

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS ANCLAJES QUÍMICOS,  
SOMETIDOS A SOLDADURA**

**AUTOR:**

**González Santander, Andrés Eduardo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Yépez Roca, Luis Octavio**

**Guayaquil, Ecuador**

**02 de Marzo del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **González Santander, Andrés Eduardo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero civil**.

### TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Yépez Roca, Luis Octavio**

### DIRECTOR DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther**

**Guayaquil, a los 02 días del mes de Marzo del año 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **González Santander, Andrés Eduardo**

### DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **estudio de la capacidad de los anclajes químicos, sometidos a soldadura** previo a la obtención del título de **ingeniero civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 02 días del mes de Marzo del año 2018**

### EL AUTOR

f. \_\_\_\_\_

**González Santander, Andrés Eduardo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## AUTORIZACIÓN

Yo, **González Santander, Andrés Eduardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **estudio de la capacidad de anclajes químicos, sometidos a soldadura**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 02 días del mes de Marzo del año 2018**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**González Santander, Andrés Eduardo**

## Reporte Urkund



### Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo de titulo A. González.docx (D35819361)  
Submitted: 2/22/2018 4:16:00 AM  
Submitted By: claglas@hotmail.com  
Significance: 2 %

#### Sources included in the report:

TRABAJO TITULACIÓN - ARTURO ESPINOSA.pdf (D25976988)  
TESIS JOSE PIO CEVALLOS.doc (D24154770)  
CAPTULO II - Lenin Andres Monteros Vizcaino.docx (D12045050)  
<https://www.chemifloor.net/caracteristicas-de-las-resinas-epoxi-a144>

#### Instances where selected sources appear:

4

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, a mis padres, que fueron los que desde el comienzo de mis estudios me han apoyado económicamente, por su apoyo incondicional en todo lo que he necesitado. Agradezco a los que fueron mis guías en este trabajo, Ing. Clara Glas y al Ing. Octavio Yépez, que siempre brindaron el apoyo que necesité para lograr realizar este proyecto, además del tiempo que destinaron para mí. Agradezco a mis amigos y compañeros de clase, los cuales me apoyaron, y me ayudaron a salir adelante en las dificultades que se presentaron en diversas materias durante la carrera.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi abuelita Anita Vásquez, a mi abuelo Carlos González y mi abuelo Alfonso Santander, que no consiguieron permanecer conmigo hasta estos momentos, sé que estarían muy felices y orgullosos de mí. Dedico también este trabajo a toda mi familia que está por Colombia. También dedico este trabajo a Dios y a mis padres que con arduo trabajo lograron darme la educación que tengo y las oportunidades que me han permitido tener, a nivel académico.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Luis Octavio Yépez Roca Ms. C.**

TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas Ms. C.**

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Xavier Federico Casal Rodríguez Ms. C.**

OPONENTE

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Clara Catalina Glas Cevallos Ms. C.**

DELEGADO DE COORDINADOR DEL ÁREA

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO 1: INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	3
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivo.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Alcance .....	4
1.4 Metodología .....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Definición .....	5
2.2 Descripción .....	5
2.3 Tipos de resinas.....	6
2.4 Ventajas y desventajas .....	7
2.5 Clasificación de los adhesivos epóxicos .....	8
2.6 Aplicaciones en el ámbito constructivo .....	9
2.7 Epóxico a emplearse para el proyecto.....	9
2.8 Sika AnchorFix 3001 .....	10
2.9 Proceso de instalación del anclaje químico.....	11
2.10 Medición de temperatura .....	12
2.10.1 Termocuplas.....	12
2.10.2 Tipos de Termocupla .....	13
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....	15
3.1 Modelo Numérico-Matemático.....	15
3.1.1 Difusividad Térmica .....	16
3.2 Preparación e instalación de los anclajes químicos.....	18
3.3 Preparación de superficie para pruebas de temperatura .....	23
3.4 Ensayos a tracción para los anclajes químicos.....	31
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANALISIS.....	38
4.1 Análisis de resultados de temperatura.....	38
4.2 Comparación entre resultados en campo y la modelación .....	41
4.3 Análisis de resultados de los ensayos a tracción.....	54
4.4 Comparación de resistencias a tracción .....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Aplicaciones de los anclajes químicos en el ámbito constructivo. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Características técnicas del epóxico Sika AnchorFix 3001. ....	10
<b>Tabla 3.</b> Tipos de termocuplas más comunes según la combinación de aleación. ....	13
<b>Tabla 4.</b> Resultados y consideraciones tomadas en las pruebas de temperatura. ....	40
<b>Tabla 5.</b> Comparación de resultados entre mediciones de campo y modelación. ....	41
<b>Tabla 6.</b> Tabulación de resultados de temperatura para anclaje 1. ....	42
<b>Tabla 7.</b> Resultados correspondientes al modelo realizado con los puntos semejantes a los medidos en campo (anclaje 1). ....	43
<b>Tabla 8.</b> Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 2. ....	44
<b>Tabla 9.</b> Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 2). ....	45
<b>Tabla 10.</b> Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 3. ....	47
<b>Tabla 11.</b> Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 3). ....	47
<b>Tabla 12.</b> Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 4. ....	49
<b>Tabla 13.</b> Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 4). ....	49
<b>Tabla 14.</b> Resultados obtenidos de la presión ejercida en los ensayos. ....	58
<b>Tabla 15.</b> Tabal de valores de cargas leídas vs valores de cargas reales promedio. ....	59
<b>Tabla 16.</b> Resultados de las resistencias máximas de los anclajes químicos. ....	59

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Comparación del Sika AnchorFix 3001 vs otros epóxicos.....	10
<b>Ilustración 2.</b> Empleos diversos del epóxico en inclinaciones de superficie diferentes. ....	11
<b>Ilustración 3.</b> Esquema de alambres que forman la termocupla. ....	12
<b>Ilustración 4.</b> Gráfica de Milivoltios vs. Temperatura según los tipos de termocupla. ....	14
<b>Ilustración 5.</b> Parte del macizo de Hormigón. ....	18
<b>Ilustración 6.</b> Base con medidas guía para el Ferroskan.....	19
<b>Ilustración 7.</b> Realización de perforaciones con taladro roto-percutor.....	20
<b>Ilustración 8.</b> Broca Bosch SDS Max de 20 mm de diámetro. ....	21
<b>Ilustración 9.</b> Distribución de las perforaciones para los anclajes químicos. ....	21
<b>Ilustración 10.</b> Finalización de la instalación de los anclajes químicos. ....	22
<b>Ilustración 11.</b> Los últimos 4 anclajes químicos instalados.....	22
<b>Ilustración 12.</b> Perforaciones realizadas para la medición de temperatura, con las guías respectivas.....	24
<b>Ilustración 13.</b> Perforaciones en el acero descubierto. ....	25
<b>Ilustración 14.</b> Multímetro empleado de marca FLUKE. ....	26
<b>Ilustración 15.</b> Herramienta de calor para fundir.....	26
<b>Ilustración 16.</b> Pasta fundente.....	27
<b>Ilustración 17.</b> Espuma Sika Boom. ....	27
<b>Ilustración 18.</b> Esquema de la superficie lista para las mediciones de temperatura. ....	28
<b>Ilustración 19.</b> Máquina DATA Logger para registrar mediciones de temperatura. ....	29
<b>Ilustración 20.</b> Termocuplas conectadas en puertos B y D en respectivos canales. ....	29
<b>Ilustración 21.</b> Varillas de anclajes químicos para prueba de temperatura cortados. ....	30
<b>Ilustración 22.</b> Proceso de soldadura de placas y medición de temperatura terminado.....	31
<b>Ilustración 23.</b> Proceso de soldadura de los tramos cortados de las varillas de los anclajes químicos.....	32
<b>Ilustración 24.</b> Anclaje químico con tramo soldado. ....	32
<b>Ilustración 25.</b> Gato Hidráulico Power Team de 60 Ton.....	33
<b>Ilustración 26.</b> Máquina Power Team que ejerce la fuerza para el funcionamiento del Gato hidráulico. ....	33
<b>Ilustración 27.</b> Varilla de 32 mm con rosca de 12 cm de largo. ....	34
<b>Ilustración 28.</b> Hueco de 5 cm de largo con hilos para varillas de 16 mm. ....	34
<b>Ilustración 29.</b> Nivelación del gato y ubicación de la máquina que ejerce fuerza.....	35
<b>Ilustración 30.</b> Sistema varilla-tuerca-anillo empujado por el pistón del gato hidráulico. ...	35
<b>Ilustración 31.</b> Varillas ensayadas con soldadura.....	36
<b>Ilustración 32.</b> Varillas sin soldar ensayadas.....	36

<b>Ilustración 33.</b> Grupo de varillas soldadas pulidas.....	37
<b>Ilustración 34.</b> Grupo de varillas sin soldar, pulidas. ....	37
<b>Ilustración 35.</b> Lectura de temperaturas en 4 puntos (anclaje de 40cm Prof.).....	38
<b>Ilustración 36.</b> Formato de registro de temperaturas en el rollo térmico.....	39
<b>Ilustración 37.</b> Formato de resultados para los anclajes de 4 puntos (40cm de Prof.).....	39
<b>Ilustración 38.</b> Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el anclaje 1 de 20 cm de Prof.....	44
<b>Ilustración 39.</b> Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el anclaje 2 de 40 cm de Prof.....	46
<b>Ilustración 40.</b> Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el Anclaje 3 de 20 cm de Prof.....	48
<b>Ilustración 41.</b> Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el Anclaje 4 de 40 cm de Prof.....	50
<b>Ilustración 42.</b> Esquema de lo que muestra el modelo Numérico-Matemático.....	52
<b>Ilustración 43.</b> Esquema de lo que muestra el modelo Numérico-Matemático para 115 grados centígrados. ....	53
<b>Ilustración 44.</b> Máquina para ensayos a tracción CONTROLS.....	55
<b>Ilustración 45.</b> Varilla de 16 mm lista para el ensayo. ....	55
<b>Ilustración 46.</b> Datos ingresados en el programa antes del ensayo.....	56
<b>Ilustración 47.</b> Fallo de la varilla. ....	57
<b>Ilustración 48.</b> Diagrama de esfuerzo vs deformación (%), y resultado de la fuerza de fallo. ....	57
<b>Ilustración 49.</b> Medición de presión con la maquina empleada.....	58
<b>Ilustración 50.</b> Monitoreo de temperatura para los anclajes químicos. ....	65
<b>Ilustración 51.</b> Monitoreo de la lectura de presión para ensayos a tracción (anclaje 5, parte inferior del macizo de hormigón).....	65
<b>Ilustración 52.</b> Resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1. ....	66
<b>Ilustración 53.</b> Continuación a resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1. ..	67
<b>Ilustración 54.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1. 68	
<b>Ilustración 55.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1. 69	
<b>Ilustración 56.</b> Resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2. ....	70
<b>Ilustración 57.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2. 71	
<b>Ilustración 58.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2. 72	
<b>Ilustración 59.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2. 73	
<b>Ilustración 60.</b> Resultados de medición de temperatura en el anclaje 3. ....	74
<b>Ilustración 61.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 3. 75	
<b>Ilustración 62.</b> Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 3. ....	76
<b>Ilustración 63.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 3. 77	
<b>Ilustración 64.</b> Resultados de medición de temperatura en el anclaje 4. ....	78
<b>Ilustración 65.</b> Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 4. 79	
<b>Ilustración 66.</b> Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 4. ....	80

<b>Ilustración 67.</b> Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 4. ....	81
<b>Ilustración 68.</b> Modelo Numérico-Matemático para 1200 grados centígrados. ....	82
<b>Ilustración 69.</b> Modelo Numérico-Matemático para 115 grados centígrados. ....	83

## **RESUMEN**

En el campo de la construcción y del diseño, a la hora de realizar adecuaciones, remodelaciones, o una construcción sencilla de vivienda o edificación, se requieren diversas técnicas constructivas, entre ellas la de usar anclajes, ya sean de tipo mecánicos o químicos.

Se trabajó en este proyecto con anclajes químicos, y se comprobó su función mecánica y química, mediante diferentes pruebas, tanto en resistencia (por medio de ensayos de tracción), como por temperatura (funcionalidad del super-adhesivo que se empleó).

Ambos tipos de pruebas realizadas en campo (no en laboratorio) parten en base a una referencia de laboratorio con un ensayo a tracción de una muestra de varilla roscada de 16mm, empleadas como sistema de anclaje al hormigón por medio de un químico llamado epóxico o super-adhesivo (de doble componente).

Para las pruebas de temperatura se realizó un modelo numérico-matemático, el cual se comparó con los resultados obtenidos de las pruebas por temperatura. Estas pruebas consisten en aplicar calor por medio de fundir o soldar una placa metálica a las varillas de acero. En cuanto a las resistencias de tracción se comparó los resultados obtenidos en campo con los de laboratorio.

***Palabras claves:*** ANCLAJES QUÍMICOS; EPÓXICO; TERMOCUPLAS; MEDICIÓN DE TEMPERATURA; EFECTO DEL CALOR DE SOLDADURA; VARILLAS ROSCADAS; RESISTENCIA A TRACCIÓN

## **ABSTRACT**

In the field of construction and design, when making adjustments, remodeling, or a simple construction of housing or building, various construction techniques are required, including the use of anchors, whether mechanical or chemical type.

This project was worked with chemical anchors, and its mechanical and chemical function was verified, by means of different tests, both in resistance (by means of tensile tests), and by temperature (functionality of the super-adhesive used).

Both types of tests carried out in the field (not in the laboratory) are based on a laboratory reference with a tensile test of a 16mm threaded rod sample, used as an anchoring system to the concrete by means of a chemical called epoxy or super - adhesive (double component).

For the temperature tests a numerical-mathematical model was performed, which was compared with the results obtained from the temperature tests. These tests consist of applying heat by melting or welding a metal plate to the steel rods. As for the tensile strengths, the results obtained in the field were compared with those of the laboratory.

***Key words:*** CHEMICAL ANCHORS; EPÓXY; THERMOCOUPLE;  
TEMPERATURE MEASUREMENT; EFFECT OF WELDING HEAT;  
THREADED RODS; TENSILE STRENGTH

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la construcción, existen muchas técnicas que se implementan para generar un mejor aprovechamiento de lo que se esté haciendo en determinado terreno. Dichas técnicas constructivas suelen ser soluciones, o simplemente adecuaciones en una estructura que esté ya construida o que se vaya a construir.

Dentro de las técnicas constructivas que se manejan en la práctica, las más comunes son: arriostramientos laterales para sismoresistencia, implementación de anclajes ya sean mecánicos o químicos, emplear aisladores sísmicos en estructuras, construcción sustentable con material reciclado, en carreteras usar impermeabilizantes en taludes, entre otras más.

La técnica de los anclajes mecánicos y químicos es muy empleada en casos de que se construya algo nuevo sobre algo ya construido (viejo) como ampliaciones, adecuaciones, entre otras. Hay una gran diferencia entre emplear un anclaje mecánico y uno químico, y básicamente es en el comportamiento mecánico donde se marca la diferencia; además de otros factores, los cuales se detallan en esta investigación.

Cada anclaje tiene su respectivo desempeño, así como desventajas del uno sobre el otro. La idea de emplear un anclaje químico en la construcción es de sumo cuidado, se requieren sistemas de precauciones y precisión al momento de emplearlo en obra. Para esta investigación, se ejecutan ensayos a tracción y evaluación de transferencia de calor, donde se mide la temperatura a lo largo de los anclajes químicos, que en ciertas ocasiones se ven influenciados por el calor que genera el efecto de soldar placas metálicas en las varillas o pernos de los anclajes químicos.

