa” (pp.19-20).

Por ello la relevancia del estudio es la base del método ASTM C 1074 es la medición de la temperatura del concreto versus el tiempo transcurrido, y la obtención de la resistencia a la compresión del concreto es sobre la medición de los cálculos requeridos.

### **3.3.1.2 Prueba y característica de la Resistencia a la compresión del concreto**

La resistencia del concreto es una característica importante que sirve para el cálculo estructural; esta característica permite establecer la estabilidad o la tolerancia de carga que una estructura de concreto puede soportar. El inconveniente es que esta característica es variable en el tiempo; podemos afirmar que dentro de los primeros 28 días es ascendente, es decir naturalmente por las reacciones químicas la resistencia se ve incrementada, luego de los 28 días el incremento se puede alargar, esto dependiendo de los compuestos químicos que contiene el cemento. Sin embargo al hablar de 28 días que demora las reacciones químicas es una convención en la que todas las normas referentes al concreto coinciden; realmente el incremento de la resistencia se debe a la característica llamada madurez del concreto y el calor producido por las reacciones químicas del cemento (algo ya hemos descrito en los capítulos anteriores). Como vemos la resistencia es muy relevante en el proceso constructivo, sobre todo en el momento del desencofrado y en el momento en que se incrementa la carga en una estructura. La resistencia para la madurez, es una variable muy importante, porque ambas son incrementadas por las reacciones químicas, así que ambas pueden ser correlacionadas, aquí viene la ventaja que debe tener esta correlación. La resistencia a la compresión se mide siguiendo procedimientos estándares. El procedimiento de la medición de la resistencia requiere de un equipamiento estandarizado y calibrado y consta de aplicar una fuerza distribuida uniformemente en el área plana del testigo.

### **3.3.1.3 El tiempo**

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



en todo el planeta, lo cual hace muy fácil su utilización en nuestras tomas de datos, en esto, todos los instrumentos de medición de tiempo están debidamente reglamentados.

### **3.3.2 Operación de las variables**

#### **3.3.2.1 Variables Método ASTM C 1074**

El proceso de medición según la norma ASTM C 1074 tiene dos parámetros importantes, primero la conformación de los Datos, y como segunda etapa los instrumentos de medición. Los datos están conformados por las siguientes variables:

##### **3.3.2.1.1 Temperatura**

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

### **3.3.2.1.2 Tiempo**

Es el Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento. Esta variable está definida por el Sistema Internacional de Unidades. Dentro de la recolección de datos define la ubicación de la toma de temperatura en la secuencia del proceso de Madurez.

### **3.3.2.1.3 Resistencia**

Es una característica directa del concreto tiene todo un proceso estandarizado para obtener este dato, y todo está en la norma ASTM C39/C39M – NTP 339.034 “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas”. La resistencia debe de hacerse del mismo concreto del que está sujeto al sensor de temperatura, y además debe de estar afectado por el mismo ambiente, la misma humedad relativa, la misma temperatura, en pocas palabras los cilindros estándares de concreto para evaluar la resistencia del concreto debe de estar en las mismas condiciones y dimensiones del cilindro en donde se encuentra el sensor de temperatura. La resistencia a la compresión del concreto es medida mediante un mecanismo de prensa hidráulica y para el ensayo se debe preparar la muestra de acuerdo a la norma mencionada. Para los ensayos que realizaremos vamos a considerar probetas de 4 x 8 pulgadas, la norma al respecto establece que los moldes deben ser estandarizados, para la cual hemos adquirido moldes estandarizados de la empresa Humboldt, para cada medición de la resistencia a la compresión de concreto se considerara el promedio de 3 muestras ensayadas.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

Nuestra población está compuesta de tipos de concretos en general hay los marginales o hechos sin dirección técnica y los estandarizados que siguen las recomendaciones de la norma vigentes como el Reglamento Nacional de Edificaciones, Nuestra población es muy amplia, y sin ir a mucho análisis ambas poblaciones tienen su grupo de usuarios definidos y ocupan un espacio importante. En esta oportunidad está claro que la “IMPLEMENTACIÓN EL PROCEDIMIENTO DEL METODO DE MADUREZ DEL CONCRETO (NORMA ASTM C 1074) PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON APOYO DE EQUIPOS

ELECTRÓNICOS” la realizaremos con un población que siga la reglamentación correspondiente al concreto, la causa de esto es que debemos evitar que tengamos variables fuera de control.

### **3.4.2 Muestra**

La muestra está comprendida dentro de características de un concreto, según el reglamento Nacional de Edificaciones, como el más usado o el más común, y corresponde a una resistencia a compresión estándar para una vivienda o un edificio cuyas estructuras no son exigidas por altas prestaciones de esfuerzo, además siguiendo la sugerencia del Departamento de calidad de la Empresa de Premezclado Mixercon, y debido a esto, nos avocamos a realizar pruebas con un concreto cuya característica de resistencia a compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> y un asentamiento estándar inicial de 15 cm. Para evitar variables tendremos el mismo concreto con dos orígenes distintos.

El primer concreto será del tipo embolsado en seco, adquirido en una ferretería tipo retail llamada Sodimac, de marca “Concreto Topex” de f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, al cual por cada bolsa de 40 kg le añadiremos 4 litros de agua; este concreto será usado para definir el funcionamiento e implementación del equipo electrónico para medir la compresión del concreto mediante el método de madurez.

La segunda muestra será el concreto que proporciona la empresa de Premezclado Mixercon, esta muestra será censada por equipo implementado para medir la resistencia a la compresión del concreto según el método de madurez expuesto en la ASTM C 1074, dentro de las instalaciones del Departamento de Control de Calidad de Mixercon.

### 3.5 Instrumentos

Los instrumentos están compuestos por los equipos electrónicos propuestos y descritos en forma general en el capítulo II. A continuación describiremos cada uno dando a conocer su participación dentro del método de madurez:

**Arduino Uno.-** Es un equipo tipo tarjeta electrónica que tiene certificación de la FCC (sobre emisiones electromagnéticas) y CE (Certificación Europea), con hardware libre y software libre, esta mini board la usaremos como un Datalogger es decir un acumulador de señales de sensores, en esta tarjeta estará programada solo la medición de temperatura del concreto-

**Sensor Ds18b20.-** El sensor también tiene certificación de fabricante y viene calibrado, su finalidad es medir la temperatura del concreto en tiempo real.

**Raspberry Pi 3.-** Esta tarjeta electrónica está catalogada como una mini PC, con un procesador de 1 gb de RAM, y una capacidad de almacenaje variable y dependiente de la capacidad del MicroSD.

**Monitor y teclado.-** Son equipos periféricos que sirven para la visualización del procesamiento de datos y resultados, todos estos equipos están estandarizados y regidos por certificaciones de fabricación.

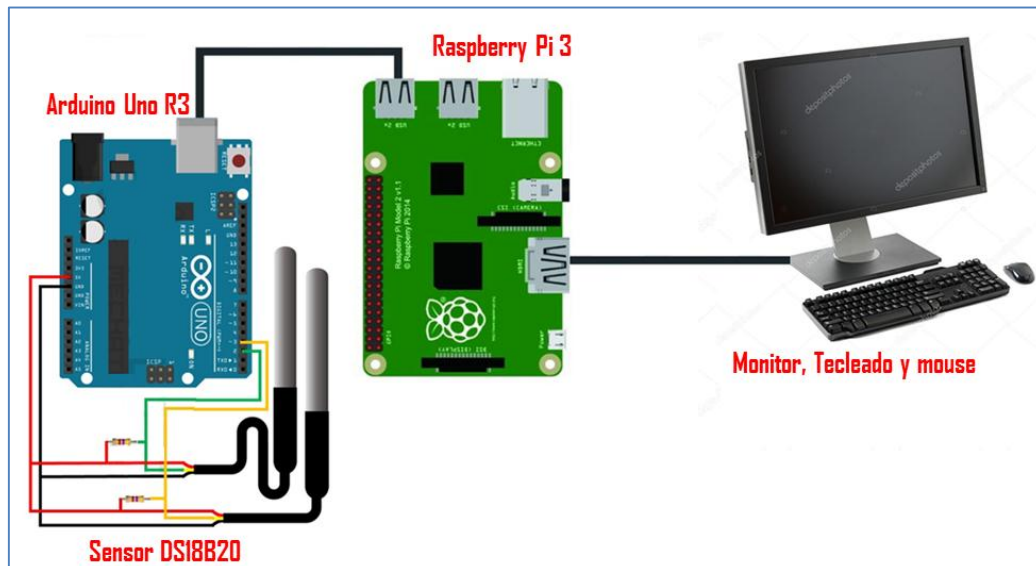


Figura 29; esquema de conexión entre el hardware.

#### 3.5.1 Validación de los Instrumentos por juicio de Expertos

Todos los equipos tienen certificados de fabricante, y también está la conformidad del departamento de Control de Calidad de la Empresa de Premezclado Mixercon, los documentos se adjuntan en los anexos.

### 3.5.2 Técnicas de procesamiento de datos

El procesamiento de datos se hará en una serie de etapas que debe de responder cada equipo electrónico, pero en general podemos decir que en esta oportunidad hay solo dos: El primero que extrae una propiedad del concreto como es la temperatura, lo empaqueta y lo vuelve un número digital; y el segundo procesa este número digital, aplica toda la parte operativa o matemática del Método de Madurez y da los resultados de los cálculos. Estas dos partes generales del procesamiento de datos se pueden explicar detenidamente exponiendo el código de programación que interviene en cada parte, antes de explicarlo se debe observar que anteriormente se ha expuesto que tenemos dos clases de conectividades, la primera del sensor con el Arduino, a la cual hemos calificado de conectividad Datalogger, y la segunda conectividad es la del datalogger con PC, es en esta última en donde recién aplicaremos los conocimientos del Método de Madurez según el ASTM C 1074, y en donde comprobaremos los objetivos de la presente Tesis, sin embargo la primera conectividad no deja de ser importante pues el objetivo del datalogger es extraer una propiedad del concreto o del mundo real para llevarla al mundo digital en donde se podrá trabajar todos los cálculos y se procesara hasta llegar a un resultado. Por lo expuesto para el entendimiento del lector el procesamiento de datos se hará comprendiendo rutinas de programación en diferentes programas, entonces el uso de diferentes programas no necesariamente dificulta la conectividad, en este punto también se debe explicar que el lenguaje de programación llamado Python, el cual como ya lo hemos declarado lo usamos en la conectividad Datalogger-PC, es un lenguaje multiplataforma que a través de rutinas de programación invasivas puede captar en sus rutinas los datos del Datalogger sin ningún problema. Se debe entender que todos estos pasos previos no son la única forma de procesamiento de datos, pero si es la forma más ordenada y simple de hacerlo además de simple de explicarlo, por tanto a continuación expondremos las dos rutinas de programación:

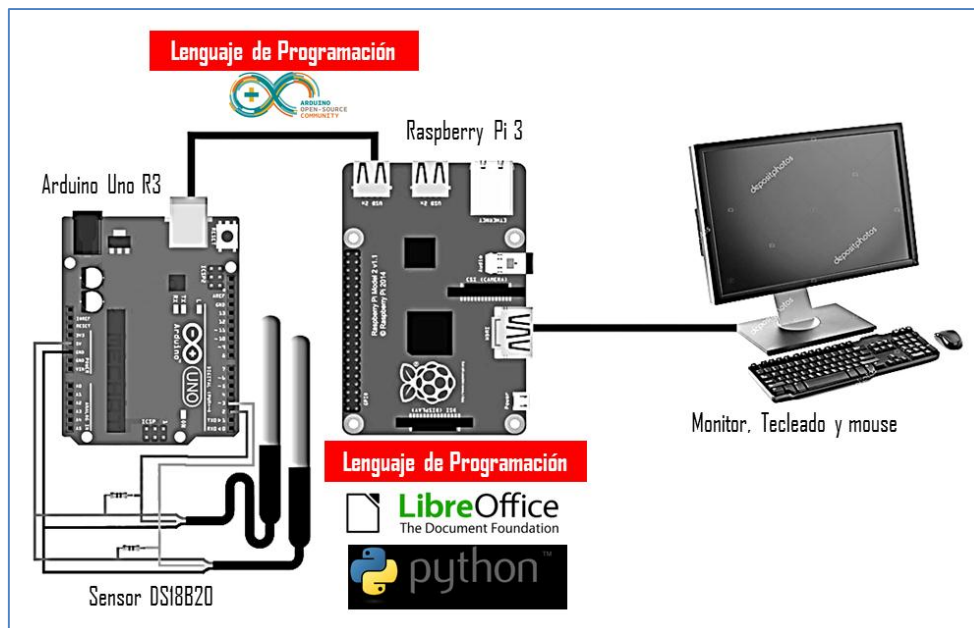


Figura 30; esquema de conexión entre el software.