La idea es generar resultados, para comparar entre un sistema de anclaje químico que se ve alterado por una placa soldada, con un anclaje que no tiene esa placa soldada. En base a los resultados de la resistencia a tracción, generar conclusiones sobre cual comportamiento mecánico es mejor. A su vez los resultados del análisis de temperatura sirven para conocer el daño que puede llegar a tener el epóxico que se emplea en los anclajes químicos, y junto con los resultados a tracción (con placa soldada), analizar si el sistema de anclajes sigue siendo eficiente

# **CAPÍTULO 1: INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

## **1.1 Antecedentes**

Los anclajes son formas de adecuación muy empleadas actualmente en la construcción, los cuales por años han sido una buena alternativa para construir algo nuevo en algo viejo; refiriéndose al hormigón. Tienen varios usos, como lo es para ampliaciones de viviendas o realización de volados nuevos. También para agregar pisos con mezzanines como otro ejemplo.

Hay varios tipos de anclajes como lo son los químicos y los mecánicos (expansión). Los anclajes químicos son más versátiles que los mecánicos, ya que no generan esfuerzos en el material, mientras que los mecánicos si generan esfuerzos. Los anclajes químicos pueden emplearse a mayor profundidad que los mecánicos.

El sistema de un anclaje químico es el epóxico, el cual tiene límites de temperatura en cuanto a la ficha técnica o manual técnico del material, aproximadamente según el mercado el límite es de 120 grados centígrados.

Para el uso en la construcción a veces se requiere soldadura en el anclaje, por ende, el fin de este proyecto es estudiar la aplicación de dicho procedimiento.

## **1.2 Objetivo.**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Probar el comportamiento del anclaje químico en bloques de hormigón, empleando soldadura con placa metálica, con la respectiva influencia de la temperatura que genera el proceso de soldadura en la varilla y en el epóxico empleado.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Medir la variación de temperatura en el interior del anclaje bajo la incidencia de la soldadura empleada.
- Ensayar a tracción el anclaje para medir sus propiedades mecánicas

### **1.3 Alcance**

Se quiere estudiar la capacidad a tracción que tienen los sistemas de anclaje químico, en bloques de hormigón de laboratorio, realizando las respectivas pruebas con o sin soldadura, y generar comparaciones de ambos casos.

### **1.4 Metodología**

El sistema de anclaje es un proceso constructivo de mucho cuidado al momento de realizar adecuaciones a estructuras ya existentes, o en remodelaciones. Existe lo que es el anclaje mecánico, muy similar al sistema que se usa con tornillos para repisas en paredes, algunos de estos sistemas funcionan a presión (expansión).

Por otro lado, se emplean anclajes químicos que son muy útiles, ya que usa el epóxico (super-adhesivo) como material que va entre el perno o varilla que entra en el hormigón, generando adherencia.

El epóxico es un material susceptible a altas temperaturas, por ende, al emplear anclajes químicos junto con soldadura de placas, podría verse afectado el epóxico y así mismo la varilla. Se generará un estudio o modelo numérico-matemático donde se analizará la transmisión de calor que el efecto de soldadura genera en el epóxico y en la varilla. El modelo será contrastado con mediciones reales mediante termocuplas instaladas en la interfase varilla-epóxico, a distintas profundidades al interior del anclaje.

Se realizará ensayos de resistencia a la tracción, empleando un gato hidráulico, con el fin de medir la fuerza efectuada para extraer o romper el anclaje. Se compararán los resultados entre anclajes con soldadura y sin soldadura para generar conclusiones sobre qué sistema de anclaje es más factible y eficaz en la construcción, en función de las condiciones requeridas en obra.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Definición**

Una de las definiciones sobre lo que son los anclajes químicos es la que propone Blinker (2017), y señala que son una herramienta de unión o fijación de elementos como varillas de acero corrugadas o pernos roscados, con el hormigón estructural (fisurado o no), piedra, ladrillos, entre otros. Dicha fijación se la consigue al aplicar inyección de una resina bi-componente (epóxico), que hará que soporte cargas altas.

### **2.2 Descripción**

Se lo conoce también por el nombre de taco químico. La forma de fijar dichos elementos metálicos (varillas o pernos) es por medio de un pegamento o adhesivo químico, antes mencionado como epóxico; en lugar de emplear métodos mecánicos similares al taco Fisher para paredes.

No solamente se puede generar anclajes en hormigón o paredes, también en roca, y en este caso se emplean perforaciones diamantadas, caso contrario cuando es en hormigón, se lo hace con brocas (pueden ser de diferentes diámetros), y con un taladro roto percutor (Brochure de Sika, 2014).

Generada la perforación se debe realizar una limpieza con sopladores manuales o eléctricos, y finalmente unas pasadas adicionales con un cepillo metálico para sacar los residuos que no termina de sacar el soplador. De acuerdo con el Brochure de Sika (2014), esta acción debe repetirse tres veces.

Existen varios tipos de epóxicos o adhesivos, algunos de ellos constan de un solo componente como anclaje químico o resina. Sin embargo, actualmente se desarrolló un sistema de envase bi-componente con presencia de silicona o catalizador, donde finalmente se juntan con la resina, se mezclan y lo que sale es un material homogéneo (Blinker, 2017).

Algo positivo de este sistema es que al mezclar dos componentes y hacerlos uno, genera eficiencia en el sistema de anclaje químico, además de darle un uso apropiado a la resina para la aplicación en superficies como el hormigón.

Dicho componente homogéneo genera una buena resistencia mecánica y el fraguado de dicha mezcla puede darse en condiciones secas, húmedas hasta incluso inundadas (Sika, 2017). Como cualquier mezcla, este producto tiene sus propiedades químicas y físicas, es por eso que el señalar su adquisición de resistencia cuando ha fraguado es de suma importancia.

El mecanismo donde se mezclan la resina epóxica con el catalizador, es una especie de mezclador estático que tiene forma de espiral internamente en la boquilla, por donde sale la mezcla de manera homogénea (Sika, 2017). En las fichas de detalles del producto se ve claramente como la boquilla tiene una especie de espiral dentro.

### **2.3 Tipos de resinas**

Dentro del mercado existen varios tipos de resinas, según su aplicación y por la resistencia que puedan llegar a adquirir. Según Blinker (2017), estipula tres tipos de resinas:

- Resinas poliéster
- Resinas viniléster
- Resinas epoxi.

Cada tipo de resina tiene sus propias características, y sus ventajas en comparación con otras, así como ciertas desventajas en comparación con los otros tipos. Así mismo pueden tener distintas aplicaciones, y cada una puede funcionar o ser eficaz en distintas superficies.

Las resinas poliéster se caracterizan por una buena relación calidad-precio y tiene una buena resistencia a tracción entre 50-75 MPa (Gazechim, 2013), tiene su respectivo proceso de curado que se genera de manera gradual de los cuales uno de los factores

que interviene es la temperatura ambiente, la humedad, entre otros (Gil, 2012). Tienen tanto propiedades mecánicas como químicas y así mismo los otros dos tipos de resina. Generalmente se la emplea en productos reforzados con fibra de vidrio, entre ejemplos se tienen: carrocerías, construcción de embarcaciones, señalización vial, entre otros. Además de poderse emplear en lugares con exposición al agua (MOTOREX, 2017). El siguiente tipo puede tener aplicaciones similares, además de otras adicionales.

Las resinas viniléster son muy buenas en cuanto a la resistencia a tracción y alargamiento a la ruptura, en comparación con las resinas poliéster (QuimiNet, 2007). Son más flexibles que las resinas poliéster, por ende, más fáciles de manipular al momento de la aplicación. Este tipo de resinas tienen menor sensibilidad a cambios climáticos que las antes descritas. Entre sus aplicaciones están: en la construcción e infraestructura, revestimientos de protección anticorrosiva, en tanques, tuberías, y también se aplican cuando hay humedad o presencia de agua (MOTOREX, 2017). Este tipo de resina es en cierto modo mejor que las resinas poliéster, tanto química como mecánicamente.

Las resinas epoxi son las que se caracterizan por ser bi-componentes, es decir un componente es el catalizador, y otro es la base o resina, cualidad descrita en el apartado de descripción de los anclajes químicos. Las principales características que tiene este tipo de resina son: gran resistencia mecánica y química, resistencia a la humedad y a temperaturas elevadas, grandes propiedades adhesivas, entre otras; además de tener diferentes aplicaciones como en el concreto, en vías y/o pavimentos. (Chemifloor, 2017).

Todo lo detallado genera una imagen en este tipo de resinas como las mejores en aplicaciones constructivas y para ambientes con climas fuertes y temperaturas elevadas. Es por eso, que este tipo de resinas se las emplean más para los sistemas de anclajes químicos.

## **2.4 Ventajas y desventajas**

Si se desea comparar entre el empleo de anclajes químicos y mecánicos, existen diversas ventajas y desventajas que poseen los sistemas de anclajes químicos,

planteadas por Bellido (2010) y por Sika (2017), donde generalmente se usa resina epoxi o también llamado epóxico.

Ventajas:

- Es mucho más versátil (flexible y manejable) que un anclaje mecánico, por su composición.
- Muestran buenas características de tipo mecánica (resistencia) y de durabilidad.
- El curado suele ser relativamente rápido, por ende, la resistencia obtenida es a temprana edad.
- Los epóxicos no contienen solventes, eso quiere decir que no tiene riesgo de sufrir retracción.
- Una fuerte cualidad es que pueden llegar a tener mayor profundidad que los anclajes mecánicos.

Desventajas:

- El costo del epóxico empleado en este tipo de anclajes no es muy barato.
- Al ser un químico de curado rápido tiene ciertas características de ser frágil y ser resquebradizo.
- Sin el debido control, seguridad y correcta aplicación es una herramienta peligrosa por ser un adhesivo y desarrollar una alta exotermia.
- Son productos muy sensibles a altas o elevadas temperaturas (mayores a 75 grados centígrados), pero no necesariamente se pierden las propiedades del epóxico.

## **2.5 Clasificación de los adhesivos epóxicos**

Según la norma ASTM C-881 los adhesivos se clasifican según:

- A la exposición
- A la viscosidad del epóxico mezclado
- Según el límite de temperatura.

De acuerdo a la exposición hay 5 tipos, según la viscosidad hay 3 grados y con relación al límite de temperatura existe el máximo valor de 60 grados Fahrenheit.

## 2.6 Aplicaciones en el ámbito constructivo

Como cualquier material de construcción, los epóxicos para el sistema de anclajes químicos tienen varias aplicaciones en lo que se refiere a construcción (estructural y no estructural).

Las distintas aplicaciones que se les puede dar a los anclajes químicos (epóxico), se las muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** *Aplicaciones de los anclajes químicos en el ámbito constructivo.*

<b>Actividad</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>ALBAÑILERÍA</b>	○ Colocación de varillas de hierro en hormigón (AT-HP™).
<b>EXCAVACIÓN GRANDES OBRAS</b>	○ Fijación de pletinas (AT-HP™ y SET-X™). ○ Tirantes de anclaje y barreras de seguridad en obra (AT-HP™ y SET-XP™).
<b>FONTANERÍA CALEFACCIÓN</b>	○ Fijación de acumuladores de agua caliente, calderas y soportes para tubos (POLY-GP™).
<b>ELECTRICIDAD CLIMATIZACIÓN</b>	○ Fijación de luminarias, aparatos de climatización y soportes de bandejas para cables (POLY-GP™, AT-HP™).
<b>SEÑALIZACIÓN VIAL</b>	○ Anclaje de barreras, badenes y balizas de señalización (POLY-GP™).
<b>CARPINTERÍA METÁLICA CERRAJERÍA</b>	○ Fijación de carriles, correas y pletinas (POLY-GP™, AT-HP™ y SET-XP™).
<b>CARPINTERÍA EBANISTERÍA</b>	○ Fijación de goznes de postigos, estribos y pies de pilares (POLY-GP™, AT-HP™ y SET-XP™).

**Fuente:** SIMPSON Strong-Tie (2018).

Siendo el POLY-GP™, AT-HP™, SET-XP™ y SET-X™ marcas de anclajes tanto para varillas de hierro como varillas roscadas.

## 2.7 Epóxico a emplearse para el proyecto

Dentro de las distintas marcas que existen de epóxicos a nivel mundial, se optó por usar en este proyecto uno de la rama de Sika (Sika AnchorFix 3001). Existen otros más según el Brochure de los epóxicos de Sika, pero referente a las cualidades que posee el epóxico Sika AnchorFix 3001, supera a los demás (véase la *Ilustración 1*).

ALCANCE DE LOS AnchorFix®									
Producto Sika AnchorFix	Tamaño del cartucho	Cerificaciones	Concreto no fisurado	Concreto fisurado	Sismico	Perno roscado	Barra corrugada	Concreto seco	Concreto húmedo
Sika AnchorFix®-3001	600 ml	ICC ES ESR-3608, NSF-61-9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sika AnchorFix®-2	300 ml	IAPMO UES ER-0327, NSF-61-9, ETA-05/0104	✓			✓	✓	✓	✓
Sikadur AnchorFix®-4	600 ml	ASTM C 881	✓			✓	✓	✓	✓
Sika AnchorFix®-5	300 ml	ETA-13/0721	✓			✓	✓	✓	✓

ICC: International Code Council  
 IAPMO: International Association of Plumbing and Mechanical Officials  
 ASTM: American Standard of Test Materials  
 ETA: European Technical Approval  
 NSF: The Public Health and Safety Organization

**Ilustración 1.** Comparación del Sika AnchorFix 3001 vs otros epóxicos.

**Fuente:** Brochure de Sika (2014).

Básicamente el Sika AnchorFix 3001 es el mejor de la rama de epóxicos de la marca Sika, en cuanto a usos, versatilidad, y el tipo de varillas que se puede usar. En cuanto a las características mecánicas importantes se consideró lo que la Tabla 2 muestra.

**Tabla 2.** Características técnicas del epóxico Sika AnchorFix 3001.

Resistencia	Tiempo	Valor
<b>Compresión</b>	24 horas	59 MPa (8500 psi)
	7 días	85 MPa (12300 psi)
<b>Tracción</b>	24 horas	18 MPa (2610 psi)
	7 días	23.5 MPa (3400 psi)

**Fuente:** Sika (2017).

## 2.8 Sika AnchorFix 3001

Este producto cuenta con características adicionales, que según el Brochure de Sika (2014) son:

- Aplicable en concreto fisurado o no fisurado, en piedra natural dura o roca sólida, en mampostería sólida.
- No generan fuerzas de expansión y se pueden emplear en perforaciones secas, húmedas e incluso inundadas.
- Cuenta con ciertas especificaciones según el Florida Building Code.
- Su contenido neto es de 600 ml y tienen grandes alcances de profundidad.

Actualmente se cuenta con un software para diseñar este tipo de anclajes empleando el epóxico ya descrito. Existen varios usos o aplicaciones donde el epóxico Sika AnchorFix 3001 entra en acción (véase la *Ilustración 2*).



**Ilustración 2.** Empleos diversos del epóxico en inclinaciones de superficie diferentes.

**Fuente:** Por Brochure de Sika (2014).

## 2.9 Proceso de instalación del anclaje químico

Puede emplearse el Sika AnchorFix 3001 u otro epóxico, para cualquiera existen diversos pasos para la correcta colocación de producto e instalación final de los anclajes químicos según como lo propone el Brochure de Sika (2014):

1. Se realiza la perforación (ya sea en hormigón u otra superficie) con un taladro roto-percutor y la broca indicada.
2. Se debe limpiar la perforación con un cepillo de cerdas de alambre tres veces (no menos).
3. Se debe limpiar la perforación con aire a presión (para eliminar residuos), también tres veces.
4. Colocar el frasco del epóxico en la pistola indicada y presionar el gatillo hasta que salga el adhesivo con un color constante (mezcla homogénea). Ese material no debe ser usado.
5. Introducir la boquilla hasta el fondo de la perforación y llenarla aproximadamente hasta  $\frac{3}{4}$  de la profundidad. Se retira la boquilla lentamente, y si la perforación es muy profunda debe usarse una extensión.

6. La varilla que se use, debe ser limpiada y a medida que se introduzca, se debe ir girando lentamente la varilla, hasta que el epóxico cubra toda la perforación y salga a la superficie.

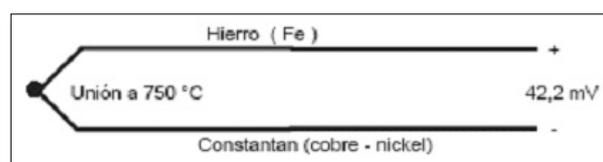
El proceso descrito es el que se aplicó en este proyecto de investigación. Adicionalmente se tomó en cuenta para esta investigación dos parámetros de resistencia (tracción y temperatura) para los anclajes químicos.

## 2.10 Medición de temperatura

### 2.10.1 Termocuplas

Son sensores eléctricos y miden temperatura, ya sea con un medidor o con la ayuda de una máquina acopladora de sensores de termocuplas. Dicha termocupla se la hace con dos alambres de diferente material, que se unen finalmente en un extremo de preferencia por medio del proceso de fundición (Industrias, 2010).

En este extremo se suele aplicar temperatura para generar voltaje y así poder en el otro extremo unir cada alambre por separado a un medidor y medir la temperatura. El sistema de sensores o alambres dentro de la termocupla tiene un esquema gráfico para comprender como funciona (véase la *Ilustración 3*).



**Ilustración 3.** Esquema de alambres que forman la termocupla.

**Fuente:** Electro Industrias (2010).

Los dos alambres suelen venir cubiertos con una camisa de tela de colores diferentes para diferenciar la polaridad de ambos.

Las termocuplas tienen su clasificación, y así mismo tipo de termocuplas que dependen de: la máxima temperatura a la que se someten, según los materiales, según la protección de los mismos alambres, entre otros parámetros (Industrias, 2010).

### 2.10.2 Tipos de Termocupla

Los tipos de termocupla según la clasificación en cuanto al material, se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** *Tipos de termocuplas más comunes según la combinación de aleación.*

Tipo	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C Rango (Min, Max)	Volts Max mV
J	Hierro	Cobre/nickel	(-180, 750)	42,2
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54,8
T	Cobre	Cobre/nickel	(-250, 400)	20,8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21,09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18,68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13,814

**Fuente:** Electro Industrias (2010).

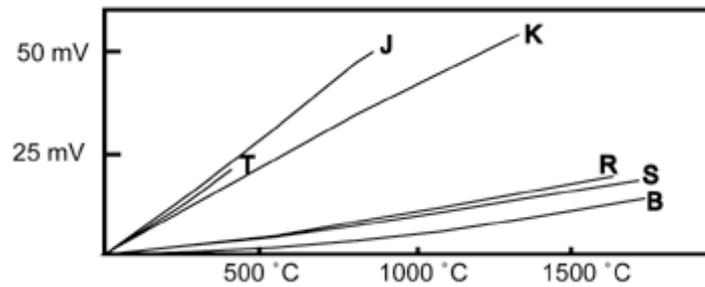
Según la Tabla 3 todos los tipos de termocuplas están definidos por dos tipos de metales (aleaciones). Se especifica una sensibilidad máxima, refiriéndose a cuantos milivoltios se pueden obtener. Adicionalmente, se observa que el tipo de termocupla que más resiste temperatura en base a los metales de nickel, aluminio y cobre es la K con 1372 grados centígrados (positivos). Mientras que para el grupo de termocuplas que se componen de Rhodio y Platino, la que mayor temperatura aguanta es el tipo B.

La aplicación de cada tipo de termocupla es diferente, el tipo J son más empleadas en la industria del plástico y goma, además en la fundición a bajas temperaturas. El tipo K es la mayormente empleada para fundiciones a mayores temperaturas, pero por debajo de los 1300 °C. Finalmente el tipo B, R y S son más para la aplicación en industrias que se encargan de la fundición del acero. El tipo T ya no se emplea mucho, pero antes en la industria de alimentos tenían aplicación.

Hay una manera de conocer la temperatura, y se lo puede hacer por medio de un medidor o máquina medidora de temperatura. La otra manera, es empleando una

gráfica donde las curvas presentes representan los tipos de termocuplas, y conociendo la cantidad de milivoltios medida por las termocuplas, se puede conocer la temperatura medida en el punto de análisis.

La gráfica tiene dos ejes, el eje de las abscisas mide la temperatura, y el de las ordenadas mide los milivoltios (véase la *Ilustración 4*).



**Ilustración 4.** Gráfica de Milivoltios vs. Temperatura según los tipos de termocupla.

**Fuente:** Por Electro Industrias (2010).

Se aprecia que el tipo K es la que mayor cantidad de milivoltios recoge, junto con el tipo J, y las de mayores temperaturas son las S y B, con registros de milivoltios bajos. Todos los valores máximos de las curvas coinciden con los que se muestran en la Tabla 3.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La forma como se realizó este trabajo de investigación fue en base a procesos que se debían seguir, el lugar donde realizar o instalar los anclajes, conseguir las herramientas para la instalación de anclajes y para los respectivos ensayos realizados.

Como primer análisis realizado, fue el de generar un modelo numérico-matemático, donde se proyectarían datos tipo, y finalmente compararlos con los datos obtenidos de las pruebas realizadas.

### 3.1 Modelo Numérico-Matemático

Lo primero que se realizó fue la calibración de la máquina que registra la temperatura medida por las termocuplas, en comparación con lo que mide un termómetro. Para esto se realizó la medición con dos recipientes llenos de agua, uno con agua con hielo, y otro recipiente con agua hirviendo.

La lectura que se apreció en la máquina no siempre coincidió con el termómetro, aunque sí lo hizo después de que pasaran unos segundos. Con este análisis se logró calibrar de cierta manera la máquina junto con la termocupla empleada. Se estableció que la medición de temperatura bastaba hacerla con un solo decimal.

Se realizó mediciones de temperatura (varias), tanto con la termocupla como con el termómetro y así poder realizar una gráfica. Esta gráfica brindaría una ecuación lineal la cual brindaría solución para la imprecisión de las temperaturas medidas por la termocupla, en comparación con las que mide el termómetro.

Se logró demostrar que después de ingresar en la máquina la lectura realizada con un solo decimal, la temperatura del termómetro fue muy similar o casi idéntica a la de la máquina. Esto indica que realmente se midió temperatura con la termocupla, por ende, no era necesario realizar la gráfica que generaría la ecuación lineal con la característica antes descrita.

Lo que prosiguió después de las pruebas de temperatura, fue generar una simulación de temperaturas, las cuales son referencias para los valores que realmente se medirían en campo. Para continuar con el modelo se necesitó conocer la definición del término difusividad térmica, específicamente del acero, junto con el valor correspondiente del mismo en sus respectivas unidades. Esto es porque el modelo mostraría los valores de temperatura, en base a la transferencia de calor que generaría la acción de soldar una placa metálica a las varillas que forman el sistema de anclaje químico. Se consideró que los anclajes químicos instalados tienen diferentes profundidades; por eso es que el modelo fue una herramienta necesaria para simular los valores de temperatura que se medirían en campo.

La idea de este proyecto, junto con el modelo numérico-matemático y los resultados obtenidos en el campo, es demostrar como por medio de soldar placas metálicas en los anclajes químicos, el calor generado puede o no afectar las propiedades del epóxico.

### **3.1.1 Difusividad Térmica**

La difusividad térmica es aquella propiedad específica de los materiales que sirve para caracterizar la conducción de calor que se aplica en los mismos. Es decir que indica la velocidad o que tan rápido un material reacciona ante un cambio de temperatura, ya sea alto o bajo (Martínez, 2012).

La unidad respectiva de la difusividad térmica es área/tiempo y se la simboliza como  $h^2$ . El valor correspondiente para el acero, que es el material empleado en este proyecto, es de  $17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$ ; valor referenciado del texto *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (P. Incropera & P. DeWitt, 1992).

Finalmente se emplea la siguiente ecuación, para determinar la variación de tiempo, es decir, el tiempo que demora en que se efectúe un cambio de temperatura a lo largo de las varillas de acero:

$$\Delta t = \frac{\Delta x^2}{2 * h^2}$$

Para determinar la variación de tiempo se procedió a generar una programación en Excel donde se generó la modelación de los cambios de temperatura.

Para este proyecto, los valores de profundidad de los anclajes químicos en campo son de 20cm y de 40cm (valores seleccionados para la comparación de resultados entre ambos).

Se aplicó la fórmula expuesta, considerando la variación de distancia  $\Delta x$  el cual fue una constante para la modelación en Excel. La razón fue porque se quiso analizar la difusividad térmica por cada centímetro de profundidad en las respectivas varillas empleadas. El único dato conocido es el de la difusividad térmica del acero ya especificada, y el resultado esperado fue:

$$\Delta t = \frac{\left(\frac{1 \text{ cm}}{100 \text{ cm}}\right)^2}{2 * 0,000017 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}$$

$$\Delta t = 2,9 \text{ seg} \sim \mathbf{3 \text{ seg}}$$

Con el resultado de la variación de tiempo, se realizó la modelación para las profundidades especificadas (sin considerar el espesor de las placas soldadas en los anclajes). Cada columna en las tablas realizadas en Excel representa un punto de análisis a lo largo de la varilla roscada, y entre cada uno de estos puntos existe 1 centímetro de medida. Esto hace un total de 41 puntos de análisis (donde los 20cm de profundidad ya están considerados). Dentro de los puntos de análisis no se consideró la medida que ocupa el espesor de las placas metálicas.

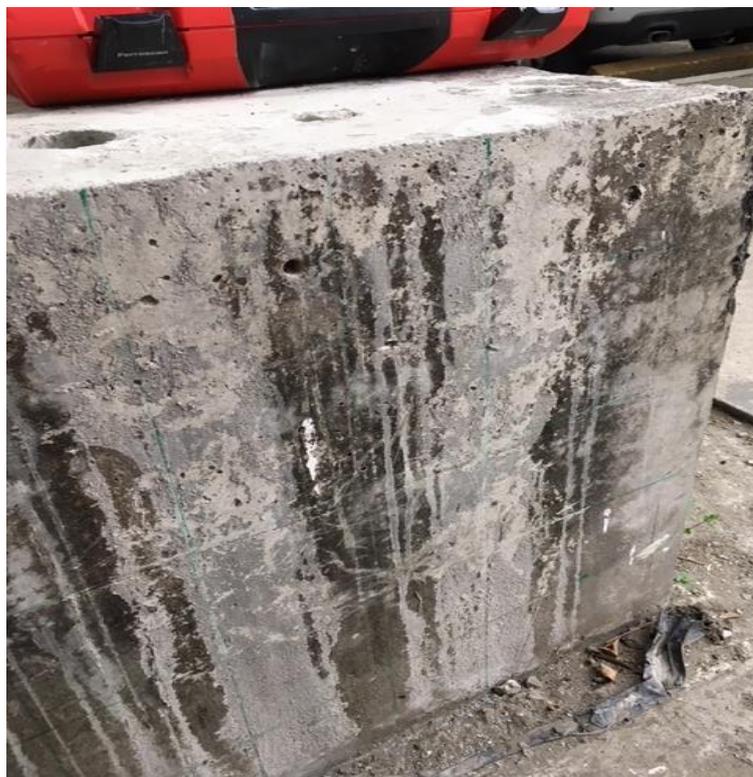
Se tomó en cuenta como valor inicial en el punto de análisis 0 (según las tabulaciones en Excel) 1200 grados centígrados, valor que corresponde al calor que genera el efecto de soldar las placas metálicas a las varillas roscadas. Ese valor de 1200 grados centígrados solo se mantuvo por cierto tiempo, y se redujo a medida que el tiempo avanza.

La modelación solo se la realizó hasta un tiempo de 300 segundos, es decir 5 minutos. Los resultados de la modelación se comparan al final con los resultados obtenidos en campo.

### **3.2 Preparación e instalación de los anclajes químicos**

Lo primero que se realizó fue la preparación del lugar de trabajo. Se trabajó a las afueras del edificio CEINVES, el cual cuenta con un laboratorio para ensayos en hormigón, y con implementos en las afueras.

A las afueras del edificio, hay un macizo de hormigón, en el cual años atrás se han realizado otros trabajos. En dicho macizo se desarrolló este proyecto de investigación y experimentación. El macizo de hormigón cuenta con una dimensión aproximada de 1.00 metros de ancho, 2.5 metros de largo, y de alto 1.00 metros (véase en la *Ilustración 5*).



*Ilustración 5.* Parte del macizo de Hormigón.

**Fuente:** Autor

Lo primero que se realizó fue dibujar en el mismo hormigón, por donde pasa el refuerzo de acero del mismo macizo. Para esto se utilizó una herramienta conocida como el *Ferroskan*, el cual por medio de un sensor detecta la presencia de las varillas de refuerzo.

Para una medición con mayor precisión, se utilizó una base con medidas, para darle una guía al *Ferroskan* en cuanto a dónde debe pasar para detectar el armado del macizo de hormigón (véase la *Ilustración 6*).



**Ilustración 6.** Base con medidas guía para el Ferroskan.

**Fuente:** Autor

Después de detectar el armado en el macizo de hormigón, y de dibujar el mallado en la superficie, se procedió con las perforaciones respectivas. La herramienta usada fue un taladro roto-percutor, como lo indica el Brochure de Sika en el proceso de perforación (véase la *Ilustración 7*).



**Ilustración 7.** Realización de perforaciones con taladro roto-percutor.

**Fuente:** Autor

Se usó una broca de tipo *SDS Max*, de marca *Bosch*, de 20 mm de diámetro, y con 520 mm de largo, los cuales 400 mm son útiles destinados para la profundidad máxima de perforación (véase la *Ilustración 8*).

Se realizó en total 12 perforaciones en el macizo de hormigón, en donde 4 de ellas irían bien cercanas a la superficie superior del macizo, y las 8 perforaciones restantes en la parte inferior del macizo (véase la *Ilustración 9*).

Dichas perforaciones tienen una dimensión de 20mm de diámetro ya que las varillas empleadas en este proyecto son de 16mm de diámetro. La razón es porque al momento de aplicar el epóxico en las perforaciones no se quiere desperdiciar dicho producto, pero tampoco que falte. Por eso se tomó en cuenta el contenido neto que viene en los cartuchos del epóxico Sika AnchorFix 3001, y el volumen total que podría usarse en las perforaciones. La diferencia de 4 mm entre el hueco y la varilla es suficiente para que el epóxico agarre a la varilla y evite que se toque con el hormigón.



**Ilustración 8.** Broca Bosch SDS Max de 20 mm de diámetro.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 9.** Distribución de las perforaciones para los anclajes químicos.