**Primer programa.-** El primer programa se hizo dentro del IDE de Arduino (lenguaje de programación de Arduino) y se grabó en el mismo Arduino, la finalidad de este código es utilizar el sensor Ds18b20 y programarla para censar la temperatura del concreto. Dentro de la programación del IDE Arduino grabaremos la siguiente secuencia de código:

```
# include <OneWire.h>
# include <DallasTemperature.h>
OneWire ourWire(2); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
oneWire ourWire(3); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
DallasTemperature sensors1(&ourWire1); //Se declara una variable u //objeto
para nuestro sensor
DallasTemperature sensors2(&ourWire2); //Se declara una variable u //objeto
para nuestro sensor
void setup() {
delay(1000);
Serial.begin(9600);
Sensors1.begin(); //Se inicia el sensor
Sensors2.begin(); //Se inicia el sensor
}
void loop() {
```

```

sensors1.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la T°
float temp1= sensors1.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la T °C
sensors2.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la T°
float temp2= sensors2.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la T °C
temp=(temp1+temp2)/2;
Serial.print("Temperatura= ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" C");
delay(600000);
}

```

Como se puede detallar en esta rutina estamos usando la librería de Dallas, la misma que viene programada para que la temperatura sea calibrada con el sensor DS18B20. El rango de tiempo de censado es de cada 10 minutos es decir en el programa es delay (600000), significando que son 600000 milisegundos, esto lo consideramos así para evitar tener muchos datos con poca variación de temperatura. Como una referencia adicional solo estamos colocando señal del sensor DS18B20 a un solo pin de entrada digital que corresponde al pin 2 del Arduino. De esta forma y con esta rutina de programa se medirá la temperatura cada diez minutos. Estos datos son enviados cada 10 minutos

**Segundo programa.-** Una vez que esté listo el censado de la temperatura del concreto, los datos deben de entrar a una hoja de cálculo en donde se procesaran los cálculos correspondientes para el índice de madurez y tener como resultado la resistencia a la compresión del concreto, el código que prepara los datos censados por el Arduino Uno y el Sensor Ds18B20, se escribirá en el lenguaje de programación Python, y creará un documento Html que será actualizado en tiempo real cada 10 minutos,; la actualización se hará acumulando datos.

### 3.6 Procedimientos

La base del procedimiento según el método de la madurez de la Norma ASTM C 1074, es medir la temperatura en rangos definidos en el tiempo, y conservar estas mediciones para acumularlas en una base de datos y a la vez ir desarrollando una serie de cálculos. La "Implementación del Procedimiento del Método de Madurez del Concreto (Norma ASTM C 1074) para Calcular la Resistencia a la Compresión con Apoyo de Equipos Electrónicos" debe ser capaz de medir la temperatura registrar esta

misma con el tiempo transcurrido desde el inicio del censado, para luego multiplicar la temperatura x el tiempo transcurrido entre el censado anterior y este nuevo censado, para luego guardar este resultado y además de acumular la sumatoria.

### **3.6.1 Material**

En detalle, lo que debemos tener es un equipo de censado y un equipo de procesamiento de datos, siguiendo este criterio explicaremos las partes más importantes del equipo que son: ***“El Hardware, Software”, “La comunicación y conectividad del Hardware” y “El código del Programa que desarrolle el método del ASTM C 1074”***.

### **3.6.2 Unidad de estudio**

Para abordar el proyecto de Implementar un equipo que logre desarrollar el método de Madurez para concreto contemplado en la norma ASTM C 1074, debemos ordenar las exigencias de la norma ASTM C 1074, para lograr transmitirla y lograr primero el Software y hardware.



<b>Método de Madurez del Concreto – ASTM C 1074</b>				
	<b>Descripción</b>	<b>Equipo de Madurez</b>	<b>Software</b>	<b>Hardware</b>
1	Determinación del diseño y tipo de concreto.			
2	Determinación del coeficiente de activación del cemento.			
3	Determinación el $T_0$ , temperatura en donde no hay ningún tipo de incremento de resistencia.			
4	Muestreo de concreto de acuerdo a la norma ASTM C 31.	Censado de temperatura del concreto, cada 10 ó 30 minutos y acumulación de los datos en base de datos.	<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>	Sensor DS18B20 Arduino Uno (Data Logger)
5	Calibración del método de madurez - correlación del índice de madurez con la resistencia del concreto, a 24 horas, 72 horas, 7 días, 14 días.	Ordenar la base de datos, calcular el índice de madures en el momento en que se hace la rotura.		Raspberry PI 3 Monitor + Teclado + Mouse (CPU)
6		Determinación de las funciones de estimación de la resistencia del concreto, para este diseño de mezcla		
7	Vaciado en las estructuras por evaluar.	Colocación del sensor de temperatura. Y cálculo de la resistencia.		Sensor DS18B20 Arduino Uno (Data Logger)

**Tabla N° 1.- Registro del Proceso del cálculo de Madurez (ASTM C 1074)**

## SIMBOLOGIA DEL DIAGRAMA DE FLUJO

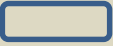

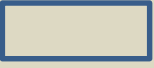


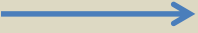

Nombre	Figura o símbolo	Descripción
Terminal		Inicio y Fin del programa.
Entrada de datos		Introducción de datos en la memoria desde los sensores periféricos.
Proceso		Operaciones y procesamiento de los datos guardados en la memoria.
Decisión		Operación lógica, y luego una decisión si es si o no.
Conector Misma Pagina		Sirve para enlazar dos partes del programa.
Indicador de Flujo		Indica la dirección del programa.
Salida		Se utiliza para la salida de los resultados de las operaciones del programa.

Tabla N° 2.- Simbología para interpretar un Diagrama de Flujo.

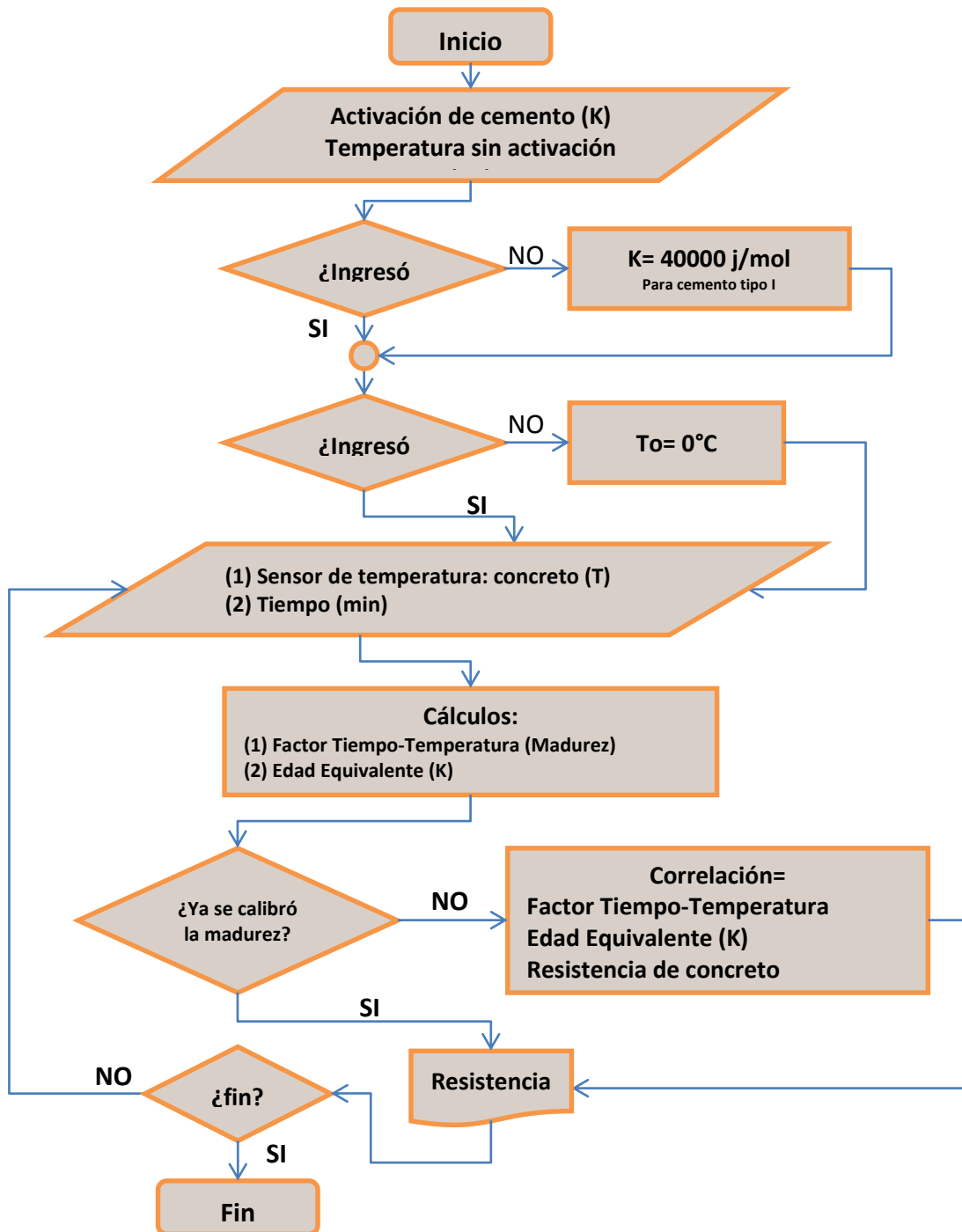


Figura N° 23.- Diagrama de Flujo del Software.

En la Tabla N° 1, se puede evidenciar el proceso general del Método de madurez, con esto ya se puede diseñar el Diagrama de Flujo del software, el mismo que no es

absoluto, es una recomendación que cumple con las exigencias de la Norma ASTM C 1074, sin embargo hay que especificar que en este diagrama de Flujo no están expuestas con detenimiento las formulas del cálculo, esto se tendrá en cuenta en el armado del código del software. La nueva era de los ingenieros, tiene un entorno de múltiples alternativas para desarrollar hardware y software sofisticados para el uso diario de sus actividades laborales; dentro de estas alternativas se encuentran las de licencia libre, que sirven básicamente para el desarrollo personalizado de una actividad ingenieril. Los siguientes años encontraremos muchos desarrollos de este tipo, pero no podremos dejar de nombrar los lenguajes de programación, que tiene una gran importancia a la hora de crear proyectos de prototipado. Sin duda la interacción entre un software y hardware es el éxito de todo proyecto. No podemos dejar de nombrar lo importante que todo tipo de herramienta usada en estos proyectos, (y en especial el que estamos presentando), esté a la mano y sea de uso libre, esto otorgara mucha flexibilidad en el desarrollo y sobre todo en el soporte técnico. Entonces empecemos a definir las ventajas de nuestro hardware y los aportes que puede otorgar al proyecto:

#### **3.6.2.1 Raspberry Pi 3 (Hardware)**

Es una placa electrónica tipo mini PC, capaz de trabajar en entorno Linux, accesible en el mercado, su código libre, y sus múltiples alternativas para lograr comunicarse con muchos equipos periféricos lo hacen un producto ideal para el desarrollo de nuestro proyecto. De sus características técnicas hemos hablado en el capítulo 2.5, en donde detallamos con detenimiento de sus dotes de hardware. Puesto que en este proyecto no queremos desviar la atención de su uso, solo afirmaremos que es ideal por las siguientes razones:

- a.** Su costo, uno de los más bajos del mercado aproximadamente 55 dólares la versión PI 3 B.
- b.** Su origen, de Reino Unido, un país que se identifica con el desarrollo de productos de certificación Europeo tipo CE, lo cual acuña al equipo un grado de estandarización en la producción aceptable para nuestro proyecto.
- c.** Su tan difundido uso en varias universidades extranjeras en proyectos similares, esto hace una mejor interacción con los usuarios, es decir hay múltiples blogs en internet en donde puedes ver el alcance y desarrollo de

otros proyecto, además de tener mucha comunicación con los usuarios compartiendo las experiencia que han tenido con este equipo.