**Fuente:** Autor

La distribución fue de esa manera, para que los ensayos a realizar (tracción), se pudieran lograr con un gato hidráulico, los 4 de arriba para las pruebas de temperatura con la máquina medidora y las termocuplas. Incluso puede apreciarse el dibujo realizado (con marcador verde) por donde pasan las varillas de refuerzo en el macizo de hormigón.

El proceso de perforación se lo realizó en un solo día, aproximadamente en 2 horas. Después de las perforaciones, se realizó la limpieza de las mismas perforaciones, siguiendo el proceso que indica el Brochure de Sika. Esta limpieza, junto con la instalación de los 8 anclajes químicos de la parte inferior del macizo se lo realizó en un solo día, y tomo alrededor de 2 a 2 horas y media.

Finalmente, para concluir con la instalación de todos los anclajes químicos, se procedió con las 4 perforaciones restantes, se requirió de 1 solo día, con aproximadamente 45 minutos para instalarlos. Esta actividad requirió el empleo de indumentaria adecuada

y guantes para las manos, ya que se trabajó con un super adhesivo (véase la *Ilustración 10* y la *Ilustración 11*).



*Ilustración 10.* Finalización de la instalación de los anclajes químicos.

**Fuente:** Autor



*Ilustración 11.* Los últimos 4 anclajes químicos instalados.

**Fuente:** Autor

Todos los procesos que establece el Brochure de Sika han sido seguidos, para poder lograr un sistema de anclajes eficaz y eficiente. Finalizado el proceso de instalación, lo que siguió fue preparar la superficie para las pruebas de temperatura.

La distribución de las varillas fue de la siguiente manera: las de los 4 anclajes superiores, de izquierda a derecha se intercalan las de 33 cm (20 cm de anclaje) primero, seguido las de 50 cm (40 cm de anclaje). En la parte inferior, primero se colocó las de 33 cm, y después las de 50 cm, de la misma forma que en la parte superior (de izquierda a derecha).

Se catalogó las varillas en orden con número, las superiores del 1 al 4 de izquierda a derecha y las de la parte inferior del 1 al 8 de izquierda a derecha. Esto se lo hizo con el fin de registrar los resultados de mediciones y ensayos de manera organizada.

### **3.3 Preparación de superficie para pruebas de temperatura**

Una vez terminada la instalación de los anclajes químicos, se preparó la superficie para las pruebas de temperatura con las termocuplas. Lo primero fue realizar perforaciones en la parte superior del macizo de hormigón, justamente por encima de los 4 anclajes químicos que son destinados para este tipo de prueba. Estas perforaciones fueron realizadas posterior a que se hiciera un trazado con marcador permanente (rojo) de la prolongación de los anclajes químicos. Sirvió de guía para hacer las perforaciones. Dichas perforaciones se las hizo con una separación no tan simétrica entre un punto a otro (véase la *Ilustración 12*).



**Ilustración 12.** Perforaciones realizadas para la medición de temperatura, con las guías respectivas.

**Fuente:** Autor

La razón por la cual las perforaciones no son simétricas con los anclajes de 20cm y con los de 40cm, es porque no se requirió exactitud, bastaba con realizar perforaciones en puntos no tan cercanos y que abarquen buena parte de la profundidad de los anclajes.

El siguiente paso fue limpiar los huecos realizados, se utilizó una aspiradora, con la función de que también puede soplar. La actividad de perforación y limpieza tomo 1 solo día, aproximadamente 2 horas.

Después de la limpieza realizada, se comenzó a preparar las termocuplas para introducirlas en las perforaciones realizadas. Hay que recalcar que las termocuplas empleadas, además de ser tipo K, son blindadas, por el hecho de que aguantan temperaturas altas, así como lo es fundir acero (1200 grados centígrados) junto con placas metálicas.

El cable de termocupla adquirido fue de 10 metros de largo y se cortó en 4 tramos de 2.50 metros cada uno. Esto es porque el número máximo de perforaciones realizadas en los anclajes fue de 4, y de esta manera se distribuyó los 4 tramos para los 4 anclajes químicos (además de que los mismos tramos se reciclan).

Para preparar las termocuplas, se tuvo que cortar parte del blindaje y de los recubrimientos de los dos alambres que conforman las termocuplas, para fundir junto con un producto llamado *Estaño*, los dos alambres y hacerlos uno solo. Ese extremo fundido de las termocuplas es el que se ubicó dentro de las perforaciones.

Del otro extremo de las termocuplas se hizo lo mismo, lo único que se evitó fue la fundición de los dos alambres, ya que esos se conectan en la máquina que registra las temperaturas medidas por las termocuplas.

Inicialmente se intentó fijar el extremo fundido de las termocuplas en las perforaciones con el estaño, pero no se logró una correcta adherencia a la varilla. Se ideó una forma de poder generar esa adherencia, con perforaciones nuevas en la parte donde el acero esta al descubierto (por las perforaciones hechas en el hormigón), empleando un taladro Bosch y una broca de diámetro pequeño (véase la *Ilustración 13*).



**Ilustración 13.** Perforaciones en el acero descubierto.

**Fuente:** Autor

Una vez que se realizó la respectiva perforación en cada uno de los puntos para la medición de temperatura, se requirió comprobar que exista continuidad en el acero, para esto se empleó una herramienta llamada *Multímetro*, el cual mide la continuidad de un material (tanto de la varilla de acero como de los alambres de la termocupla). El *multímetro* cuenta con dos cables, uno de color negro y otro rojo, los cuales se colocan

uno en un extremo de la termocupla (el extremo no fundido), y el otro en la parte de la varilla de acero que sobresale del hormigón (véase la *Ilustración 14*).



***Ilustración 14.*** Multímetro empleado de marca FLUKE.

**Fuente:** Autor

Una vez que se chequeó la continuidad del acero junto con la termocupla, se procedió a fundir estaño en el orificio realizado en el acero descubierto, y mientras se vertió el estaño fundido, dentro del orificio permanecía el extremo de la termocupla que estaba unido. Para la realización de la fundición se empleó una herramienta que expide calor, junto con una pasta, que es el fundente para que el estaño se lleve al estado líquido (véase la *Ilustración 15* y la *Ilustración 16*).



***Ilustración 15.*** Herramienta de calor para fundir.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 16.** Pasta fundente.

**Fuente:** Autor

Esta actividad de adherir las termocuplas a los orificios tomo 1 día (para cada anclaje). Adicionalmente a esta actividad, se buscó que no exista escape de calor por los orificios (al soldarse las placas de acero en las varillas), por esa razón se aplicó lo que se conoce como espuma expansiva o también llamado Sika Boom (véase la *Ilustración 17*).

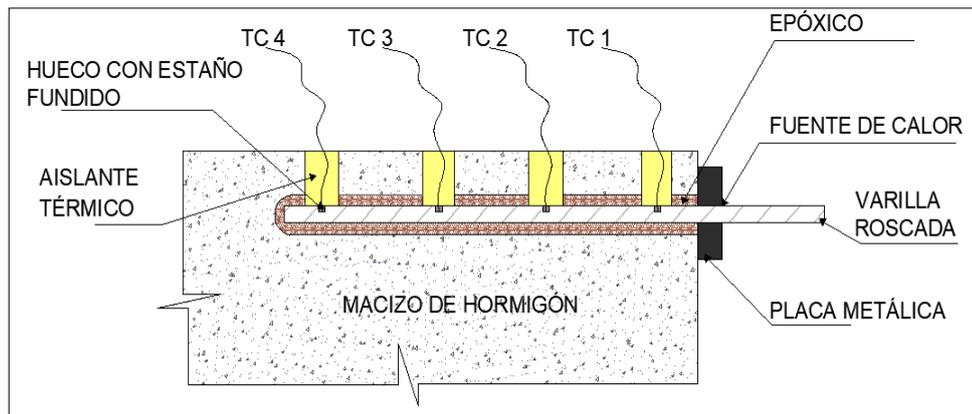
Este producto se lo empleo para el anclaje 1 de la parte de superior del macizo de hormigón, y para los 3 anclajes restantes se usó Silicona transparente. La razón por la cual se usaron dos productos diferentes, es porque el Sika Boom debe emplearse apenas se abre, no sirve para emplearlo de dos a tres veces en diferentes días; mientras que la silicona si se puede reutilizar en diferentes días.

Se realizó un esquema representando las perforaciones realizadas en el hormigón, los huecos realizados en el acero visto (en las varillas), y el relleno realizado en las perforaciones con los dos aislantes térmicos (véase la *Ilustración 18*).



**Ilustración 17.** Espuma Sika Boom.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 18.** Esquema de la superficie lista para las mediciones de temperatura.

**Fuente:** Autor

De acuerdo al esquema expuesto, se enumeraron las termocuplas (TC) de la 1 a la 4 para los anclajes de 40 cm de profundidad, y hasta el 3 para los anclajes de 20 cm de profundidad. La fuente de calor es la zona donde se aplica la soldadura, y lo que se detalla como hueco con estaño es el orificio realizado en el acero visto con la fundición del extremo unido de termocupla donde se dió uso al estaño. La placa metálica debe ir lo más pegado a la superficie o pared del macizo de hormigón, así se logra una mejor aislación térmica o un menor escape de calor en el punto inicial.

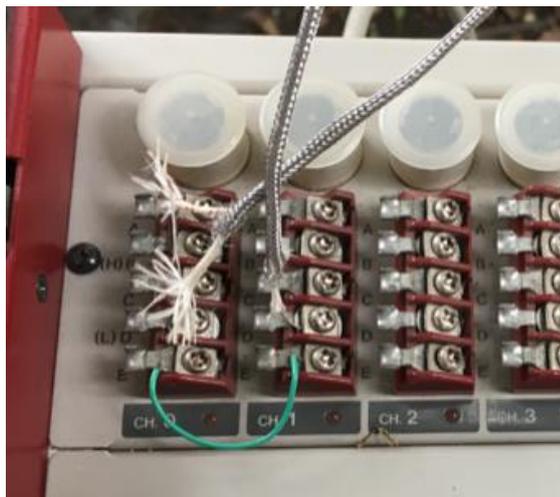
Una vez que se colocó la espuma en el anclaje 1 para temperatura, se procedió a generar la medición de temperatura en la máquina antes descrita llamada *DATA Logger* de marca *TML TDS-303*. Dicha máquina recepta el valor de temperatura que mide la termocupla y los resultados los imprime en un rollo térmico (véase la *Ilustración 19*). Las termocuplas se conectan por unos puertos, los cuales están definidos por letras, donde la letra B es para el alambre con protección color rojo, y la letra D para el de protección color blanco (véase la *Ilustración 20*).

No todas las termocuplas poseen dicha protección de los colores ya descritos, pueden tener otros colores, en este caso la protección de los alambres era por medio de un forro de tela y tiene líneas rojas en un alambre y líneas blancas en el otro.



**Ilustración 19.** Máquina DATA Logger para registrar mediciones de temperatura.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 20.** Termocuplas conectadas en puertos B y D en respectivos canales.

**Fuente:** Autor

Se aprecia que donde va el alambre con la protección de tela con líneas rojas, tiene la letra *H* donde está la letra o puerto B, y el otro (con líneas blancas) va en el puerto con letra D donde está entre paréntesis una *L*. La *H* y *L* significan la alta y baja carga de temperatura que lee la termocupla respectivamente.

Antes de empezar con la medición de la temperatura, se cortó la parte que sobresalió de las varillas en los anclajes, esto con el fin de generar una soldadura entre varilla-placa más eficiente, así realmente el calor llega a la varilla y se puede evaluar la transmisión de calor (véase la *Ilustración 21*).



**Ilustración 21.** Varillas de anclajes químicos para prueba de temperatura cortados.

**Fuente:** Autor

Una vez que el corte de las varillas se realizó, se continuó con la soldada de las placas metálicas, y se dio inicio al registro de temperaturas con el *DATA Logger*. Así como la preparación de las perforaciones y el sellado de las mismas con la silicona y el Sika Boom tomó un día cada una, la medición de temperatura junto con la soldada de las placas duró lo mismo por cada anclaje.

Al finalizarse el proceso de soldar placas y de medir temperaturas, por consiguiente, se cortó la zona de la termocupla adherida a las perforaciones para dejar el espacio de trabajo limpio. Solo quedó el grupo de orificios con su respectivo aislante térmico como son el Sika Boom y la Silicona, junto con las placas soldadas a las varillas (véase la *Ilustración 22*).



*Ilustración 22.* Proceso de soldadura de placas y medición de temperatura terminado.

**Fuente:** Autor

Realizada la medición de temperatura con los 4 anclajes superiores, se continuó con los ensayos a tracción en los 8 anclajes inferiores, pero se consideró la siguiente enumeración: del anclaje 1 al 4 de los 8 inferiores simulan tener una placa soldada, mientras que del anclaje 5 al 8 no se generó soldadura; todo con el fin de generar comparaciones entre ambos mecanismos.

### **3.4 Ensayos a tracción para los anclajes químicos**

Para finalizar la parte experimental de este proyecto, lo que se hizo fue usar un gato hidráulico, junto a una máquina que aplica la fuerza para los ensayos a tracción. Previo a realizar los ensayos, se simuló la soldadura en los anclajes del 1 al 4 como ya se describió, y el proceso fue el siguiente:

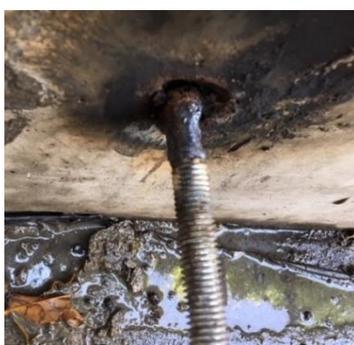
1. Primero se cortó parte de los tramos de varillas que sobresalían.
2. Después se hizo con una moladora un diseño de cono (lápiz), en los extremos del pedazo de varilla cortado.

3. Se empezó con la soldadura de los pedazos cortados con su diseño de lápiz, con los tramos de varilla que permanecían anclados al hormigón (véase la *Ilustración 23* y la *Ilustración 24*).



***Ilustración 23.*** Proceso de soldadura de los tramos cortados de las varillas de los anclajes químicos.

**Fuente:** Autor



***Ilustración 24.*** Anclaje químico con tramo soldado.

**Fuente:** Autor

Finalizado el proceso de simulación de soldadura, se dió inicio a los ensayos a tracción en cada uno de los 8 anclajes químicos (2 grupos de 4 anclajes).

El gato hidráulico empleado tiene una capacidad en fuerza de hasta máximo 60 toneladas (véase la *Ilustración 25*). Además de eso se empleó una máquina de marca *Power Team RH606 modelo B* (con un manómetro), la cual ejerce la fuerza y cuenta también con sus características y limitantes en capacidad (véase la *Ilustración 26*).



**Ilustración 25.** Gato Hidráulico Power Team de 60 Ton.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 26.** Máquina Power Team que ejerce la fuerza para el funcionamiento del Gato hidráulico.

**Fuente:** Autor

*Nota: No se emplearon las placas metálicas en los anclajes del 1 al 4 de la parte inferior, por la sencilla razón de que el gato hidráulico cuenta con un disco metálico en la parte inferior, el cual ya se apoya en el hormigón. Si se hubieran usado las placas, el ensayo a tracción no hubiera sido correcto ya que el gato estaría aguantando la placa soldada y no se medía la resistencia real del anclaje con la soldadura. Por eso se realizó la simulación de soldadura de placas ya descrita.*

Adicionalmente, para poder realizar los ensayos, se tuvo que adecuar una varilla de acero de transmisión lisa, de 32 mm de diámetro (lo que calzaba para el hueco que tiene el gato). Una de las adecuaciones, fue la de hacer un hueco con hilos para que justamente las varillas de los anclajes calcen y se agarre del hueco. El hueco se lo hizo de 5cm de profundidad, y además se le hizo rosca en la cara opuesta de donde se hizo el hueco, de 12 cm de largo para que entre la tuerca y el anillo plano respectivo (véase la *Ilustración 27* y la *Ilustración 28*).



***Ilustración 27.*** Varilla de 32 mm con rosca de 12 cm de largo.

**Fuente:** Autor



***Ilustración 28.*** Hueco de 5 cm de largo con hilos para varillas de 16 mm.

**Fuente:** Autor

Una vez que la varilla de transmisión quedó lista, se dió inicio a los ensayos de tracción, en donde todo el entorno de trabajo se lo adecuó para que el funcionamiento del gato sea eficiente (véase la *Ilustración 29*).



**Ilustración 29.** Nivelación del gato y ubicación de la máquina que ejerce fuerza.

**Fuente:** Autor

Debajo del gato se empleó una canasta y las placas metálicas restantes no usadas en la soldadura. La idea, era lograr que el hueco del gato hidráulico este centrado con respecto al eje de la varilla de transmisión, la cual ya está agarrada a las varillas de los anclajes. Al final se puso el anillo plano y la tuerca, para que el gato empuje por medio de un pistón el sistema de varilla-tuerca-anillo, ya apoyado en el hormigón (véase la *Ilustración 30*).



**Ilustración 30.** Sistema varilla-tuerca-anillo empujado por el pistón del gato hidráulico.

**Fuente:** Autor

Los ensayos se los realizó con la debida supervisión de la medida que marcaba el medidor de la máquina, la cual marcó los valores de fuerza o presión en psi (libras por pulgadas cuadradas). Se retiraron todas las varillas de los anclajes, y la forma de fallo

del grupo de varillas soldadas fue diferente al grupo de varillas no soldadas (véase la *Ilustración 31* y la *Ilustración 32*).



***Ilustración 31.*** Varillas ensayadas con soldadura.

**Fuente:** Autor



***Ilustración 32.*** Varillas sin soldar ensayadas.

**Fuente:** Autor

Una vez terminados los ensayos a tracción de los 8 anclajes químicos de la parte inferior del macizo de hormigón, por seguridad, se cortaron los tramos de cada varilla que permanecían adheridas al hormigón, de manera que quedan al ras de la superficie

de hormigón y así no lastimará a la gente que pase por esa zona (véase la *Ilustración 33* y la *Ilustración 34*).



*Ilustración 33.* Grupo de varillas soldadas pulidas.

**Fuente:** Autor



*Ilustración 34.* Grupo de varillas sin soldar, pulidas.

**Fuente:** Autor

Finalizado el proceso experimental del proyecto, se procedió a analizar los resultados obtenidos por cada grupo de pruebas: las de temperatura y los ensayos a tracción realizados en los anclajes químicos inferiores del macizo de hormigón.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANALISIS

Este proyecto de investigación permitió obtener dos tipos de resultados: los correspondientes a las mediciones de temperatura, y a los ensayos a tracción realizados en los anclajes químicos.

### 4.1 Análisis de resultados de temperatura

En primer lugar, como ya se mencionó, para estos ensayos se empleó placas metálicas. Las dimensiones de dichas placas son de 12 cm x 12 cm de sección, y de 2.5 cm de espesor que a su vez tenían un hueco en el medio en la sección (2 cm de diámetro).

Una vez medida la temperatura en cada punto de cada anclaje (para los de 20 cm de profundidad 3 puntos y para los de 40 cm de profundidad 4 puntos), se registraron dichos valores en la pantalla del DATA Logger (véase la *Ilustración 35*). Los valores, a medida que el tiempo corrió y a las placas se les aplicó soldadura, subían y así de a poco, de punto en punto aumentó la temperatura.

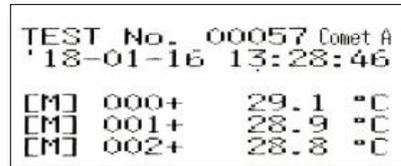


**Ilustración 35.** Lectura de temperaturas en 4 puntos (anclaje de 40cm Prof.)

**Fuente:** Autor

Como se aprecia, la máquina lee las temperaturas en grados centígrados y con un solo decimal. Estas dos cosas se las define en el DATA Logger, según el manual de uso que posee la misma. También se definió el tipo de termocupla empleada, en este caso fue el tipo K, y en la maquina se usó el número 21 como nombre para el tipo de termocupla especificado (otros números hacen referencia a otros tipos de termocupla).

Todos los valores ya registrados se ilustran en el rollo térmico, el cual está dentro del DATA Logger. Los valores que se imprimen son los mismos que salen en la pantalla, simplemente que tienen una distinta presentación (véase la *Ilustración 36*).

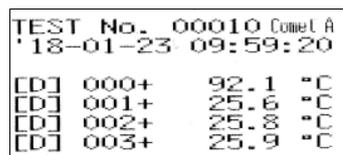


TEST No.	00057	Comet A
'18-01-16	13:28:46	
[M] 000+	29.1	°C
[M] 001+	28.9	°C
[M] 002+	28.8	°C

**Ilustración 36.** Formato de registro de temperaturas en el rollo térmico.

**Fuente:** Autor

En la parte superior se indica el número de prueba que se analiza, en el costado izquierdo la letra M significa *measure*, es decir que mide temperatura, así mismo pudo aparecer la letra D que significa *direct*, es decir medición directa. Al lado de la letra M se indica el número de canales o puertos que se analizan. En este caso se ilustran 3 canales, quiere decir que este es un modelo para las pruebas desarrolladas en los anclajes de 20 cm de profundidad con tres puntos de medición, siendo el canal 000 correspondiente al punto donde se ubica la TC1. Para los de 40 cm de profundidad se tiene un cuarto canal numerado como 003 (véase la *Ilustración 37*), el cual corresponde al último punto de medición donde se ubica la TC4.



TEST No.	00010	Comet A
'18-01-23	09:59:20	
[D] 000+	92.1	°C
[D] 001+	25.6	°C
[D] 002+	25.8	°C
[D] 003+	25.9	°C

**Ilustración 37.** Formato de resultados para los anclajes de 4 puntos (40cm de Prof.).

**Fuente:** Autor

Los números con 1 decimal indican la temperatura que se mide inicialmente sin soldar, y deben marcar entre 25-29 grados centígrados ya que es la temperatura ambiente (inalterada). En este caso se aprecia un valor de 92.1 °C, el cual indica que en ese momento empezó el proceso de soldadura de la placa metálica. Abajo del número de prueba se indica finalmente la fecha y la hora a la que se hizo la prueba. Todos los

resultados de temperatura para cada anclaje están en el apartado de ANEXOS (véase la *Ilustración 52* a la *59*).

Como ciertas consideraciones están: las distancias de los huecos (de centro a centro) de medición con respecto al punto de aplicación de calor (fuente de calor) y el tiempo que se tomó en el proceso de soldadura de las placas en los anclajes químicos. Según la Tabla 4 se toman en cuenta las consideraciones ya descritas para cada anclaje, así como las respectivas profundidades y enumeraciones ya descritas.

**Tabla 4.** Resultados y consideraciones tomadas en las pruebas de temperatura.

Anclajes químicos	Prof. (cm)	Distancias de los huecos (cm)	Máxima temperatura (°C)	Tiempo del proceso de soldadura (min)
1	20	4.5, 10.7 y 19	244.6	2.5 min aprox.
2	40	5.3, 15.8, 28.6 y 41.3	162	3 min aprox.
3	20	4.5, 13.3 y 21.3	149.9	3 min aprox.
4	40	5, 19.3, 28 y 37.6	128.6	3 min aprox.

**Fuente:** Autor

En la columna de distancias, las medidas anotadas están en un orden tomando como referencia el punto de aplicación de calor considerando el primer hueco como el que está al borde, eso quiere decir que es el primer número anotado en la tabla (además de considerar en esas distancias el espesor de 2.5 cm de la placa soldada en cada anclaje). Se puede apreciar que los tiempos de duración del proceso de soldadura son similares, pero las temperaturas máximas registradas no, esto se debe a que las distancias entre ejes de cada anclaje no son idénticas. También se debe al no existir un contacto total entre las placas con el hormigón y como consecuencia fuga de calor (cosa que ocurrió en el trabajo de campo). La razón por la cual se presentaron dichos sucesos, es porque el hormigón en todas sus paredes no es totalmente regular (recto).

Finalmente, con todos los resultados y las consideraciones tomadas, se comparó con los valores de temperatura registrados en tabulaciones de Excel correspondientes al modelo numérico-matemático que se encuentra en el apartado ANEXOS (véase la *Ilustración 60*).

## 4.2 Comparación entre resultados en campo y la modelación

Para comparar ambos resultados, se requiere analizar por medio de una tabulación, lo similar y diferente; mostrado en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Comparación de resultados entre mediciones de campo y modelación.

Tipo de medición	Similitudes	Diferencias
<i>CAMPO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Así como en el campo, a medida que en el primer punto subía la temperatura, así mismo, suben las temperaturas en el modelo a medida que el tiempo pasa.</li> <li>○ Mientras el tiempo pasa y se deja de aplicar calor la temperatura se va reduciendo, pero en el primer punto de análisis de temperatura va incrementando un poco la temperatura, y esto se debe a la transferencia de calor en el acero; así mismo pasa en el modelo, por cada centímetro va aumentando la temperatura mientras se enfría el punto donde se aplicó el calor (soldadura).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los valores de temperatura son menores, ya que la manera en cómo decrece la temperatura en el punto de aplicación de calor no es la misma que la adoptada en el modelo.</li> <li>○ El tiempo de análisis fue diferente que en el modelo (menos prolongado).</li> </ul>
<i>MODELACIÓN</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ A mayor profundidad del anclaje menor es la magnitud de la temperatura, ya que la transferencia es baja en tramos finales del anclaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los valores de temperatura son mayores.</li> <li>○ El tiempo de análisis fue de 300 segundos (5 min), por ende, fue más prolongado.</li> </ul>

**Fuente:** Autor

No solo se generó comparaciones por medio de una tabla descriptiva, también se hizo por medio de tabulaciones correspondientes a los resultados obtenidos e impresos en

el rollo térmico, donde se indican intervalos de tiempo no constantes con la respectiva lectura de temperatura. Según los resultados de la medición de temperatura, solo los dos primeros canales (000 y 001) tanto para los anclajes de 20 cm como para los de 40 cm, se tabulan. Estos dos canales son los que registran la variación notable de temperatura. Las tabulaciones se comparan con los valores de temperatura del modelo. Se finalizó con la realización de diagramas de Temperatura vs. Tiempo, para cada anclaje. Se consideró una nomenclatura de M1 y M2 para los dos puntos analizados en el modelo más semejantes a las medidas de los puntos de análisis en campo. En la Tabla 6 y en la Tabla 7 se aprecia lo antes descrito:

**Tabla 6.** *Tabulación de resultados de temperatura para anclaje 1.*

<b>ANCLAJE 20 CM</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>TC1 (4,5 cm)</b>	<b>TC2 (10,7 cm)</b>
<b>0</b>	28,9	28,6
<b>21</b>	41,5	29
<b>26</b>	50	29
<b>29</b>	58,7	29
<b>32</b>	66,9	29
<b>36</b>	76,8	29
<b>40</b>	87,3	29
<b>43</b>	95,5	29,3
<b>48</b>	107	29,7
<b>53</b>	124,4	29,2
<b>60</b>	143,4	29,5
<b>69</b>	164,5	30,1
<b>77</b>	184,7	30,8
<b>82</b>	201,5	31,4
<b>105</b>	229,3	34,4
<b>115</b>	240,1	35,7
<b>126</b>	244,6	37,8
<b>137</b>	241,4	39,7
<b>174</b>	235	45,3
<b>222</b>	230	51,3
<b>283</b>	180,5	55,7
<b>306</b>	163,1	56,1
<b>353</b>	132,7	55,6
<b>414</b>	102,1	50,4

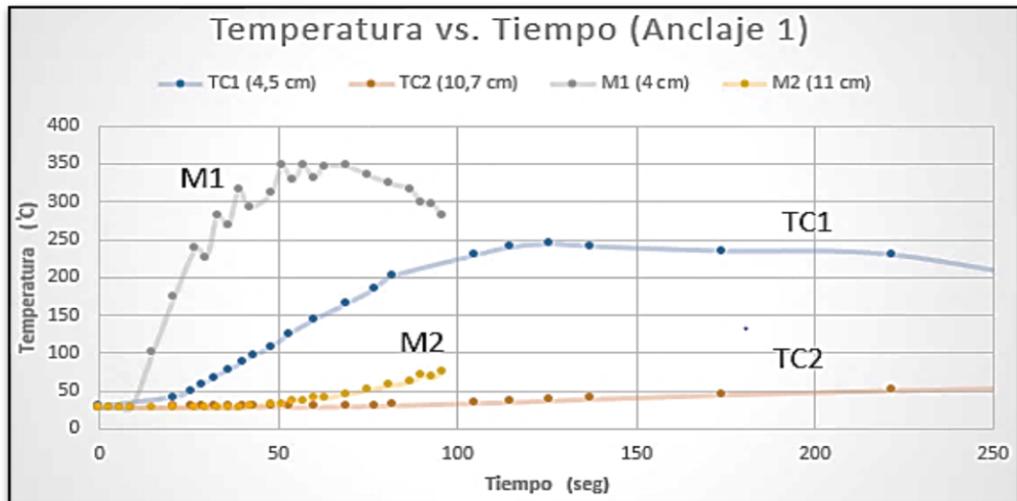
**Fuente:** Autor

**Tabla 7.** Resultados correspondientes al modelo realizado con los puntos semejantes a los medidos en campo (anclaje 1).

Tiempo (seg)	MODELO	
	Temp. °C	
	M1 (4 cm)	M2 (11 cm)
0	28,00	28,00
3	28,00	28,00
6	28,00	28,00
9	28,00	28,00
15	101,25	28,00
21	174,50	28,00
27	238,59	28,00
30	226,09	28,00
33	281,03	28,00
36	268,53	28,57
39	315,74	28,57
42	292,31	30,15
48	311,35	32,90
51	347,15	32,80
54	328,16	36,74
57	347,27	36,47
60	330,92	41,48
63	346,58	40,92
69	346,74	45,93
75	335,32	51,35
81	324,61	56,95
87	315,96	62,58
90	297,88	70,40
93	296,70	68,03
96	280,79	75,94

**Fuente:** Autor

Como se aprecia solo se analiza la medición generada por las termocuplas TC1 y TC2. Los valores del M1 y M2 se toman del modelo, lo único que no se consideró fue que de toda la gama de valores ciertos se eliminaron por ser repetidos, y del tiempo analizado para abajo no se tomó en cuenta los valores siguientes. Finalmente se ingresaron los valores en una gráfica, la cual no se analizó todo el tiempo tomado en las pruebas en campo ya que las curvas no se apreciaban del todo al comienzo (véase la *Ilustración 38*).