- d. Su sistema operativo Linux, en definitiva por estas décadas Linux muy aparte que es el segundo sistema operativo más usado del planeta, se ha volcado a un desarrollo exponencial, a tal grado ha llegado su desempeño que hoy son pocos los programas que evitan su plataforma para su encendido, además debemos nombrar el hecho que Linux es un software tipo open source (licencia libre).
- e. Sigue habiendo más ventajas para justificar el uso de esta tarjeta electrónica pero terminaremos con el hecho que su comunicación de varios tipos con otros equipos la vuele muy versátil, además de contar con WIFI, Bluetooth, Ethernet, serial, USB, etc.

### **3.6.2.2 Arduino Uno (Hardware)**

De todas maneras no podemos dejar de lado el hecho que esta tarjeta fue la precursora del uso del Hardware libre, sin duda esta política muy indiferente a los desarrollos corporativos que están dispuestos a tener ganancias por encima de los rangos acostumbrados, ha embarcado a varios profesionales al desarrollo de equipos con diferentes capacidades. Es la herramienta más flexible que existe en el mercado para desarrollo de prototipado, y quizás la más usada por ingenieros en todo el planeta. Su nacimiento se logra por la necesidad de enseñar electrónica en un instituto de Italia con bajos costos, con pocas expectativas de masificarse al poco tiempo se volvió de uso común no solo entre los estudiantes de electrónica sino también en los estudiantes y profesionales de otras ramas ingenieriles. No es la placa más potente, ni la de mejor desempeño, muy al contrario por lo descrito en el capítulo 2.4 (de este documento) nos hace ver una tarjeta electrónica sencilla sin muchos dotes especiales, pero de fácil uso y entendimiento, específicamente de trabajos puntuales. Todos los profesionales que no han tenido relación directa en su formación con la electrónica y que se han embarcado en proyectos de automatización de algo referente a su carrera, han tenido que empezar por el uso del Arduino Uno, en su uso han comprendido bastante de la lógica que utiliza la electrónica en equipos de mayor desempeño, y esta lógica les ha enseñado que se puede adaptar a cualquier proceso, indiferentemente de la carrera, es por eso que en definitiva se ha optado por el uso de esta tarjeta, muy a pesar que como ya hemos dicho no goza del mayor desempeño, sin embargo hay

que ser claros que el Método de Madurez especificado por la Norma ASTM C1074 requiere el censado continuo e ininterrumpido de la temperatura del concreto, es decir desde el momento que se realiza su vaciado en el encofrado o molde hasta el momento en que se requiere estimar su resistencia, y para esto el Arduino Uno es más que ideal, pues con sus 10 entradas analógicas y 15 digitales arrasa con esta labor, que tendrá como máximo una exigencia de 2 sensores, cuando el Arduino Uno está preparado para más de 2 sensores. Lo primero que pensamos cuando en cuanto el uso de esta herramienta, es usarla como un Datalogger, el dispositivo electrónico registra datos en el tiempo por medio de instrumentos y sensores propios o conectados de modo externo. El Arduino Uno tiene muchas variantes, tamaños., desempeño y tenemos que decir que hoy hay modelos que rebasan las expectativas del usuario, pero se ha optado por este modelo de placa porque cumple con lo que queremos, porque es muy fácil de encontrarla en el mercado y además de ser un dispositivo de fácil programación.

### **3.6.2.3 Sensor DS18B20 (Hardware)**

Es el Sensor de temperatura que está construido en base de un semiconductor tipo T0-92, que es capaz de tener un protocolo de comunicación tipo one-wire, su bajo costo y su fácil comunicación con el Arduino Uno lo hacen ideal para este proyecto. Este equipo ya viene calibrado además de contar con su propia librería de one-wire para su respectiva comunicación. La mayoría de estos sensores son fabricados en Taiwán, muy a pesar de esto su costo es muy bajo, y como los demás equipos elegidos gozan de mucha popularidad en los quehaceres industriales, por tanto es fácil encontrarlos a la venta entre los equipos electrónicos. Puesto que la Norma ASTM C 1074 exige que nuestro sensor este sumergido en el concreto en la zona en donde se requiere tener la estimación de la resistencia del concreto, se debe explicar que este sensor cuenta con cable de 1 metro de largo y se puede adaptar a conectores de todo tipo para su respectiva conexión con el Arduino Uno.

### **3.6.2.4 Conectividad Datalogger – Sensor DS18B20 con el lenguaje de Programación Arduino**

El hardware de esta sección está conformado por el sensor de Temperatura DS18B20 y el Arduino uno. El sensor de temperatura DS18B20 tiene 3 pines. Uno de voltaje o llamado VDD (comúnmente de color rojo), otro de tierra o llamado GND

(comúnmente de color Negro), y el último de data o data (comúnmente de color amarillo). La alimentación es 5v de corriente continua, y este tipo de alimentación de voltaje lo puede ofrecer el Arduino uno, tal como se muestra en la figura 24,

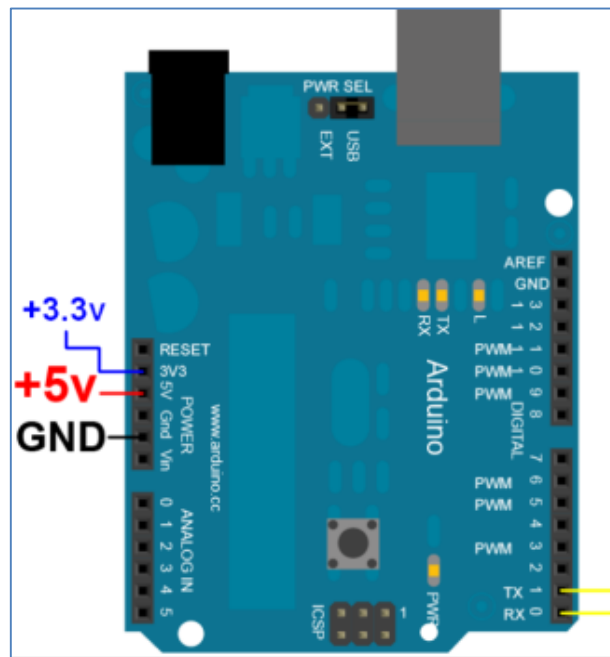


Figura 24.- Pines de alimentación para elDS18B20.

La forma como alimentara el sensor DS18B20 poniendo el pin VDD en 5V el pin GND del DS en el pin GND del Arduino, y el pin Data en el pin digital numero 2 como bus one-wire (trabajara en la interpretación de la temperatura la librería Dallas temperature), pero se le añadirá una resistencia Pull-UP de 4.7 K ohmios conecta a la alimentación. La conectividad entre el sensor DS18B20 y el Arduino se hace a través del IDE Arduino o lenguaje de programación de Arduino, de todos los lenguajes open Source, este es el más difundido a nivel mundial, y tiene varias versiones para todos los sistemas operativos que existen, además para toda clase de ordenadores. Los comandos en su conjunto son muchos, pero no siempre se usan todos, además de haberse liberado la creación de subrutinas específicas para algún sensor o equipo periférico en particular. El entorno es amigable, sencillo y es copiable pero a pesar de esto como sus rutinas son reducidas es fácil de identificar errores. En general se ha escogido este como el entorno de programación pues es el que recomiendan los creadores de Arduino para programar la tarjeta electrónica multiuso, además de tener pre instalado la librería que interpreta y traduce la lectura del sensor DS18b20. Es muy ventajoso para este proyecto. Lo primero que debemos establecer cuantos niveles de conectividad estableceremos en nuestro proyecto:

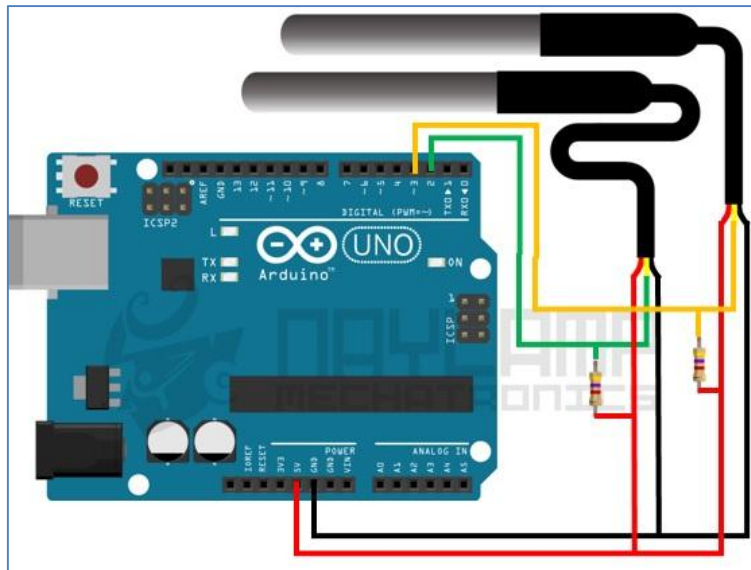


Figura 21; conexión de 2 sensores DS18B20, con Arduino uno

### 3.6.2.5 Conectividad del Datalogger- PC con lenguaje de programación Python

Es un lenguaje de programación tipo “open source”, que está orientado a objetos, de muy fácil entendimiento. El secreto de Python es su polifacético funcionamiento en diferentes sistemas operativos, esto lo hace muy versátil y logra intervenir con más flexibilidad en cualquier proyecto. Su especialidad es trabajar con procesadores ARM como son Arduino, Raspberry, etc. Se considera un lenguaje interpretado sin compilación de su código en su totalidad, esto hace que vuelva un lenguaje de programación multiplataforma de fácil entendimiento y de fácil uso. Para caracterizar su procesamiento diremos que es interpretado, indentado y multipado. La conexión entre el Arduino y el Raspberry Pi 3es a través del puerto USB en comunicación serial, para esto el Raspberry debe de tener un sistema operativo; ya hemos dicho que el sistema operativo del Raspberry es de software abierto, así que podemos ingresar o instalar el NOOBS de Raspbian, que es un sistema operativo en base de Linux. Los primeros pasos son descargar el NOOBS de la página oficial de Raspberry y colocarlo descomprimido en una MicroSD que será formateado con mucha anterioridad, una vez colocado en el MicroSD, el cual debe tener como mínimo 8 Gigabytes y de categoría 10 para aumentar la transmisión de datos.