**Ilustración 38.** Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el anclaje 1 de 20 cm de Prof.

**Fuente:** Autor

Se aprecia un comportamiento similar entre la curva TC1 y TC2, solo que con lecturas de temperatura diferentes. Se ve una similitud entre todas las curvas, y hace referencia a que en todas existe un aumento de temperatura. No se aprecian en las curvas TC2 y M2 el decaimiento de la temperatura, pero eso es porque después que la temperatura llega a tu tope, decrece. Se continúa con las tabulaciones respectivas para el anclaje 2 de 40 cm de profundidad, dichos valores están en las Tablas 8 y 9, acompañadas de su respectiva gráfica comparativa (véase la *Ilustración 39*).

**Tabla 8.** Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 2.

ANCLAJE DE 40 CM		
Tiempo (seg)	Temp. °C	
	TC1 (5,3 cm)	TC2 (15,8 cm)
0	24	25,6
55	27,1	25,4
64	40,7	25,4
70	60,6	25,6
77	82,3	25,6
81	92,1	25,6
91	113,5	25,8
100	131,7	25,7
117	149,6	25,6
160	162,2	26
185	141,4	26,4
234	148,5	27,6

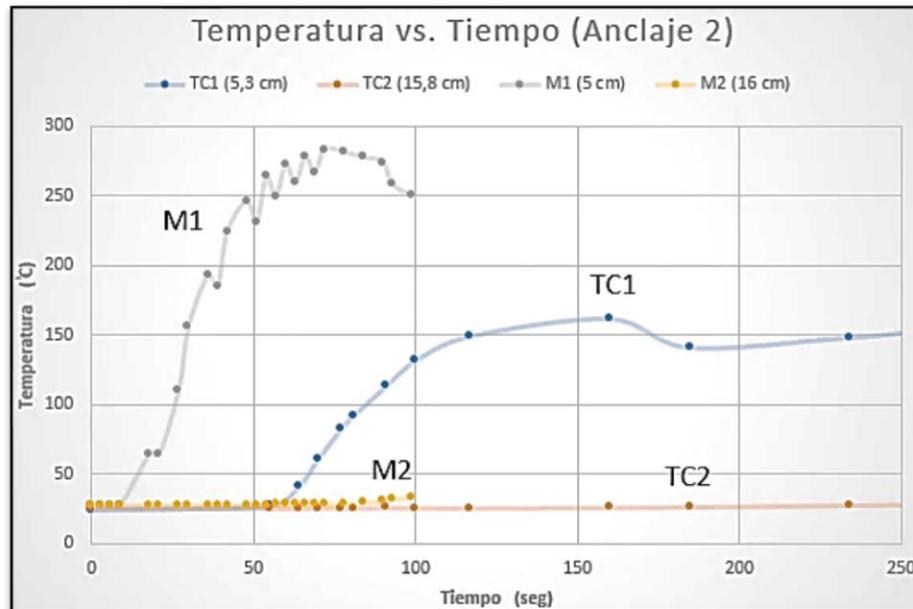
<b>ANCLAJE DE 40 CM</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>TC1 (5,3 cm)</b>	<b>TC2 (15,8 cm)</b>
<b>285</b>	154,7	28,7
<b>349</b>	122,6	29,8
<b>462</b>	99,9	30,8
<b>651</b>	89,4	30,9
<b>790</b>	84,2	30,7

**Fuente:** Autor

**Tabla 9.** Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 2).

<b>MODELO</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>M1 (5 cm)</b>	<b>M2 (16 cm)</b>
<b>0</b>	28,00	28,00
<b>3</b>	28,00	28,00
<b>6</b>	28,00	28,00
<b>9</b>	28,00	28,00
<b>18</b>	64,63	28,00
<b>21</b>	64,63	28,00
<b>27</b>	110,41	28,00
<b>30</b>	156,19	28,00
<b>36</b>	192,86	28,00
<b>39</b>	185,04	28,00
<b>42</b>	224,39	28,00
<b>48</b>	246,13	28,00
<b>51</b>	230,99	28,02
<b>54</b>	263,54	28,02
<b>57</b>	249,01	28,09
<b>60</b>	272,40	28,09
<b>63</b>	258,97	28,26
<b>66</b>	278,23	28,26
<b>69</b>	265,97	28,57
<b>72</b>	282,97	28,56
<b>78</b>	281,07	29,02
<b>84</b>	277,45	29,66
<b>90</b>	273,76	30,49
<b>93</b>	257,92	31,67
<b>99</b>	249,73	32,92

**Fuente:** Autor



**Ilustración 39.** Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el anclaje 2 de 40 cm de Prof.

**Fuente:** Autor

En la gráfica se logra apreciar como el comportamiento de la curva TC2 con la M2 son muy similares, incluso en el aspecto del incremento de temperatura; es lento y progresivo. No se alcanza a ver el decrecimiento de temperatura, porque las lecturas obtenidas de la prueba de temperatura abarcan demasiados segundos, y el tiempo considerado de análisis para el modelo en esta comparación fue para los primeros 100 segundos, porque la gama de valores en el tiempo de 300 segundos en el cual se evaluó el modelo son demasiados (este aspecto aplica para todas las tabulaciones y gráficas realizadas). La idea era generar una representación aceptable de como la temperatura cambia en base al tiempo que transcurre.

En las curvas TC1 y M1 se aprecia como en ambas se llega al tope de temperatura y empieza a decrecer, muy similar a como ocurrió en la gráfica para el anclaje 1. La razón por la cual existe un pequeño incremento en temperatura en la curva TC1 después de disminuir, es porque el DATA Logger es sensible, y mientras la prueba de temperatura se ejecutó, los saltos de temperatura ocurren.

Los resultados tabulados que continúan son los del anclaje 3 de 20 cm de profundidad, mostrados en las Tablas 10 y 11, con su respectiva gráfica comparativa (véase la *Ilustración 40*).

**Tabla 10.** *Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 3.*

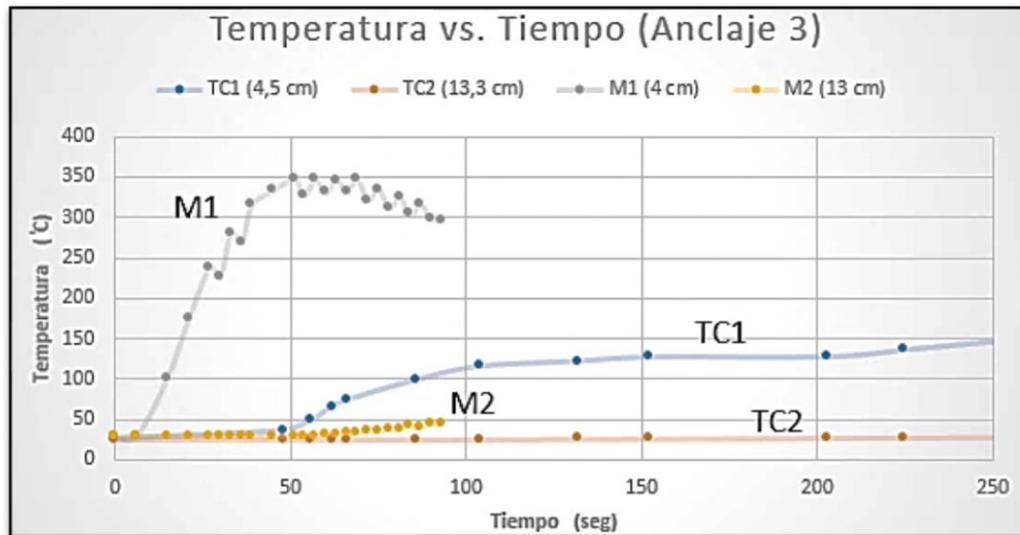
<b>ANCLAJE 20 CM</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>TC1 (4,5 cm)</b>	<b>TC2 (13,3 cm)</b>
<b>0</b>	25,7	25,3
<b>48</b>	36,1	25,5
<b>56</b>	49,3	25,3
<b>62</b>	65,9	25,3
<b>66</b>	73,6	25,2
<b>86</b>	99	25,3
<b>104</b>	115,5	25,4
<b>132</b>	122	25,8
<b>152</b>	126,9	26,1
<b>203</b>	127,2	27,3
<b>225</b>	135,8	27,7
<b>251</b>	146,3	28,3
<b>270</b>	149,9	28,6
<b>289</b>	145,7	29
<b>337</b>	123	29,9

**Fuente:** Autor**Tabla 11.** *Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 3).*

<b>MODELO</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>M1 (4 cm)</b>	<b>M2 (13 cm)</b>
<b>0</b>	28,00	28,00
<b>6</b>	28,00	28,00
<b>15</b>	101,25	28,00
<b>21</b>	174,50	28,00
<b>27</b>	238,59	28,00
<b>30</b>	226,09	28,00
<b>33</b>	281,03	28,00
<b>36</b>	268,53	28,00
<b>39</b>	315,74	28,00
<b>45</b>	333,22	28,14
<b>51</b>	347,15	28,61
<b>54</b>	328,16	29,54
<b>57</b>	347,27	29,51
<b>60</b>	330,92	31,00
<b>63</b>	346,58	30,92
<b>66</b>	332,41	32,99
<b>69</b>	346,74	32,80

MODELO		
Tiempo (seg)	Temp. °C	
	M1 (4 cm)	M2 (13 cm)
72	321,87	35,46
75	335,32	35,13
78	311,91	38,35
81	324,61	37,83
84	303,97	41,54
87	315,96	40,84
90	297,88	44,96
93	296,70	44,05

**Fuente:** Autor



**Ilustración 40.** Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el Anclaje 3 de 20 cm de Prof.

**Fuente:** Autor

En este caso, las curvas TC1 y M1 no se parecen mucho, pero la tendencia en aumento de temperatura se mantiene. No se aprecia el pico de la máxima temperatura en la curva TC1, mientras que en la M1 se aprecia claramente, incluso se logra ver la disminución de temperatura. La razón por la cual no se llega al pico de temperatura en la curva TC1 en comparación con las demás curvas TC1 de las gráficas anteriores, es porque en la prueba en campo, la soldadura se acabó y se necesitó una pequeña pausa para reanudar el proceso. Las curvas TC2 y M2 siguen con las mismas similitudes que en las gráficas anteriores (anclajes 1 y 2), en cuanto al pequeño aumento de temperatura a lo largo del tiempo, esto es porque ambos puntos de análisis son más lejanos que los primeros puntos de análisis (se ubican a mayor distancia).

Finalmente se tabulan los resultados de pruebas de temperatura y de modelación del anclaje 4 de 40 cm de profundidad en las Tablas 12 y 13, con la respectiva grafica comparativa (véase la *Ilustración 41*).

**Tabla 12.** *Tabulación de los resultados de temperatura del anclaje 4.*

<b>ANCLAJE DE 40 CM</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>TC1 (5 cm)</b>	<b>TC2 (19,3 cm)</b>
<b>0</b>	27	26,3
<b>18</b>	28,7	26,4
<b>30</b>	28,2	26,3
<b>128</b>	31	26,3
<b>145</b>	31,9	26,3
<b>155</b>	38,9	26,3
<b>167</b>	53	26,2
<b>178</b>	67	26,2
<b>189</b>	81,4	26,3
<b>199</b>	88,5	26,4
<b>215</b>	99,5	26,5
<b>234</b>	109	26,6
<b>274</b>	125,4	26,1
<b>348</b>	128,6	26,6
<b>380</b>	120,1	26,8
<b>449</b>	116,5	26,8
<b>532</b>	91,8	27,1

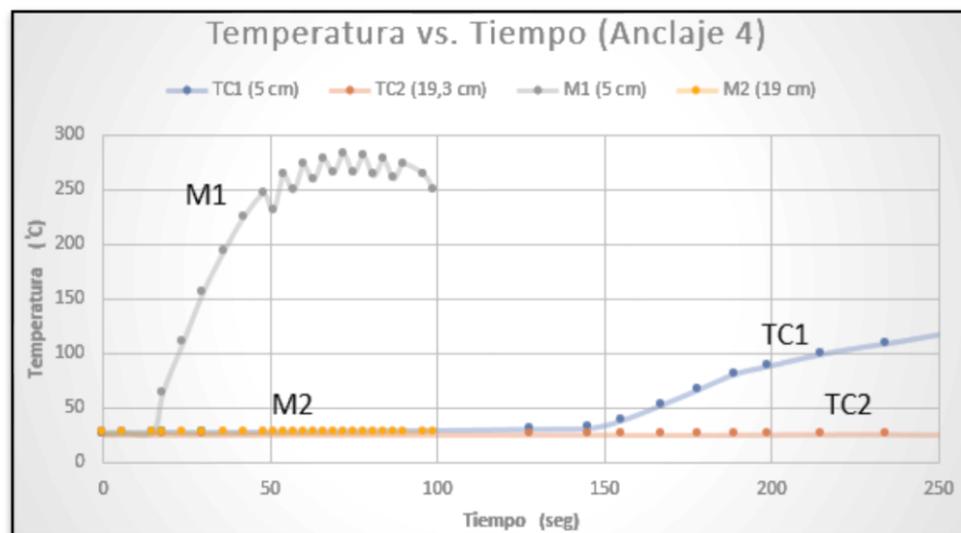
**Fuente:** Autor

**Tabla 13.** *Resultados correspondientes al modelo para los puntos de análisis similares a los medidos en campo (anclaje 4).*

<b>MODELO</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>M1 (5 cm)</b>	<b>M2 (19 cm)</b>
<b>0</b>	28,00	28,00
<b>6</b>	28,00	28,00
<b>15</b>	28,00	28,00
<b>18</b>	64,63	28,00
<b>24</b>	110,41	28,00
<b>30</b>	156,19	28,00
<b>36</b>	192,86	28,00

<b>MODELO</b>		
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temp. °C</b>	
	<b>M1 (5 cm)</b>	<b>M2 (19 cm)</b>
42	224,39	28,00
48	246,13	28,00
51	230,99	28,00
54	263,54	28,00
57	249,01	28,00
60	272,40	28,00
63	258,97	28,00
66	278,23	28,01
69	265,97	28,01
72	282,97	28,04
75	265,56	28,04
78	281,07	28,10
81	263,08	28,10
84	277,45	28,21
87	260,34	28,20
90	273,76	28,37
96	264,27	28,61
99	249,73	28,58

**Fuente:** Autor



**Ilustración 41.** Gráfica de Temp. vs. Tiempo para el Anclaje 4 de 40 cm de Prof.

**Fuente:** Autor

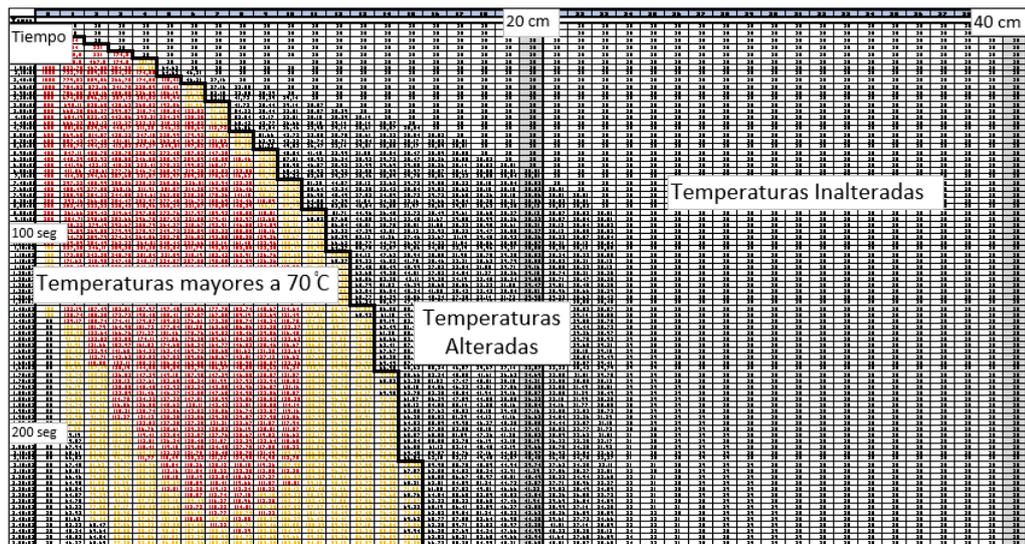
En este caso se observa un comportamiento diferente de manera general, en las pruebas de TC1 y TC2 después de 120 segundos aproximadamente es que se aprecia un

incremento de la temperatura, en los demás casos era de manera más temprana. La razón es sencilla, y es porque al soldar las placas, la constancia de la aplicación de la misma no existió al principio; pero aun así se aprecia claramente el aumento de temperatura después del tiempo ya mencionado. Entre las curvas TC1 y M1 no hay mucha semejanza en el tramo analizado, pero el principio de reducción de temperatura después de que se llegue al tope se mantiene en la curva M1 y si ocurre en la TC1. Es por razones de apreciación en la gráfica que no se tomó un intervalo de tiempo mayor para apreciar dicha disminución de temperatura en el punto de análisis TC1.