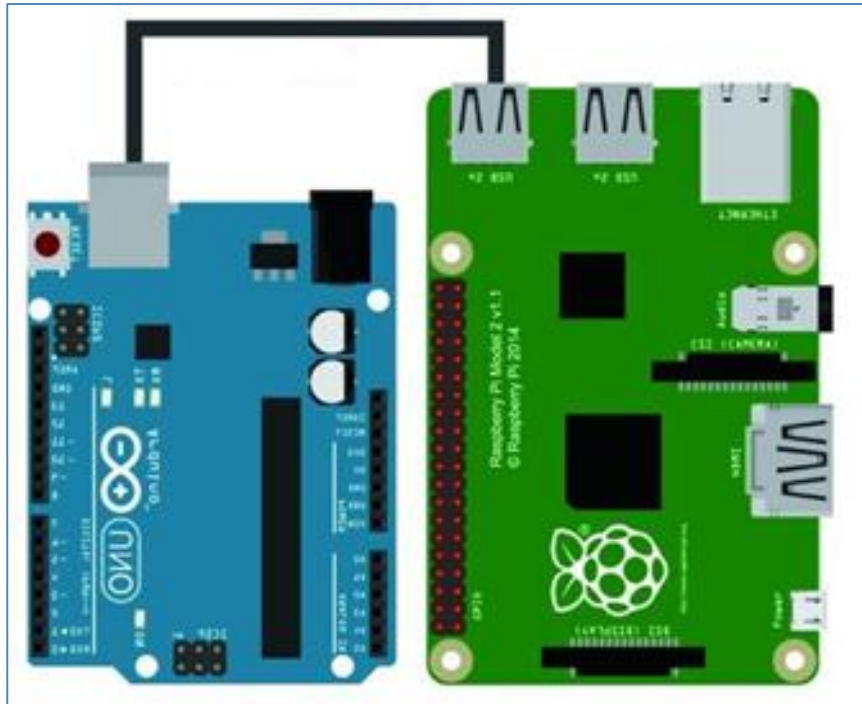
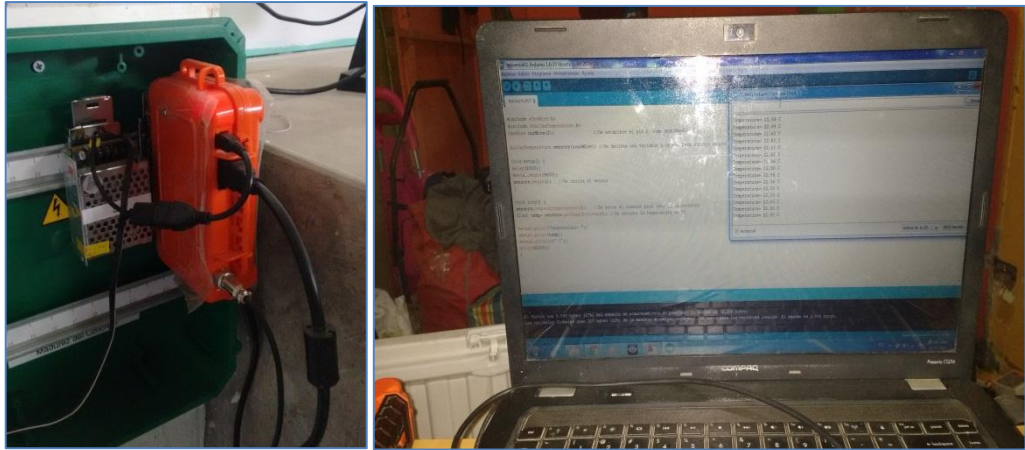


Figura 26; conexión de 2 sensores DS18B20, con Arduino Uno



Fotografía 1; Equipo visto interiormente.



Fotografía 2; Equipo visto exteriormente.

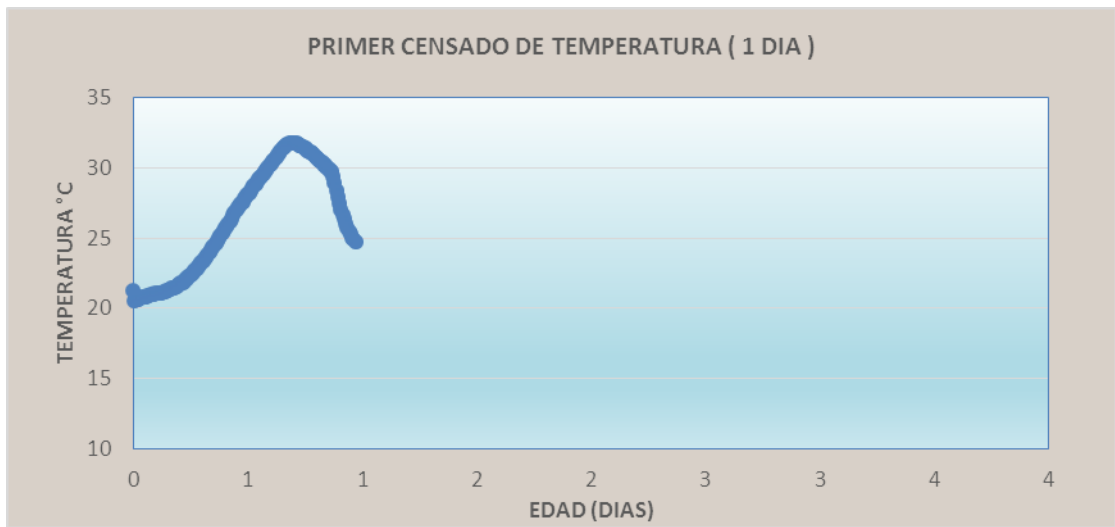


Figura27; medición de temperatura, con el equipo de madurez a 24 horas.

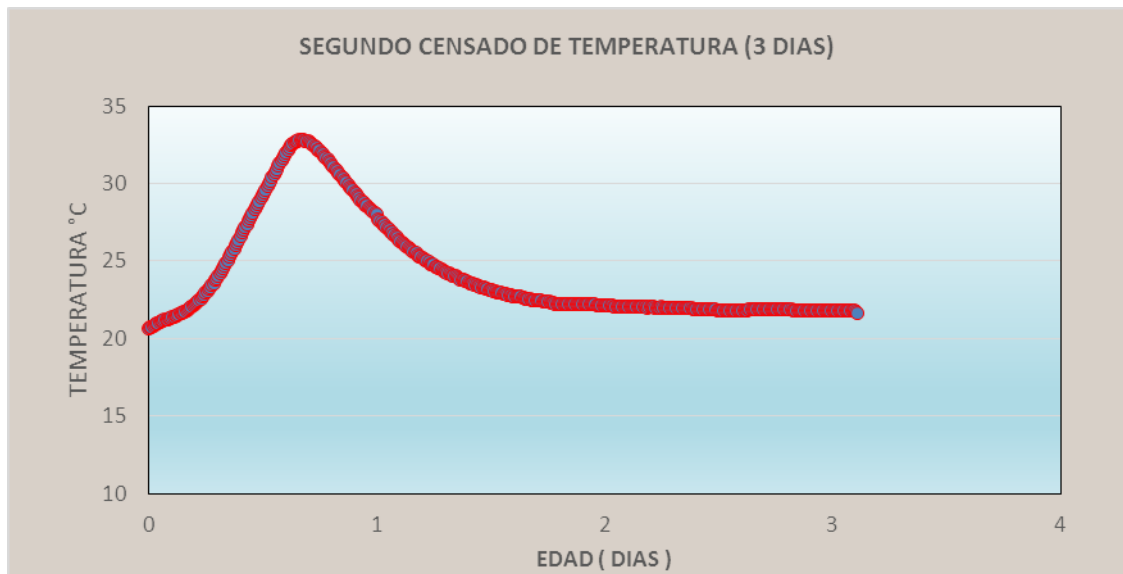


Gráfico28; medición de temperatura, con el equipo de madurez a 72 horas.

### 3.7 Análisis de datos

#### 3.7.1 Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recopilación de datos

Los instrumentos a utilizar para “IMPLEMENTACIÓN EL PROCEDIMIENTO DEL METODO DE MADUREZ DEL CONCRETO (NORMA ASTM C 1074) PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON APOYO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS”, son los siguientes aspectos:

##### 3.7.1.1 Técnicas

Para planificar la implementación de equipos electrónicos en el método de madurez se debe establecer la forma como se va trabajar el censado de la muestra, al respecto el primer paso a tomar es la calibración de la curva de madurez. Hay que recordar que ya hemos descrito los fundamentos teóricos del método de madurez, y una de las cosas que establece es que la calibración se debe de hacer por cada tipo de diseño de mezcla, aquí ponemos el resumen de las actividades para preparar la muestra y poder aplicarle el método de madurez:

- 1.- Moldear concreto de una misma tanda, hacerlo con 23 probetas de 4 x 8 pulgadas, siguiendo con la recomendación de “la Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo” (NTP 339.033, 2009)

- 2.- ingresar los sensores de temperatura en el concreto y verificar que por lo menos estén sumergido más de 1.5 pulgadas, siguiendo la recomendación de la norma ASTM C 1064.
- 3.- Realizar los ensayos de resistencia a compresión siguiendo las recomendaciones del “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas” (NTP 339.034, 2008); siguiendo la recomendación de las fechas es decir rotura a 24 horas, 3, 7, 28 o más días.
- 5.- La correlación será mediante la siguiente fórmula

$$f'c = (B)\ln(\text{Madurez}) + A.$$

Donde los estudios de Arrhenius explican que B es una constante que está muy relacionada con la energía de activación aportada por el tipo cemento, la variable Madurez que viene hacer el índice de madurez acumulado hasta el momento exacto en que se realiza la rotura y la constante A está relacionada con el tipo de diseño analizado.

### **3.7.2 Técnicas de análisis e interpretación de la información.**

El análisis de los resultados supondrá un buen funcionamiento del equipo implementado para realizar el método de madurez. El método de madurez expuesto en la norma ASTM C 1074, tiene sus propios procedimientos y cálculos, los mismos que tenemos que hacer, cuando el equipo tenga recogido el censado de temperatura del concreto cada 10 minutos, y el mejor programa para poder desarrollar cálculos y grafica es Excel o el OpenOffice, este último es el usaremos.

### **3.7.3 Descripción del caso**

Si bien ya tenemos todo preparado para realizar los censados con el equipo implementado para calcular el índice de Madurez, debemos de realizar el método manualmente para verificar todos los procesos, revisándolos y viendo todos los inconvenientes que tiene su realización, luego probaremos el equipo que hemos implementado para este método.

### 3.7.4 Calculo Manual del método de Madurez en las 24 horas

En este capítulo se evaluará la resistencia en una losa de concreto, para este propósito se usará equipos de evaluación de resistencias iniciales no destructivas. Dado que solo con fines demostrativos se evaluara las primeras 24 horas el índice madurez y por lógica el concreto está aún en su proceso de fragua (estado débil o semi-endurecido) tendremos que evaluar la resistencia con un penetro metro digital, muy conveniente para estimar la resistencia del concreto cuando aún está en proceso de fragua. De esta forma utilizaremos los siguientes equipos:

- a. **Penetrómetro Digital.-** este equipo proporciona la resistencia en MPa mediante la penetración de una punta con diámetro definido sobre la superficie de concreto recién vaciado. Este equipo es el único que puede otorgar datos precisos de la resistencia aproximada del concreto cuando aún está fresco.
- b. **Termómetro Digital o Pirómetro.-** Estos equipos otorgan la temperatura del concreto. El pirómetro en la parte superficial y el termómetro digital en la zona expuesta a l apunta del instrumento.

Elaboramos una Losa de concreto, pero como en esta oportunidad no es materia de estudio evaluar el diseño de mezcla, elaboramos el concreto en base a un embolsado en seco, que es comercializado en el Supermercado Maestro, de estos se hizo la compra de 10 bolsas de concreto seco fc 210, del mismo lote.



Fotografía 3; concreto embolsado

El Proyecto se realizó haciendo una losa de 1m x 1m x 0.12 cm con un concreto estándar de resistencia promedio 21 MPa.

El procedimiento de vaciado se hizo de acuerdo a las costumbres y procesos encontrados en obra, sin incorporar algo en particular pero estandarizando para evitar la introducción de variables.



**Fotografía4; Elaboración del concreto**

Elaboración de especímenes para la determinación de las características físicas y mecánicas de la mezcla de concreto. La medición de las características del concreto fue hecha bajo las especificaciones:

- ASTM C172 Muestreo de concreto
- ASTM C31 Elaboración de probetas de concreto
- ASTM C43 Terminología de concreto
- ASTM C1064 Medición de la temperatura del concreto

La losa de concreto permanecerá bajo el curado sometido en toda obra, sin embargo hay que recalcar que el objetivo de esta tesis es cubrir la medición de resistencia en las primeras horas.



Fotografía 5; Toma de temperatura del concreto ASTM C 1064.

Los resultados de revenimiento y temperatura producto del muestreo realizado se muestran en la tabla 3

<b>Tanda</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Revenimiento	2 ½ pulgadas	2 pulgadas
Temperatura	32 °C	30 °C

Tabla 3 Resultados de temperatura y revenimiento para cada bachada muestreada



Fotografía6; Medición de slump



Fotografía

### 7; Elaboración de la losa de medición

Una vez elaborada la losa de concreto se procederá a la medición de temperatura por tiempo.



Fotografía 8; Muestreo del concreto.





Fotografía 9; Elaboración de probetas cilíndricas 4x8 pulgadas.



Fotografía 10; Toma de temperatura con un termómetro y un pirómetro.



**Fotografía 11; Toma de temperatura con el pirómetro.**

Se tomó la temperatura del concreto en intervalos de tiempo de 30 minutos en un ambiente cerrado que asegure una temperatura constante de 20 °C, lo mismo que se obtuvo dentro de un container puesto en sombra protegiéndolo del sol.

hora h	Edad h	Temp °C	Temp °K
10:26	00:00	16.7	289.7
10:56	00:30	17	290
11:26	01:00	17.2	290.2
11:56	01:30	17.3	290.3
12:26	02:00	17.5	290.5
12:56	02:30	17.7	290.7
13:26	03:00	18	291
13:56	03:30	18.6	291.6
14:26	04:00	19.2	292.2
14:56	04:30	19.5	292.5
15:26	05:00	19.6	292.6
15:56	05:30	20	293
16:26	06:00	20	293
16:56	06:30	20	293
17:26	07:00	19.5	292.5
17:56	07:30	18.9	291.9
18:26	08:00	19.2	292.2
18:56	08:30	19	292
19:26	09:00	19.3	292.3
19:56	09:30	19.4	292.4
20:26	10:00	19.5	292.5
20:56	10:30	19.5	292.5
21:26	11:00	19.8	292.8
21:56	11:30	19.7	292.7
22:26	12:00	19.8	292.8
22:56	12:30	19.9	292.9
23:26	13:00	20	293
23:56	13:30	19.5	292.5
00:26	14:00	19.5	292.5

Tabla 4 Toma de temperatura por tiempo.



**Fotografía 12; Equipo Penetrometro para medir resistencia del concreto a edades tempranas.**



**Fotografía 13; Toma resistencia con el penetrometro.**

El siguiente cuadro es la toma de datos de la muestra en laboratorio de los indicadores de tiempo (horas), temperatura (grados centígrados, kelvin) y resistencia (megapascuales), y luego aplicando las formulas dictadas en la norma ASTM C 1074.

hora	Edad h	Temp °C	Temp °K	Resistencia Mpa
10:26	00:00	16.7	289.7	0
10:56	00:30	17	290	0
11:26	01:00	17.2	290.2	0
11:56	01:30	17.3	290.3	0
12:26	02:00	17.5	290.5	0
12:56	02:30	17.7	290.7	0.08
13:26	03:00	18	291	0.09
13:56	03:30	18.6	291.6	0.12
14:26	04:00	19.2	292.2	0.14
14:56	04:30	19.5	292.5	0.15
15:26	05:00	19.6	292.6	0.18
15:56	05:30	20	293	0.21
16:26	06:00	20	293	0.22
16:56	06:30	20	293	0.24
17:26	07:00	19.5	292.5	0.26
17:56	07:30	18.9	291.9	0.3
18:26	08:00	19.2	292.2	0.33
18:56	08:30	19	292	0.39
19:26	09:00	19.3	292.3	0.42
19:56	09:30	19.4	292.4	0.45
20:26	10:00	19.5	292.5	0.57
20:56	10:30	19.5	292.5	0.67
21:26	11:00	19.8	292.8	0.77
21:56	11:30	19.7	292.7	0.87
22:26	12:00	19.8	292.8	0.99
22:56	12:30	19.9	292.9	1.25
23:26	13:00	20	293	1.5
23:56	13:30	19.5	292.5	2.1
00:26	14:00	19.5	292.5	2.7

**Tabla 5; Toma resistencia con el penetrometro.**

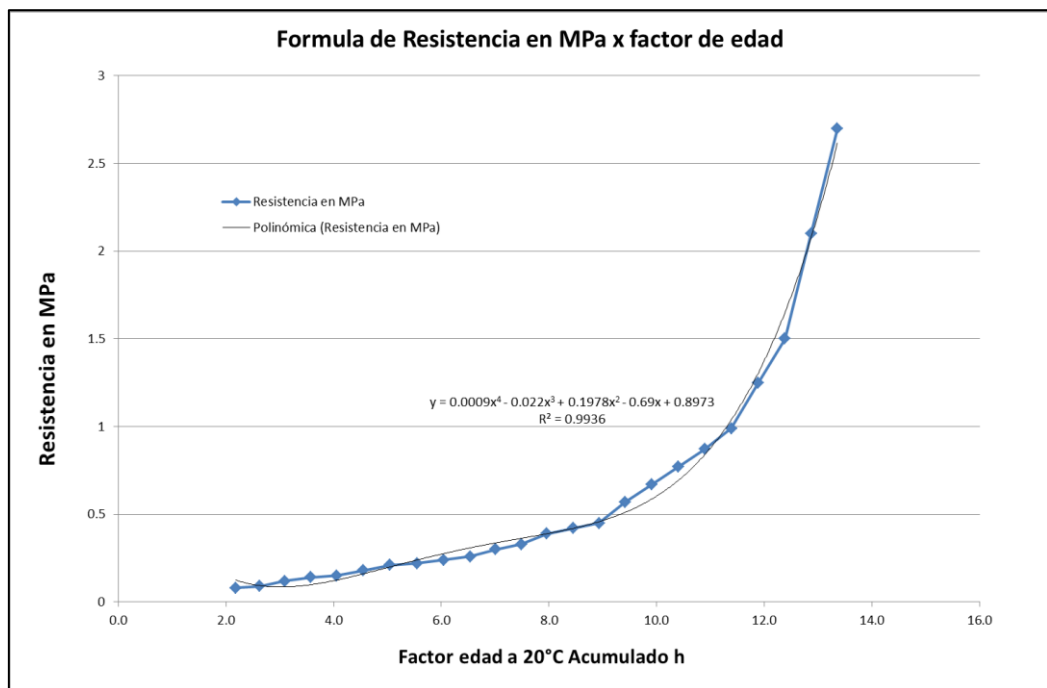
Se han seguido los cálculos de la Norma ASTM C1074 para el factor de edad a 20°C paralelamente a esto se ha medido la resistencia a la compresión con un penetrómetro digital del concreto, para los valores de energía de activación del cemento es de 36700j/mol el valor de la constante de gas es de 8.3 j/ (k.mol) y el valor  $t_s$  es 20°C, todos estos datos recomendados por la norma ASTM C 1074.

hora h	Edad h	Temp °C	Temp °K	Edad Incrém. H	Temp.Prom °C	Temp.Prom °K	Factor Temp-Tiemp inCrém. °C-h	Factor Temp-Tiemp acum. °C-h	Factor Edad	Factor Edad a 20°C, Incremento h	Factor Edad a 20°C, Acumulado h	Resistencia Mpa
10:26	00:00	16.7	289.7	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0
10:56	00:30	17	290	0.5	16.85	289.85	7.175	7	0.86	0.43	0.4	0
11:26	01:00	17.2	290.2	0.5	17.1	290.1	7.3	14	0.86	0.43	0.9	0
11:56	01:30	17.3	290.3	0.5	17.25	290.25	7.375	22	0.87	0.43	1.3	0
12:26	02:00	17.5	290.5	0.5	17.4	290.4	7.45	29	0.88	0.44	1.7	0
12:56	02:30	17.7	290.7	0.5	17.6	290.6	7.55	37	0.89	0.44	2.2	0.08
13:26	03:00	18	291	0.5	17.85	290.85	7.675	45	0.90	0.45	2.6	0.09
13:56	03:30	18.6	291.6	0.5	18.3	291.3	7.9	52	0.93	0.47	3.1	0.12
14:26	04:00	19.2	292.2	0.5	18.9	291.9	8.2	61	0.96	0.48	3.6	0.14
14:56	04:30	19.5	292.5	0.5	19.35	292.35	8.425	69	0.97	0.49	4.1	0.15
15:26	05:00	19.6	292.6	0.5	19.55	292.55	8.525	78	0.98	0.49	4.6	0.18
15:56	05:30	20	293	0.5	19.8	292.8	8.65	86	1.00	0.50	5.1	0.21
16:26	06:00	20	293	0.5	20	293	8.75	95	1.00	0.50	5.6	0.22
16:56	06:30	20	293	0.5	20	293	8.75	104	1.00	0.50	6.1	0.24
17:26	07:00	19.5	292.5	0.5	19.75	292.75	8.625	112	0.97	0.49	6.5	0.26
17:56	07:30	18.9	291.9	0.5	19.2	292.2	8.35	121	0.94	0.47	7.0	0.3
18:26	08:00	19.2	292.2	0.5	19.05	292.05	8.275	129	0.96	0.48	7.5	0.33
18:56	08:30	19	292	0.5	19.1	292.1	8.3	137	0.95	0.47	8.0	0.39
19:26	09:00	19.3	292.3	0.5	19.15	292.15	8.325	146	0.96	0.48	8.4	0.42
19:56	09:30	19.4	292.4	0.5	19.35	292.35	8.425	154	0.97	0.48	8.9	0.45
20:26	10:00	19.5	292.5	0.5	19.45	292.45	8.475	163	0.97	0.49	9.4	0.57
20:56	10:30	19.5	292.5	0.5	19.5	292.5	8.5	171	0.97	0.49	9.9	0.67
21:26	11:00	19.8	292.8	0.5	19.65	292.65	8.575	180	0.99	0.49	10.4	0.77
21:56	11:30	19.7	292.7	0.5	19.75	292.75	8.625	188	0.98	0.49	10.9	0.87
22:26	12:00	19.8	292.8	0.5	19.75	292.75	8.625	197	0.99	0.49	11.4	0.99
22:56	12:30	19.9	292.9	0.5	19.85	292.85	8.675	206	0.99	0.50	11.9	1.25
23:26	13:00	20	293	0.5	19.95	292.95	8.725	214	1.00	0.50	12.4	1.5
23:56	13:30	19.5	292.5	0.5	19.75	292.75	8.625	223	0.97	0.49	12.9	2.1
00:26	14:00	19.5	292.5	0.5	19.5	292.5	8.5	231	0.97	0.49	13.4	2.70

Tabla 6; Determinación de los factores de Madurez.

Este grafico correlacionamos el factor de la edad acumulada con la resistencia a la compresión obtenida por el penetro-metro digital, se puede observar que estos datos al correlacionarlos se forman una tendencia.

Esta matriz será la base para poder determinar la resistencia del concreto vaciado con los mismos materiales con los cuales se podido realizar esta matriz.



Gráfica 31; Correlación de la resistencia con el factor de Edad.

hora h	Edad h	Temp °C	Temp °K	Edad Incrém. H	Temp.Prom °C	Temp.Prom °K	Factor Temp-Tiemp inincr. °C-h	Factor Temp-Tiemp acum. °C-h	Factor Edad	Factor Edad a 20°C, Incremento h	Factor Edad a 20°C, Acumulado h	Resistencia Mpa
09:30	00:00	23	296	0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
10:00	00:30	20	293	0.5	21.5	294.5	9.50	10	1.00	0.50	0.5	0.599
10:30	01:00	19	292	0.5	19.5	292.5	8.50	18	0.95	0.47	1.0	0.393
11:00	01:30	18	291	0.5	18.5	291.5	8.00	26	0.90	0.45	1.4	0.256
11:30	02:00	21	294	0.5	19.5	292.5	8.50	35	1.05	0.53	2.0	0.154
12:00	02:30	25	298	0.5	23.0	296.0	10.25	45	1.29	0.64	2.6	0.095
12:30	03:00	26	299	0.5	25.5	298.5	11.50	56	1.35	0.68	3.3	0.090
13:00	03:30	27	300	0.5	26.5	299.5	12.00	68	1.42	0.71	4.0	0.123
13:30	04:00	28	301	0.5	27.5	300.5	12.50	81	1.49	0.75	4.7	0.181
14:00	04:30	29	302	0.5	28.5	301.5	13.00	94	1.57	0.78	5.5	0.250
14:30	05:00	26	299	0.5	27.5	300.5	12.50	106	1.35	0.68	6.2	0.309
15:00	05:30	24	297	0.5	25.0	298.0	11.25	118	1.23	0.61	6.8	0.359
15:30	06:00	20	293	0.5	22.0	295.0	9.75	127	1.00	0.50	7.3	0.399
16:00	06:30	20	293	0.5	20.0	293.0	8.75	136	1.00	0.50	7.8	0.441
16:30	07:00	18	291	0.5	19.0	292.0	8.25	144	0.90	0.45	8.3	0.484
17:00	07:30	19	292	0.5	18.5	291.5	8.00	152	0.95	0.47	8.7	0.538
17:30	08:00	18	291	0.5	18.5	291.5	8.00	160	0.90	0.45	9.2	0.604
18:00	08:30	17	290	0.5	17.5	290.5	7.50	168	0.86	0.43	9.6	0.684
18:30	09:00	16	289	0.5	16.5	289.5	7.00	175	0.81	0.41	10.0	0.781
19:00	09:30	16	289	0.5	16.0	289.0	6.75	182	0.81	0.41	10.4	0.903
19:30	10:00	16	289	0.5	16.0	289.0	6.75	188	0.81	0.41	10.8	1.058
20:00	10:30	15	288	0.5	15.5	288.5	6.50	195	0.77	0.38	11.2	1.239
20:30	11:00	16	289	0.5	15.5	288.5	6.50	201	0.81	0.41	11.6	1.475
21:00	11:30	15	288	0.5	15.5	288.5	6.50	208	0.77	0.38	12.0	1.747
21:30	12:00	16	289	0.5	15.5	288.5	6.50	214	0.81	0.41	12.4	2.092
22:00	12:30	15	288	0.5	15.5	288.5	6.50	221	0.77	0.38	12.8	2.484
22:30	13:00	16	289	0.5	15.5	288.5	6.50	227	0.81	0.41	13.2	2.973
23:00	13:30	16	289	0.5	16.0	289.0	6.75	234	0.81	0.41	13.6	3.551
23:30	14:00	17	290	0.5	16.5	289.5	7.00	241	0.86	0.43	14.0	4.266

Tabla 7; Evaluación del método de madurez con el equipo a 24 horas.