Entre las curvas TC2 y M2 la semejanza es igual a la que existe en las demás gráficas, claro que en este caso se aprecia menos el aumento de la temperatura. Esto es porque en la prueba de temperatura los resultados fueron variando poco en un lapso de tiempo muy largo. El aumento de temperatura existe, pero es pequeño para el lapso de tiempo analizado en las tabulaciones. Lo que se si se aprecia en todas las gráficas expuestas, es que entre las curvas TC1 y TC2 hay una similitud en cuanto al tiempo de análisis, y la diferencia es que la curva TC2 está por debajo de la TC1 por la sencilla razón de que el punto de análisis es más lejano (se repite el concepto en M1 y M2).

Entre las gráficas para el anclaje 1 y 3 tienen un parecido en lo que respecta a la tendencia de cada curva, así mismo entre las gráficas de los anclajes 2 y 4. Esto se debe a que ambas parejas tienen casi la misma profundidad de análisis.

Finalmente, el modelo realizado tiene dos partes, una donde se aprecia la variación de temperatura, y la otra donde se mantiene la temperatura base de 28 grados centígrados (véase la *Ilustración 42*).



**Ilustración 42.** Esquema de lo que muestra el modelo Numérico-Matemático.

**Fuente:** Autor

Lo que muestra el esquema expuesto son tres zonas, la una con el cambio o elevación drástica de temperatura que supera los 70 grados centígrados (color amarillo), y que también supera los 110 grados centígrados (color rojo). Las otras dos zonas con los números negros son: la de la parte derecha las temperaturas inalteradas o ambientes (28 grados centígrados), y la central con temperaturas alteradas (mayores a 28 °C, pero menores a 70 °C).

En la primera fila se ilustran las dos profundidades de los anclajes, en la primera columna los intervalos de tiempos de 100 y 200 segundos (llega hasta 300 como ya se mencionó).

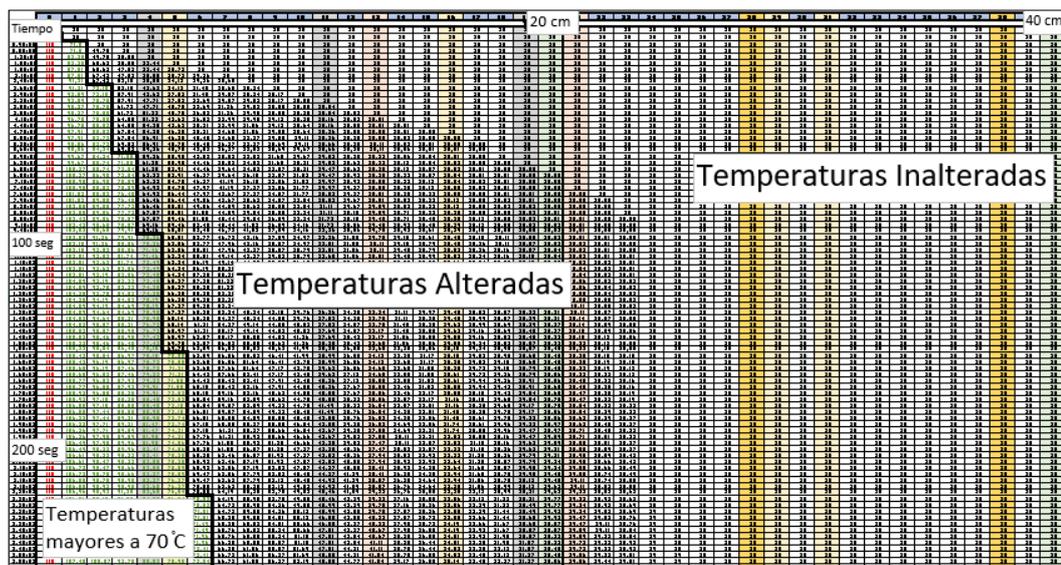
Adicionalmente se realizó otra modelación de temperatura, pero en este caso con una temperatura inicial en el punto de partida de 115 °C. Esta temperatura proviene de una de las pruebas ya realizadas en uno de los anclajes, donde después de terminar de soldar, la temperatura que quedó en la placa fue la antes descrita (ya después de soldar y que se paró de registrar los cambios de temperatura en el DATA Logger).

El modelo realizado con la temperatura de 115 °C es muy similar en cuanto al esquema del modelo con 1200 °C, lo que cambia son las variaciones y magnitudes en temperatura. Si se compara con las mediciones realizadas en campo, el modelo nuevo

se parece mucho, haciendo hincapié en los puntos de análisis de las perforaciones hechas en cada anclaje, y señalando en el modelo las columnas de celdas que corresponden a las medidas en cm de cada punto de análisis en campo redondeados (más semejantes).

*Nota: Los valores de temperatura no son idénticos, tanto en el modelo nuevo como los registrados en campo, pero al ser similares, lo que indica es que efectivamente el modelo numérico-matemático resultó ser una herramienta muy práctica, para así poder conocer a que se enfrenta un ingeniero cuando realiza ensayos o pruebas de campo.*

El esquema del modelo nuevo realizado es similar al del modelo realizado con la temperatura de 1200 °C (véase la Ilustración 43). Dicho esquema presenta los mismos límites en profundidad y en lapso de tiempo, con una división de zonas muy similar.



**Ilustración 43.** Esquema de lo que muestra el modelo Numérico-Matemático para 115 grados centígrados.

**Fuente:** Autor

Se observa ciertas columnas de colores distintos, justamente para identificar el punto de análisis redondeado semejante a los puntos de análisis medidos en campo. Inicialmente se establecieron 41 puntos de análisis considerando el punto 0 (fuente de calor), pero una de las distancias analizadas en el anclaje 2 de 40 cm de profundidad

fue mayor a 40 cm. Debió existir un par de puntos de análisis adicionales, pero no fue necesario ya que la influencia de temperatura notable es la que existe en los primeros 21 puntos de análisis (hasta donde está marcado en el esquema con 20 cm).

En los dos esquemas de modelos realizados existe una especie de escalera que divide la zona de temperaturas mayores a 70 °C con las temperaturas que son menores a la antes señalada. En este caso de color verde se representan las temperaturas superiores a 70 °C y de color rojo las mayores a 110 °C. La idea es mostrar la forma en como a medida que los primeros puntos de análisis se enfrían mientras el tiempo pasa, en los puntos siguientes existe un incremento de temperatura, hasta un punto en el que ya el calor no se transfiere hasta el fondo del anclaje.

El modelo nuevo también se encuentra en el apartado Anexos (véase la *Ilustración 61*), junto con las pruebas realizadas y registradas en papel térmico de las temperaturas. Los modelos anexados solo se muestran hasta el intervalo de tiempo analizado en las tabulaciones, el cual es de 100 segundos.

### **4.3 Análisis de resultados de los ensayos a tracción**

Para el análisis de los resultados a tracción realizados en los anclajes químicos, primero que todo se realizó una prueba a tracción de una muestra de varilla de 16 mm rosca, de 1 metro de largo. Para este ensayo el edificio Ceinves cuenta con un laboratorio donde se realizan pruebas a tracción y compresión en varillas de acero y hormigón.

Para el ensayo a tracción, se empleó una maquina especializada para ese tipo de ensayos de marca Controls, de Milano-Italia (véase la *Ilustración 44*).

El modelo de la maquina es C 810/CZ, y la capacidad máxima de fuerza de la maquina es de 1000 KN (kilo-newtons). Para empezar con el ensayo se debió hacer un cambio de mordazas y puntos de apoyo para la varilla de 16 mm, esto se debe a que para cada diámetro o para una gama de diámetros hay diversas mordazas o adaptaciones para agarrar dichas varillas.

Una vez acomodada la varilla en la máquina, a la altura y posición que se debe se procede con el ensayo a tracción (véase la *Ilustración 45*).



***Ilustración 44.*** Máquina para ensayos a tracción CONTROLS.

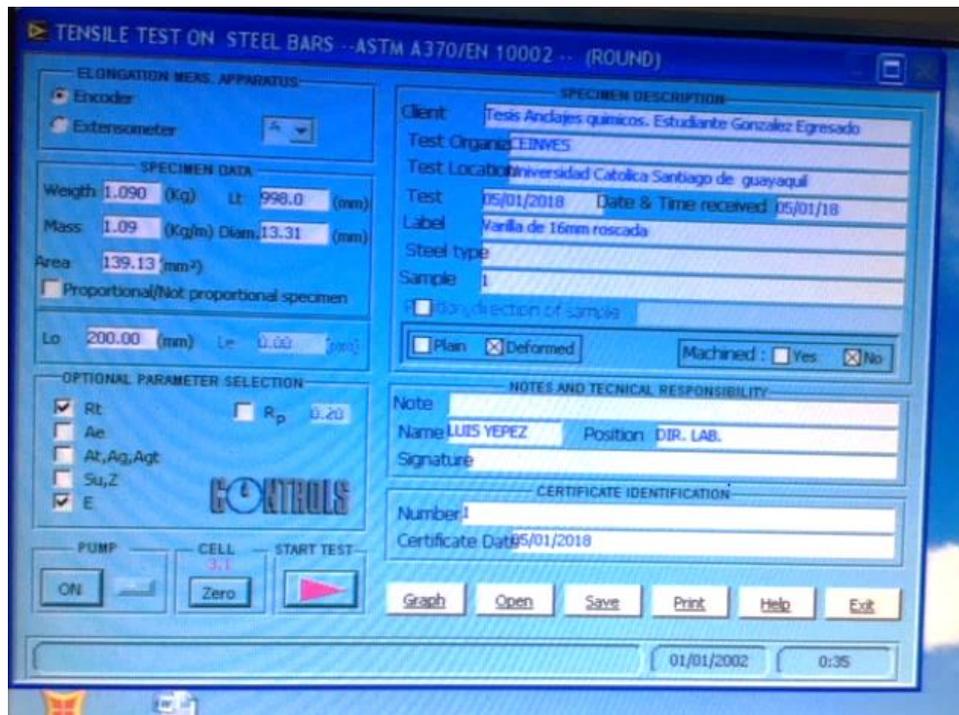
**Fuente:** Autor



***Ilustración 45.*** Varilla de 16 mm lista para el ensayo.

**Fuente:** Autor

Antes de empezar el ensayo se necesitó abrir el programa que realiza las lecturas máximas de fuerza y de esfuerzos a los que se somete la varilla, en el cual no solo se registran los resultados, sino que también se deben de ingresar los datos conocidos del elemento a ensayar (véase a *Ilustración 46*).



**Ilustración 46.** Datos ingresados en el programa antes del ensayo.

**Fuente:** Autor

Para este ensayo se consideró una longitud de ensayo de 20 cm, y donde ingresando la longitud total se obtiene el diámetro de la varilla de 13.31 mm, pero ese es el absoluto, sin considerar la sección adicional que generan los hilos que posee la varilla.

Una vez ingresado todo lo que se necesitó, se procedió a activar la máquina y aplicar fuerza. El ensayo finalizó una vez que la varilla falló (véase la *Ilustración 47*). Durante el ensayo mientras se aplicó fuerza, el mismo programa mostró una gráfica de esfuerzo vs deformación (%), hasta el punto del fallo; además de ilustrar la fuerza de resistencia máxima del elemento (véase la *Ilustración 48*).



**Ilustración 47.** Fallo de la varilla.

**Fuente:** Autor



**Ilustración 48.** Diagrama de esfuerzo vs deformación (%), y resultado de la fuerza de fallo.

**Fuente:** Autor

Se observa en la esquina superior derecha que la fuerza máxima o de resistencia de la varilla resulto de 67.1 KN, que equivalen a 6.8 Ton, o lo que es en libras 15100 aproximadamente. El esfuerzo máximo es de 482.3 N/mm<sup>2</sup> (MPa). La idea es comparar estos resultados de esfuerzo máximo y de fuerza máxima del ensayo de una varilla, con los resultados de esfuerzo (presión) medidos en la máquina que se usó para los ensayos a tracción con el gato hidráulico.

Los resultados obtenidos en los ensayos a tracción de los anclajes químicos fueron valores de presión (psi), ya que la máquina empleada ejerce presión, y por medio de esos resultados se obtendría la fuerza máxima (véase la *Ilustración 49*), considerando una tabla de calibración con una ecuación para llevar esos valores de presión a unidades de fuerza en Kilo Newtons.



**Ilustración 49.** Medición de presión con la maquina empleada.

**Fuente:** Autor

De esta manera se tomó registro de los valores máximos de presión aplicada por anclaje, y los resultados son los que se muestran en la Tabla 14. Cabe señalar que cada línea de medición indica 200 psi.

**Tabla 14.** Resultados obtenidos de la presión ejercida en los ensayos.

<b>Anclajes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Medición (psi)</b>	600	800	680	610
<b>Anclajes</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Medición (psi)</b>	1100	1500	1100	1500

**Fuente:** Autor

En base a estos valores de presión obtenidos en el manómetro (marca *Power Team/0-10000 psi x 200 psi, modelo 9052/Ser. 0950*), se procede con el empleo de la Tabla 15, la cual hace referencia a los valores de carga o presión leída (psi), y los valores equivalentes en unidades de fuerza en Kilo Newtons:

**Tabla 15.** *Tabla de valores de cargas leídas vs valores de cargas reales promedio.*

<b>Carga leída (psi)</b>	<b>Carga real promedio (KN)</b>
<b>1000</b>	58.5
<b>2000</b>	112.3
<b>3000</b>	170.4
<b>4000</b>	225.3
<b>5000</b>	282.2
<b>6000</b>	337.8

**Fuente:** Laboratorio Estructuras UCSG

Se puede interpolar los valores leídos en el manómetro para calcular la carga real promedio con los valores conocidos por la Tabla 14. En vez de la interpolación se empleó una ecuación de calibración para cualquier valor de fuerza leída en el manómetro:

$$CARGA REAL (KN) = LECTURA (psi) * 0.056 + 1.6$$

Entonces los resultados de las fuerzas o cargas reales promedio calculadas por la ecuación ya expuesta, se aprecian en la Tabla 16.