## **CAPITULO IV**

### **4. RESULTADOS**

#### **4.1 Descripción de Resultados**

La verificación del equipo de Madurez del concreto implementado para la norma ASTM C1074, se ha realizado para dar conformidad de su desempeño y cumplimiento de la norma descrita anteriormente. Con este propósito se ha hecho de dos formas su verificación:

##### **4.1.1 Primera verificación**

La primera verificación consistió en dejar encendido el equipo durante 24 horas y luego 72 horas el equipo. Aquí la finalidad era la verificación del buen funcionamiento del hardware y el cumplimiento del censado ininterrumpido, ya teníamos referencias del hardware; y según especificaciones técnicas, no habría problema en que el hardware se quede tiempo encendido realizando el censado de temperatura respectivo. Evaluando los resultados se pudo comprobar que todo el hardware estaba funcionando según sus especificaciones y cumpliendo con las exigencias de la Norma ASTM C 1074. En este procedimiento alistamos el código de programación para que el censado de temperatura del concreto sea a 10 minutos 'o 600000 mili segundos, se verifico la hora de inicio la de finalizado y el número de datos producidos y en los 2 casos se tuvieron los cierre de tiempo y número de datos satisfactorios, no encontrándose error alguno, Se adjunta el registro de temperaturas logrado por la prueba de 24 y 72 horas.

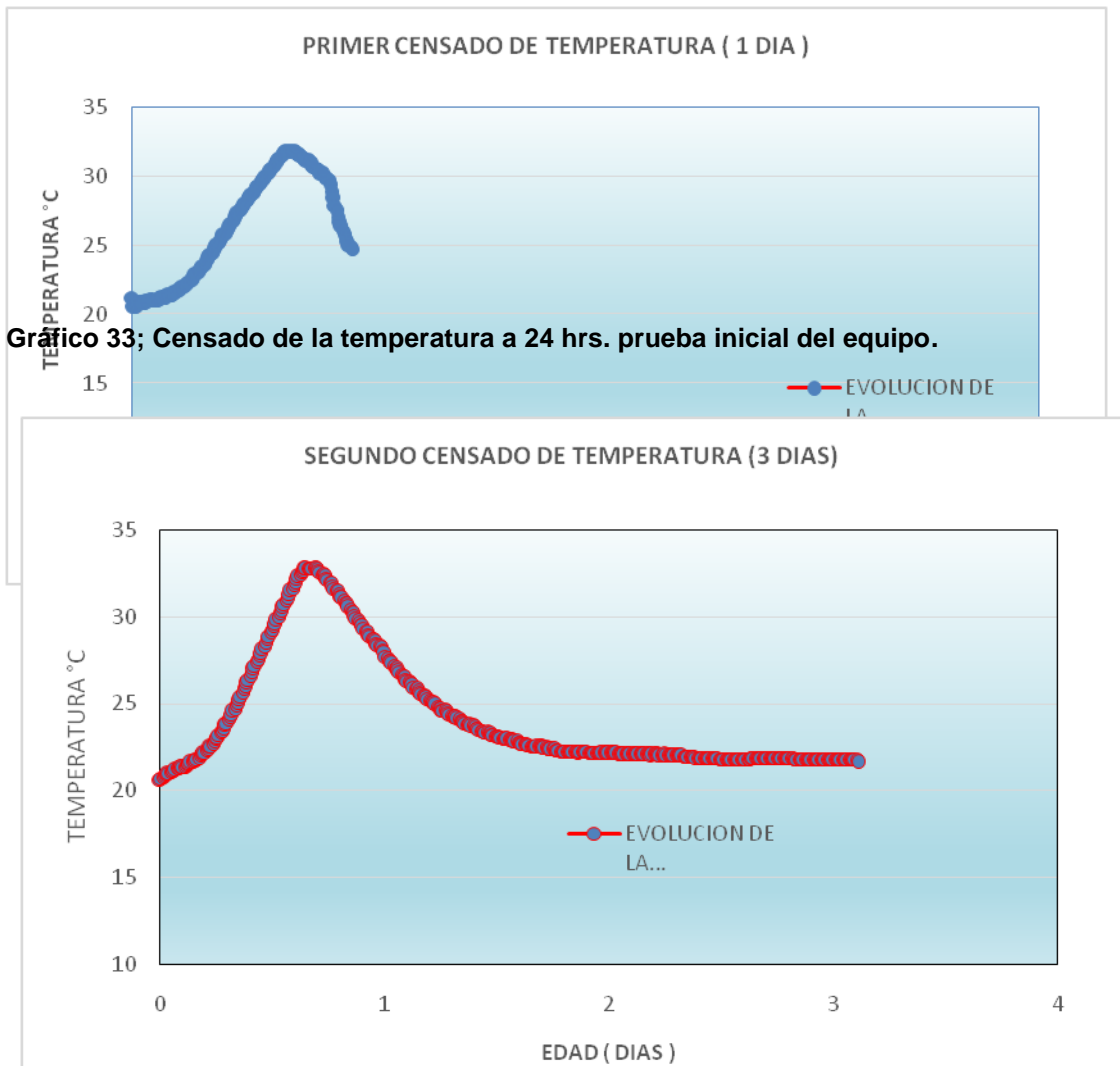
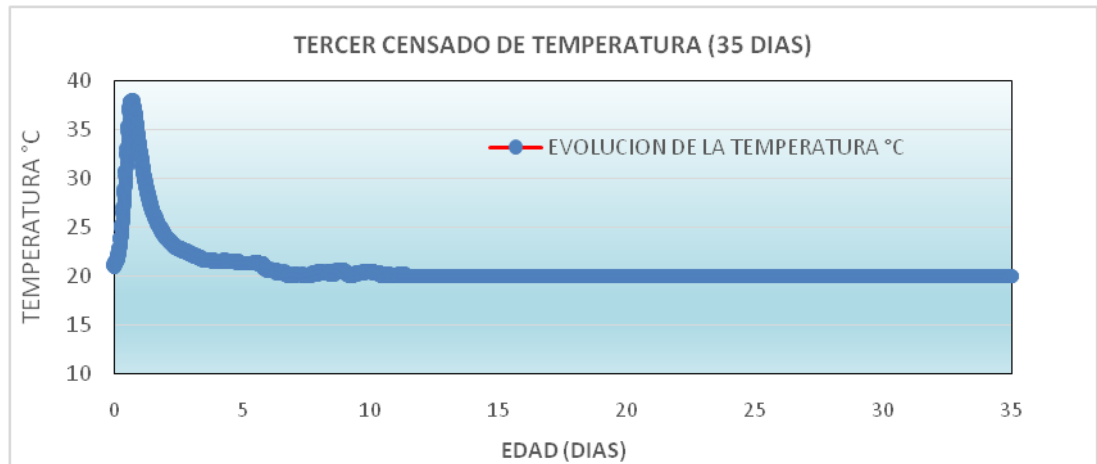


Gráfico 33; Censado de la temperatura a 24 hrs. prueba inicial del equipo.

Gráfico 34; Censado de la temperatura a 72 horas, segunda prueba del equipo.

#### 4.1.2 Segunda verificación

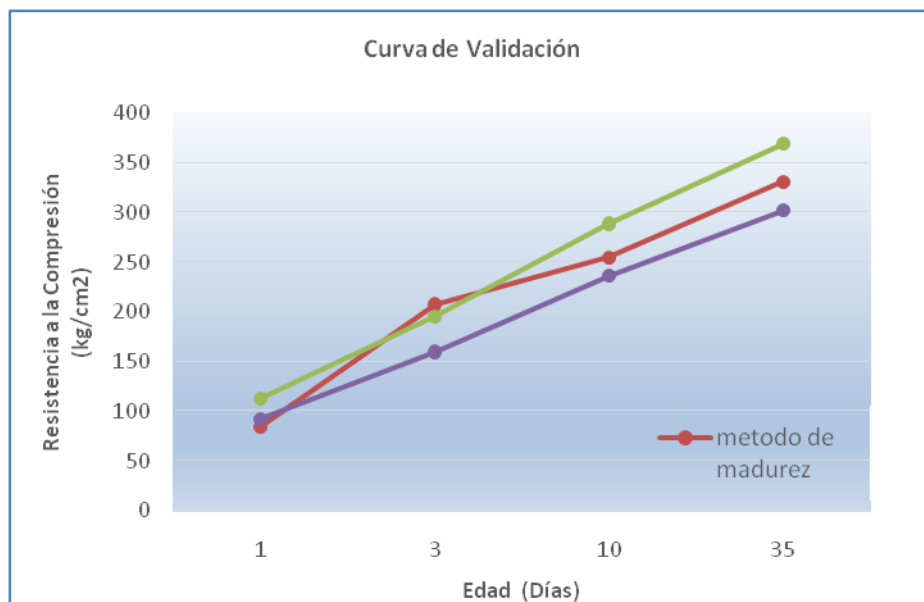
La segunda verificación, ya se realizó con un rango de tiempo mayor, y siguiendo los cálculos del método de madurez según la norma ASTM C 1074. Se pudo hacer una verificación en un ambiente protegido con temperaturas constantes de 20 - 23 °C, durante 35 días, a pesar de esto se realizaron las correlaciones para verificar si el sesgo que propone la norma de 10%, y se adjunta los resultados de esta verificación.



**Gráfico 35; registro ininterrumpido de 35 días de temperatura**

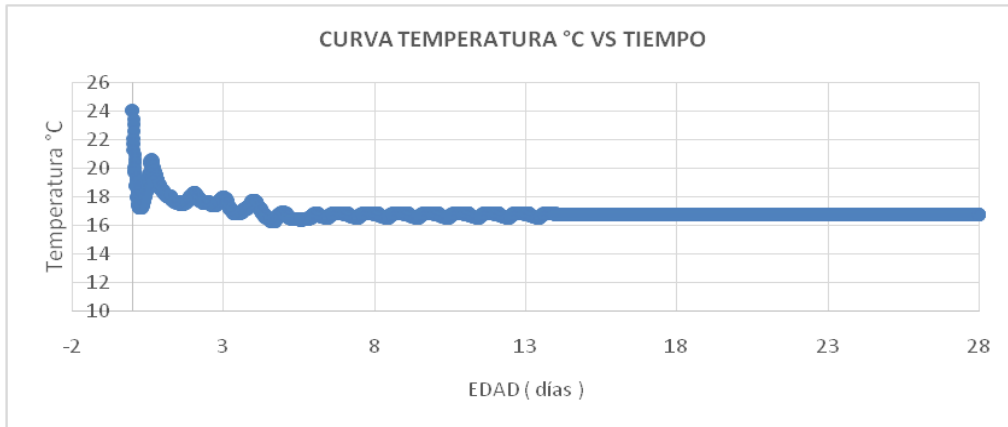
DATOS PARA LA VALIDACION				
EDAD (DIAS)	Resistencia a Compresión de Cilindros Curados en Campo (Kg/cm2)	Resistencia obtenida por el Método de Madurez (Kg/cm2)		
		+ 10%	Valor	-10%
1	85	113.34	103.04	92.73
3	208	195.69	177.90	160.11
10	255	288.80	262.55	236.29
35	331	369.07	335.52	301.96

**Tabla 10; Evaluación del método de madurez**



**Gráfico 36; de validez del método con los datos del equipo desarrollado**

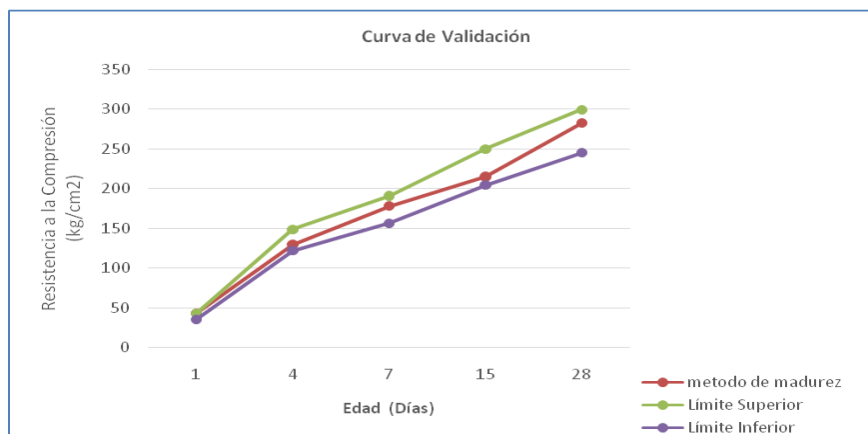
También se tuvo la oportunidad de llevar el equipo a la empresa de Premezclado Mixercon, en donde se pudo hacer una verificación en sus instalaciones, tomando como referencia su diseño de mezcla cuyo asentamiento es de 6 pulgadas o 15 cm y resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Esta vez se hizo el muestreo en un ambiente libre, sin ningún control de temperatura ambiental.



**Gráfico 37; registro ininterrumpido de 28 días de temperatura**

DATOS PARA LA VALIDACION				
EDAD (DIAS)	Resistencia a Compresión de Cilindros Curados en Campo (Kg/cm2)	Resistencia obtenida por el Método de Madurez (Kg/cm2)		
		+ 10%	Valor	-10%
1	43.96	43.95	39.95	35.96
4	130	149.34	135.77	122.19
7	178	191.22	173.84	156.45
15	215	250.15	227.41	204.67
28	282	299.20	272.00	244.80

**Tabla 11; Evaluación del método de madurez**



**Gráfico 38; de validez del método con los datos del equipo desarrollado**

## **CAPITULO V**

### **5. Discusión de Resultados**

#### **5.1 Prueba del equipo implementado para el Método de Madurecen laboratorio**

En este capítulo analizaremos los resultados obtenidos de tomar la temperatura de los especímenes de concreto de acuerdo a la norma NPT 339.217, y de la resistencia a la compresión de los mismos. Para poder obtener la calibración de la mezcla es necesario graficar los datos obtenidos en el laboratorio siendo estos la temperatura, el tiempo y la resistencia a la compresión, esto nos permitirá hacer el análisis de acuerdo a la norma NTP 339.217. Los datos necesarios para los gráficos de la norma se tomaran a edades tempranas (1, 3, 7, 14 y 28 días), y solo utilizaremos el método destructivo descrito en la norma técnica peruana Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034, 2008). Para cada mezcla es necesario elaborar probetas de concreto de acuerdo a la "Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo" (NTP 339.033, 2009) que sean motivo de instrumentación para aplicar el método de madurez.



Fotografía 14; Toma de muestras en moldes estándar de 4x8 pulgadas.



Fotografía 15; Toma de muestras para resistencia.

Conforme los especímenes vayan cumpliendo su tiempo (1, 3, 7, 14 y 28 días) se les realizara el ensayo de resistencia a la compresión teniendo en cuenta lo especificado en la NTP 339.217 en el capítulo 09 acápite 04 donde indica que se ensayaran 02 probetas se tomara el promedio, si el rango de resistencia de 02 especímenes excede el 10% de su promedio, ensayar otro cilindro y hallar el promedio de los 03. Si un resultado es bajo, se descartara este resultado.



Fotografía 16; Ensayos de resistencia en la UNFV-FIC.

A continuación desarrollaremos los gráficos que están estipulados en la norma ASTM C 1074 (Edad Equivalente, Temperatura, Resistencia a la compresión).

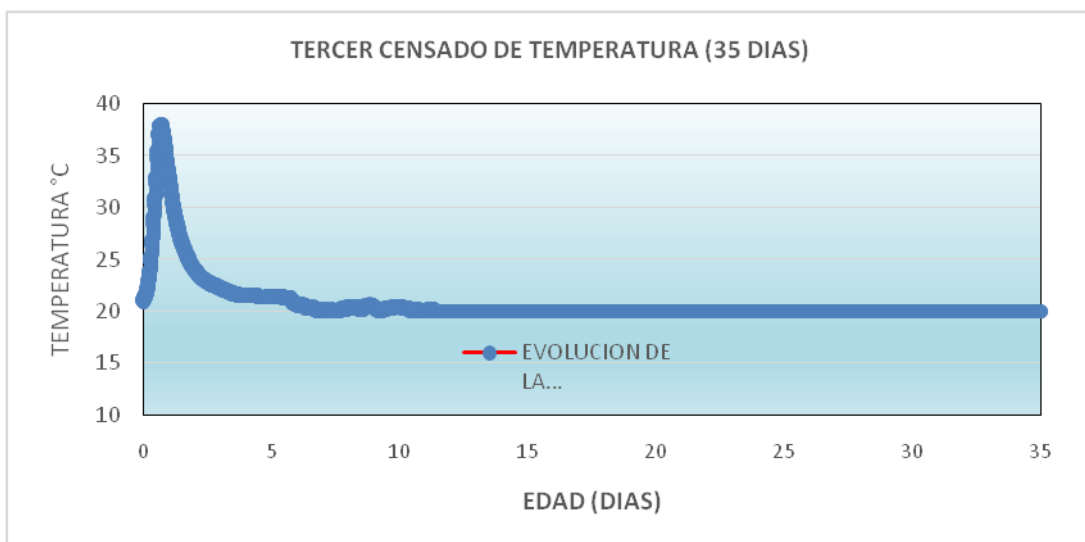
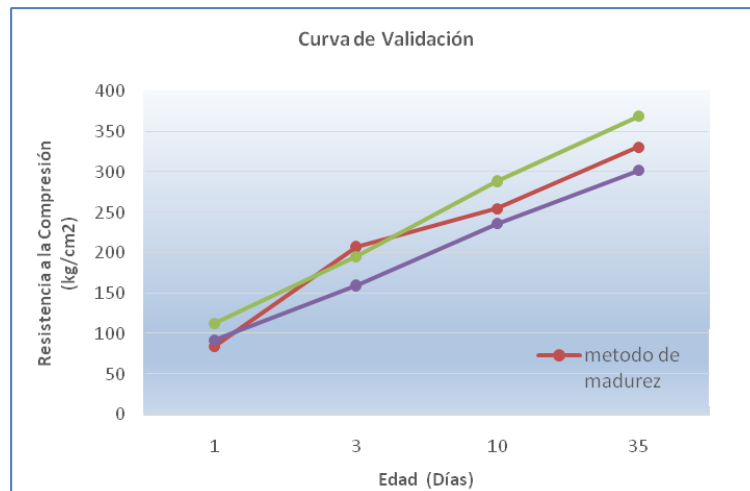


Gráfico 26; registro ininterrumpido de 35 días de temperatura

DATOS PARA LA VALIDACION				
EDAD (DIAS)	Resistencia a Compresión de Cilindros Curados en Campo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia obtenida por el Método de Madurez (Kg/cm <sup>2</sup> )		
		+ 10%	Valor	-10%
1	85	113.34	103.04	92.73
3	208	195.69	177.90	160.11
10	255	288.80	262.55	236.29
35	331	369.07	335.52	301.96

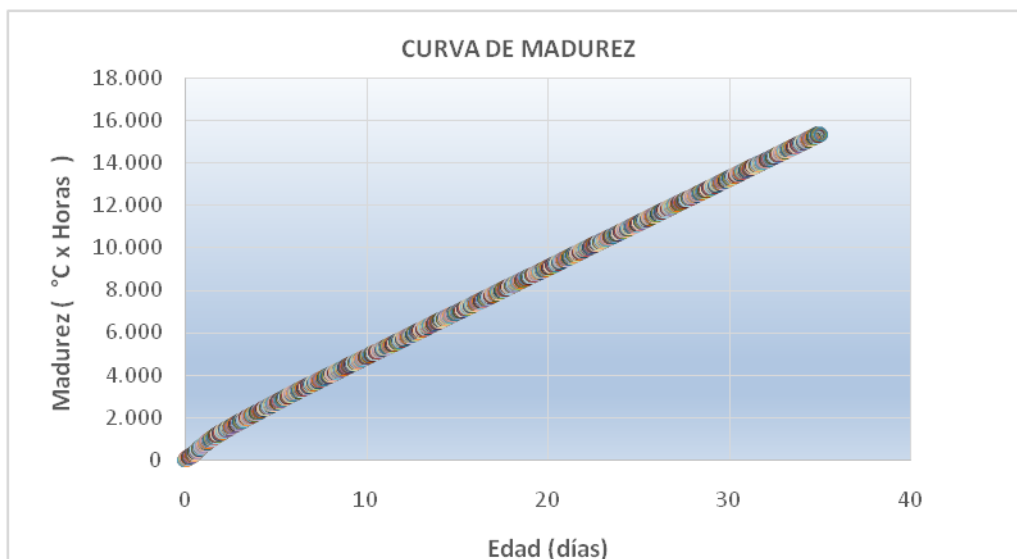
Tabla 8; Evaluación del método de madurez

En esta tabla podemos apreciar la banda de calibración ( $\pm 10\%$ ) donde indica los límites de resistencia donde puede fluctuar la resistencia de los especímenes.



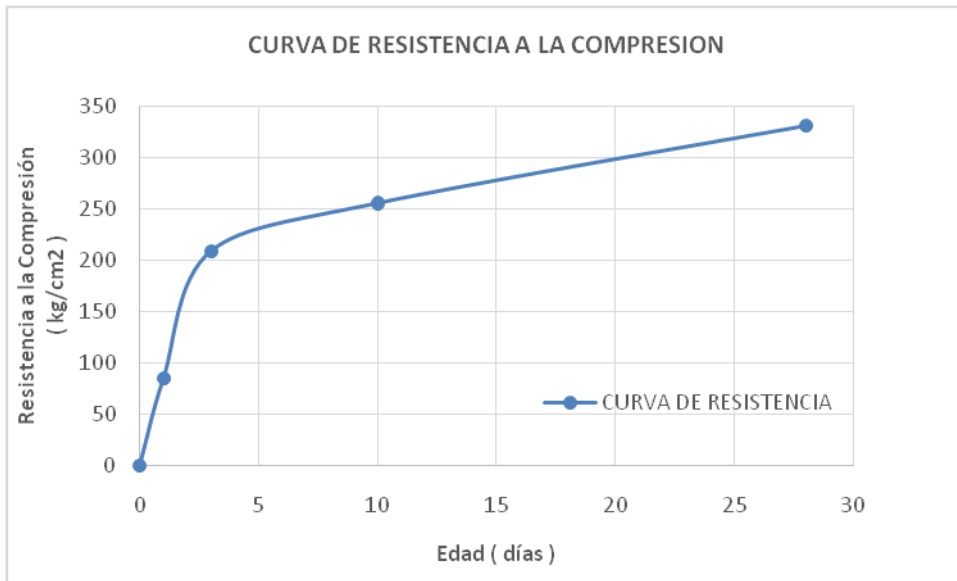
**Gráfico 27; de validez del método con los datos del equipo desarrollado.**

De acuerdo a lo observado se puede apreciar que los 2 primeros valores están fuera de la faja de calibración y el resto si cumple con el mismo, por lo que se puede aprobar la calibración de la mezcla, puesto que las diferencias no son importantes de acuerdo a la norma ASTM C1074.



**Gráfico 28; índice de madurez.**





**Gráfico 29; Evolución de resistencia a la compresión.**

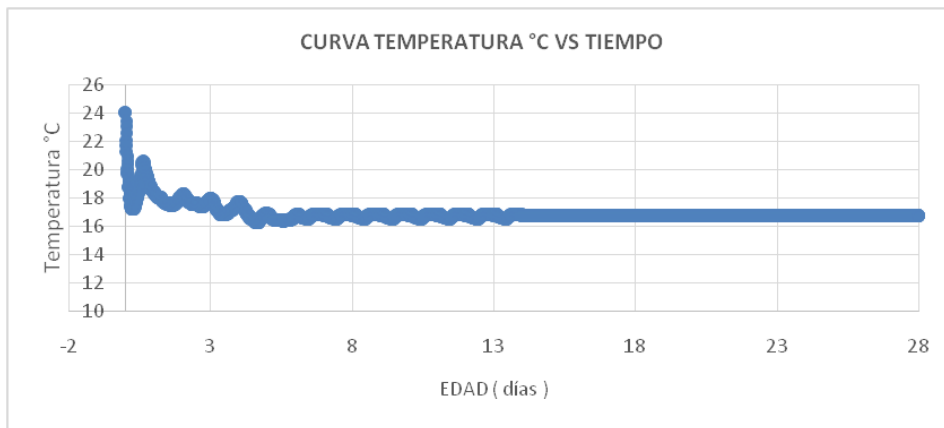


**Fotografía 16, evaluando la madurez del concreto**

## **5.2 Evaluación del caso**

Se propuso a la empresa de Premezclado Mixercon, medir la madurez del concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$ , de la producción en Planta Villa el Salvador y logramos

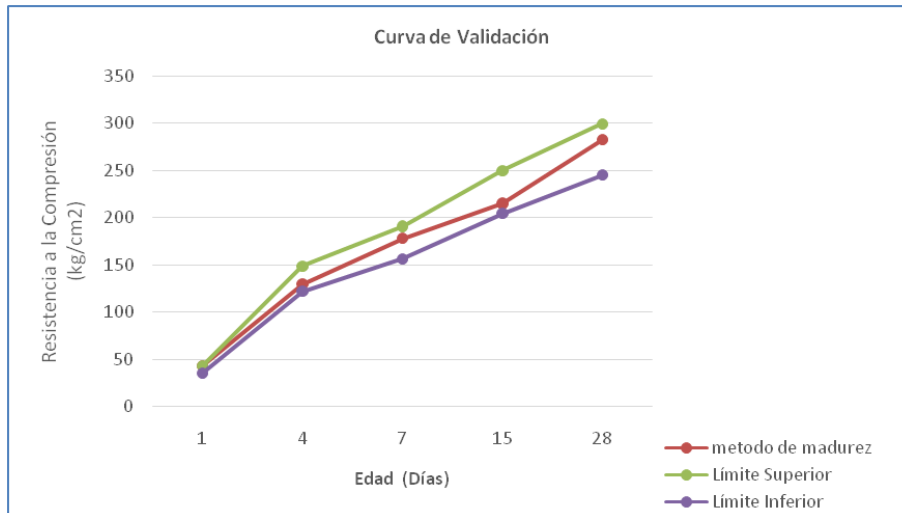
realizar el censado de concreto durante 28 días con el equipo implementado para el método de madurez. Para realizar el censado de concreto se propuso hacer un muestreo de acuerdo a las normas descritas. Se han seguido los cálculos de la Norma ASTM C1074 para el factor de edad a 20°C paralelamente a esto se ha medido la resistencia a la compresión del concreto, para los valores de energía de activación del cemento es de 36700 j/mol el valor de la constante de gas es de 8.3 j/ (k.mol) y el valor ts es 20°C, todos estos datos recomendados por la norma ASTM C 1074.



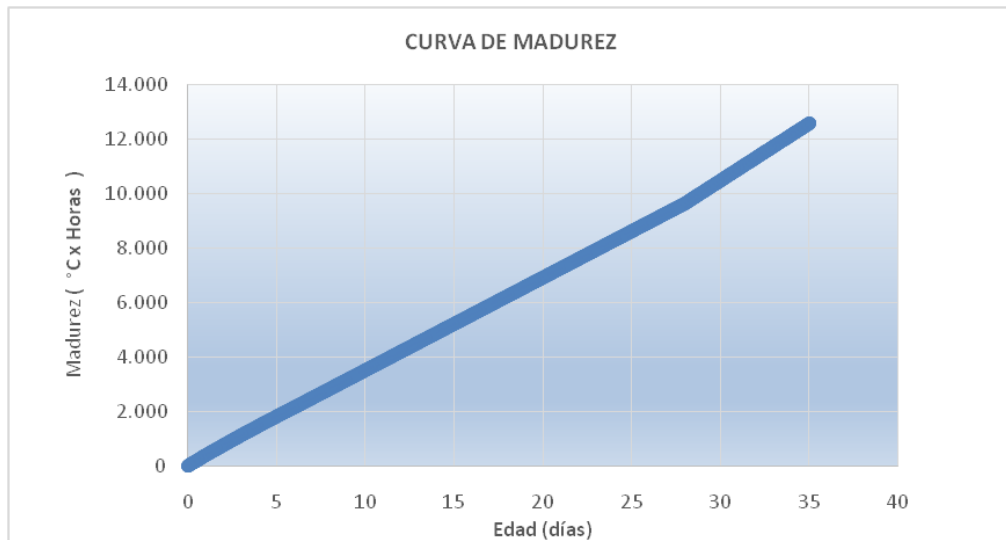
**Gráfico 30; medición de Temperaturas ininterrumpidas durante 28 días, en Mixercon.**

DATOS PARA LA VALIDACION				
EDAD (DIAS)	Resistencia a Compresión de Cilindros Curados en Campo (Kg/cm2)	Resistencia obtenida por el Método de Madurez (Kg/cm2)		
		+ 10%	Valor	-10%
1	43.96	43.95	39.95	35.96
4	130	149.34	135.77	122.19
7	178	191.22	173.84	156.45
15	215	250.15	227.41	204.67
28	282	299.20	272.00	244.80

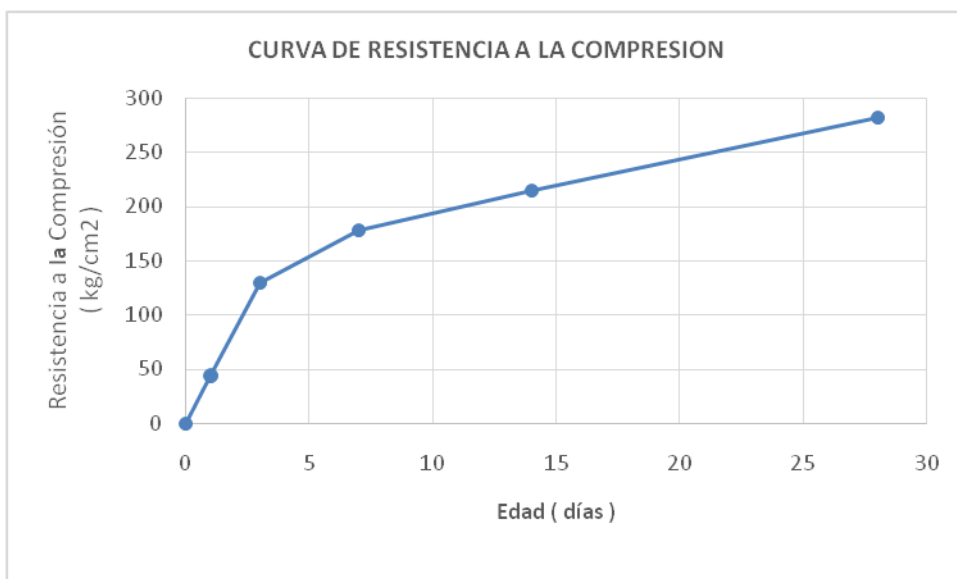
**Tabla 9; Evaluación del método de madurez**



**Gráfico 31; validez del método con los datos del equipo desarrollado.**



**Gráfico 32; índice de madurez.**



**Gráfico 33; Evolución de resistencia a la compresión.**



**Fotografía 17, pruebas en la empresa Mixercón**



**Fotografía 17, pruebas en la empresa Mixercón**

## CONCLUSIONES

Con respecto al cumplimiento de los objetivos se puede decir lo siguiente:

- La preparación de los sensores de temperatura, relojes digitales calibrados y placas genéricas programables para realizar el método de madurez, fue un éxito, se cumplió con la prueba de 24 horas, la de 3 días y la de 7 días, para luego realizar una prueba ininterrumpida de 35 días, los equipos implementados pudieron cumplir con el censado ininterrumpido.
- Se implementó un software, ya hemos descrito que está dividido en dos partes, el primero para interpretar las señales del sensor y convertirlo en un número digital; y el segundo para realizar todos los cálculos del método de madurez.

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

## **RECOMENDACIONES**

No es el objetivo de este documento analizar el comportamiento del concreto, pero sin duda queda expuesto en las 2 pruebas hechas que en el concreto no solo es importante el curado, mucho más importante es la conservación de la temperatura en las estructuras para lograr mayor evolución en la resistencia del concreto. Recomendamos con el uso de este equipo seguir investigando al concreto con el objetivo de modular el verdadero efecto de los cambios de temperatura ambiental en la evolución de la resistencia en el concreto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. (2009). *Determinación de la Resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio*. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Andrade, G. y Mosquera, C. (2013). *“Investigación del tiempo óptimo de curado a vapor en un hormigón de alta resistencia para elementos prefabricados en producción masiva”* (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/526/1/UNACH-EC-IC-2013-0010.pdf>
- Arteaga, G., Castillo, J. y Velásquez, J. (2012). *Instrumentalización de un tramo de la calle de 100 m de concreto, utilizando el equipo de madurez, en el tramo 7-B Lislique- Anamoros de la carretera longitudinal del norte*. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Carino, N. and Lew, (Mayo 2001). El método de Madurez. En P. Chang (Presidencia). *Structures Congress & Exposition*. Simposio llevado a cabo por el American Society of Civil Engineers, Washington D.C., USA
- Menchura, V. (2006). *Aplicación del Ensayo de Madurez a Pavimentos de Hormigón*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología de Concreto en el Perú (2a ed.)*. Lima, Perú: Editorial Colegio de Ingenieros del Perú.

## Referencias de Normas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2004). C1074. *Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method*. Pennsylvania: ASTM.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2005). C39/C39M. *Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method*. Pennsylvania: ASTM.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1995). ACI 228. *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*. USA: ACI Committee 228.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2008). ACI 318. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. USA: ACI Committee 318.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2002). ACI 211. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. USA: ACI Committee 211.
- NORMA TECNICA PERUANA (2007). NTP 339.217. *Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez*. Perú: INACAL.
- NORMA TECNICA PERUANA (2008). NTP 339.034. *Métodos de ensayo normalizado para la determinación de la Resistencia a la compresión de Concreto, en muestras cilíndricas*. Perú: INACAL.
- NORMA TECNICA PERUANA (2015). NTP 339.035. *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Perú: INACAL.
- NORMA TECNICA PERUANA (2009). NTP 339.033. *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo* Perú: INACAL.



## Referencias electrónicas

National Ready Mixed Concrete Association [NRMCA] (2016, 05 de febrero). El

Concreto en la Practica ¿Qué, Porqué y Comó? *CIP 39 – Madurez del Concreto*. Recuperado de

<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP39es.pdf>

William, D. y Palmer, J. (2014, 01 de diciembre). Madurez y Resistencia del

Concreto. Tecnología. Recuperado de

<http://www.imcyc.com/revistact06/dic06/TECNOLOGIA.pdf>

## CAPITULO IX

### 7 ANEXOS



Fotografía N° 1; mezcladora para la elaboración de concreto.



Fotografía N° 2; Elaboración del concreto.



Fotografía N° 3; Vaciado del primer espécimen.



Fotografía N° 4; Acabado de concreto.



Fotografía N° 5; Medición del revenimiento.



Fotografía N° 6; Acabado del concreto.



Fotografía N° 7; Temperatura del concreto.



Fotografía N° 8; Colocación del sensor.



Fotografía N° 9; Sensor de temperatura.



Fotografía N° 10; Encendido del sensor.



Fotografía N° 11; Vaciado del concreto.



Fotografía N° 12; Vaciado del concreto.