**Tabla 16.** *Resultados de las resistencias máximas de los anclajes químicos.*

Anclajes	1	2	3	4
Carga (KN)	35.2	46.4	39.68	35.76
Anclajes	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Carga (KN)	63.2	85.6	63.2	85.6

**Fuente:** Autor

Se observa que la resistencia en el grupo de anclajes sin soldar (del 5 al 8) es mayor que las del grupo de anclajes con soldadura (del 1 al 4). En el grupo de anclajes del 5 al 8 al realizar los ensayos, en ningún momento se dañó el anclaje, pero la varilla fue la que falló. Mientras que en el grupo del 1 al 4, la zona donde falló el anclaje fue donde se soldó cada varilla. Finalmente se comparó el valor de resistencia a tracción de la varilla sin anclaje (laboratorio), con los resultados obtenidos de la Tabla 16.

#### **4.4 Comparación de resistencias a tracción**

Se conoce que el valor de resistencia máxima a tracción de la varilla roscada de 16 mm de diámetro fue de 67.1 KN. Esta resistencia se la considera cuando la varilla funciona sola, sin ningún tipo de elemento que le reduzca o aumente su resistencia.

Se conocen los valores de resistencia a tracción de las varillas ancladas químicamente, y dichos resultados fueron bajos, comparados con la resistencia a tracción de la varilla por sí sola, con excepción de los anclajes 6 y 8 (resultados).

Una manera de analizar por qué sucedió esto, es verlo de manera mecánica y química, no basta con usar un super-adhesivo el cual tiene una resistencia a esfuerzos de tracción de 23.5 MPa en 7 días. El hecho de que el esfuerzo (resistencia) a tracción del epóxico sea menor que el esfuerzo a tracción medido en laboratorio para una varilla roscada de 16 mm de diámetro, es señal de que toda la fuerza la recibió la varilla, y es por eso que la varilla falló y no el anclaje.

Los demás valores del resto de anclajes químicos estuvieron por debajo de la resistencia máxima de la varilla de laboratorio, pero no dejan de ser resultados importantes para la finalización de este proyecto de investigación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No se pudo apreciar un comportamiento diferente en los anclajes químicos ensayados a tracción (entre los dos grupos de 4 anclajes), tomando en cuenta el aspecto mecánico de los mismos. La manera como fallaron los anclajes químicos que tuvieron una zona con soldadura (véase la *Ilustración 31*), fue diferente a la manera de fallo de aquellos que no tuvieron zona de soldadura (véase la *Ilustración 32*). Los resultados de los anclajes con la simulación de soldadura no son representativos en cuanto a resistencia, ya que la rotura de dichas varillas fue en la zona soldada, más no en la varilla; mientras que en el segundo grupo de anclajes si falló la varilla.

Finalizadas las pruebas de temperatura en los 4 anclajes superiores del macizo de hormigón, el hecho de que las lecturas registradas en el DATA Logger hayan sido diferentes para cada anclaje, no significa que la instalación de los mismos haya sido incorrecta. Lo que pudo significar es que la silicona y el Sika Boom tienen diferentes propiedades de aislamiento térmico, haciendo que en el anclaje 1 de estas pruebas haya generado lecturas más altas en el primer punto de análisis, en comparación con los primeros puntos de análisis de los 3 anclajes restantes (los cuales fueron sellados con silicona).

Se verificó que al obtener los resultados de resistencia a tracción de los anclajes químicos de la parte inferior del macizo (en total 8), las varillas no aportaron una mayor resistencia que la ensayada en laboratorio de 67.1 KN; mientras que el sistema de anclaje (solo con epóxico) fue sumamente eficiente en los anclajes 6 y 8 ya que la resistencia obtenida en estos dos fue mayor que la de laboratorio. Es por eso que el anclaje químico en si funciona muy bien, para las profundidades de anclaje de 40 cm. Es aquí donde el funcionamiento mecánico que tiene una varilla junto con el epóxico, logró ser mejor que el funcionamiento de la varilla de manera aislada.

El realizar un modelo numérico-matemático es de gran utilidad, ya que genera una proyección que puede ser acertada o muy acertada de lo que en la práctica o en el campo se logre realizar. En este caso la utilidad que generó el modelo realizado fue positiva ya que el patrón de valores de temperatura de los dos modelos realizados, cuadra con el patrón de variación de temperaturas que resultaron de las pruebas de

temperatura en campo (en el macizo de hormigón). El hecho de que un material tenga difusividad térmica, hace que después de determinado tiempo, el calor llegue a un punto más lejano y se reduzca en el punto más cercano, aspecto que tanto en los modelos como en campo ocurrió (véase la *Ilustración 52* a la *61*).

En cuanto a los resultados de las pruebas de temperatura, se concluye que el epóxico en el tramo inicial de los anclajes pierde sus cualidades químicas y mecánicas, ya que se ha sobrepasado el límite de temperatura de 75 °C según las especificaciones del producto Sika AnchorFix 3001 empleado en este proyecto. Pero sin dudas  $\frac{3}{4}$  de la profundidad del anclaje conservó sus propiedades químicas y mecánicas al no superar la temperatura de 75 °C. Siempre debe monitorearse la medición de temperaturas, para prevenir lecturas erróneas (véase la *Ilustración 50*).

Una recomendación sobre el empleo de los anclajes químicos, es que, si se desea realizar un anclaje mayor a 20 cm de profundidad, según los modelos realizados, los primeros 15 cm son los que se afectan por el calor, por ende, debería sumarse la distancia afectada a la profundidad inicial de obra; se obtendría un anclaje de mayor profundidad y con mayor eficiencia en resistencia y adherencia. Adicionalmente se recomienda que al generar soldadura en anclajes químicos (como se hizo en el grupo de anclajes del 1 al 4), se la refuerce bien, ya que lo que realmente se busca en un sistema de anclajes con soldadura y sin soldadura es que la falla sea en la varilla.

Se recomienda para la instalación o uso de los anclajes químicos, aprovechar la ventaja de que alcanzan mayores profundidades en comparación con los anclajes mecánicos. Esto hace que su comportamiento a tracción sea óptimo ya que el área que abarca el epóxico es mayor, y genera mayor adherencia y fijación de la varilla que se emplea; resultados claramente tabulados en la Tabla 8, donde del grupo de anclajes del 5 al 8, en donde el 5 y el 7 fueron los de 20 cm de profundidad y con menor resistencia que el 6 y 8. Si se aplican cargas o presiones mayores a las resistencias especificadas en un producto Sika o de cualquier marca, y mayores a las resistencias de un material como es el acero, lo que debe esperarse es que fallen. Es de suma importancia monitorear las lecturas de carga que se realicen (véase *Ilustración 51*).

Cuando se trabaja con anclajes químicos, se debe de tener precaución en la respectiva instalación de los mismos. Se recomienda usar indumentaria correcta y apropiada.

Cuando se realicen proyectos experimentales como el desarrollado en este proyecto, se recomienda trabajar en un laboratorio con maquinarias adecuadas para pruebas, sin olvidar que lo que se ejecuta en obra puede resultar algo diferente a lo ejecutado en campo, sin dejar de ser similares.

## REFERENCIAS

- Bellido, R. (2010). *RB Conspro - Productos químicos para la construcción*. Obtenido de <https://rbconspro.wordpress.com/2010/08/01/adhesivos-y-anclajes-epoxicos/>
- Blinker. (2017). *Anclajes químicos, qué son y como se utilizan*. Obtenido de <http://www.blinker.es/blog/anclajes-quimicos-que-son-y-como-se-utilizan/>
- Brochure de Sika. (2014). *Anclajes Químicos*. Barranquilla, Atlántico, Colombia.
- Chemifloor. (2017). *Características de las resinas epoxi*. Obtenido de <https://www.chemifloor.net/caracteristicas-de-las-resinas-epoxi-a144>
- Gazechim. (2013). *Propiedades Resina Poliéster*. Obtenido de <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>
- Gil, A. (2012). *Resinas de Poliéster*. Obtenido de <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documentos/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>
- Industrias, E. (2010). *Termocuplas: Fundamentos y recomendaciones*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1502&edi=79&xit=termocuplas-fundamentos-y-recomendaciones>
- Martínez, R. (2012). *Difusividad Térmica*. Obtenido de <https://prezi.com/nsrlstktgcwb/difusividad-termica/>
- MOTOREX. (2017). *Resinas: viniléster y poliéster, ¿cuál elegir?* Obtenido de <http://www.motorex.com.pe/blog/resinas-vinilester-poliester-elegir/>
- P. Incropera, F., & P. DeWitt, D. (1992). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York, Brisbane, Toronto, Singapore, Chichester: WILEY.
- QuimiNet. (2007). *Las resinas de poliéster y viniléster*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/las-resinas-de-poliester-y-vinilester-22024.htm>
- Sika. (2017). Hoja de datos del producto Sika AnchorFix 3001. Tocancipá, Cundinamarca, Colombia.

## ANEXOS



*Ilustración 50.* Monitoreo de temperatura para los anclajes químicos.

**Fuente:** Autor



*Ilustración 51.* Monitoreo de la lectura de presión para ensayos a tracción (anclaje 5, parte inferior del macizo de hormigón).

**Fuente:** Autor

## Resultados de mediciones de temperatura

TEST No. 00057 (anclaje A) '18-01-16 13:28:46	TEST No. 00069 (anclaje A) '18-01-16 13:29:24	TEST No. 00081 (anclaje A) '18-01-16 13:29:43
[M] 000+ 29,1 °C [M] 001+ 28,9 °C [M] 002+ 28,8 °C	[M] 000+ 76,8 °C [M] 001+ 29,0 °C [M] 002+ 28,7 °C	[M] 000+ 130,5 °C [M] 001+ 28,8 °C [M] 002+ 28,7 °C
TEST No. 00058 (anclaje A) '18-01-16 13:28:48	TEST No. 00070 (anclaje A) '18-01-16 13:29:25	TEST No. 00082 (anclaje A) '18-01-16 13:29:48
[M] 000+ 28,9 °C [M] 001+ 28,6 °C [M] 002+ 28,6 °C	[M] 000+ 79,9 °C [M] 001+ 29,2 °C [M] 002+ 28,6 °C	[M] 000+ 143,4 °C [M] 001+ 29,5 °C [M] 002+ 28,9 °C
TEST No. 00059 (anclaje A) '18-01-16 13:28:51	TEST No. 00071 (anclaje A) '18-01-16 13:29:27	TEST No. 00083 (anclaje A) '18-01-16 13:29:51
[M] 000+ 29,0 °C [M] 001+ 29,0 °C [M] 002+ 29,5 °C	[M] 000+ 83,2 °C [M] 001+ 28,8 °C [M] 002+ 29,0 °C	[M] 000+ 151,9 °C [M] 001+ 29,6 °C [M] 002+ 28,8 °C
TEST No. 00060 (anclaje A) '18-01-16 13:28:54	TEST No. 00072 (anclaje A) '18-01-16 13:29:28	TEST No. 00084 (anclaje A) '18-01-16 13:29:54
[M] 000+ 29,4 °C [M] 001+ 29,2 °C [M] 002+ 28,8 °C	[M] 000+ 87,3 °C [M] 001+ 29,0 °C [M] 002+ 29,0 °C	[M] 000+ 159,4 °C [M] 001+ 30,2 °C [M] 002+ 28,8 °C
TEST No. 00061 (anclaje A) '18-01-16 13:28:56	TEST No. 00073 (anclaje A) '18-01-16 13:29:30	TEST No. 00085 (anclaje A) '18-01-16 13:29:57
[M] 000+ 29,5 °C [M] 001+ 28,5 °C [M] 002+ 29,1 °C	[M] 000+ 90,3 °C [M] 001+ 29,1 °C [M] 002+ 28,0 °C	[M] 000+ 164,5 °C [M] 001+ 30,1 °C [M] 002+ 28,9 °C
TEST No. 00062 (anclaje A) '18-01-16 13:29:09	TEST No. 00074 (anclaje A) '18-01-16 13:29:31	TEST No. 00086 (anclaje A) '18-01-16 13:29:59
[M] 000+ 41,5 °C [M] 001+ 29,0 °C [M] 002+ 28,8 °C	[M] 000+ 95,5 °C [M] 001+ 29,3 °C [M] 002+ 28,9 °C	[M] 000+ 167,1 °C [M] 001+ 30,1 °C [M] 002+ 28,6 °C

*Ilustración 52.* Resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1.

Fuente: Autor

TEST No. 00063 Caset A  
'18-01-16 13:29:12

[M] 000+ 45.6 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 29.1 °C

TEST No. 00064 Caset A  
'18-01-16 13:29:14

[M] 000+ 50.0 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 28.9 °C

TEST No. 00065 Caset A  
'18-01-16 13:29:15

[M] 000+ 54.1 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 29.0 °C

TEST No. 00066 Caset A  
'18-01-16 13:29:17

[M] 000+ 58.7 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 28.8 °C

TEST No. 00067 Caset A  
'18-01-16 13:29:20

[M] 000+ 66.9 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 28.8 °C

TEST No. 00068 Caset A  
'18-01-16 13:29:22

[M] 000+ 71.4 °C  
[M] 001+ 28.7 °C  
[M] 002+ 28.9 °C

TEST No. 00075 Caset A  
'18-01-16 13:29:33

[M] 000+ 98.7 °C  
[M] 001+ 28.9 °C  
[M] 002+ 28.5 °C

TEST No. 00076 Caset A  
'18-01-16 13:29:34

[M] 000+ 103.2 °C  
[M] 001+ 29.0 °C  
[M] 002+ 29.0 °C

TEST No. 00077 Caset A  
'18-01-16 13:29:36

[M] 000+ 107.0 °C  
[M] 001+ 29.7 °C  
[M] 002+ 29.3 °C

TEST No. 00078 Caset A  
'18-01-16 13:29:37

[M] 000+ 110.5 °C  
[M] 001+ 29.2 °C  
[M] 002+ 28.4 °C

TEST No. 00079 Caset A  
'18-01-16 13:29:38

[M] 000+ 114.6 °C  
[M] 001+ 29.1 °C  
[M] 002+ 28.7 °C

TEST No. 00080 Caset A  
'18-01-16 13:29:41

[M] 000+ 124.4 °C  
[M] 001+ 29.2 °C  
[M] 002+ 28.4 °C

TEST No. 00087 Caset A  
'18-01-16 13:30:02

[M] 000+ 174.8 °C  
[M] 001+ 30.3 °C  
[M] 002+ 29.0 °C

TEST No. 00088 Caset A  
'18-01-16 13:30:05

[M] 000+ 184.7 °C  
[M] 001+ 30.8 °C  
[M] 002+ 28.7 °C

TEST No. 00089 Caset A  
'18-01-16 13:30:07

[M] 000+ 194.3 °C  
[M] 001+ 30.8 °C  
[M] 002+ 28.5 °C

TEST No. 00090 Caset A  
'18-01-16 13:30:10

[M] 000+ 201.5 °C  
[M] 001+ 31.4 °C  
[M] 002+ 28.9 °C

TEST No. 00091 Caset A  
'18-01-16 13:30:13

[M] 000+ 207.3 °C  
[M] 001+ 31.7 °C  
[M] 002+ 28.7 °C

TEST No. 00092 Caset A  
'18-01-16 13:30:33

[M] 000+ 229.3 °C  
[M] 001+ 34.4 °C  
[M] 002+ 28.8 °C

**Ilustración 53.** Continuación a resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00093 (anclaje A) '18-01-16 13:30:36	TEST No. 00105 (anclaje A) '18-01-16 13:31:42	TEST No. 00117 (anclaje A) '18-01-16 13:34:41
[M] 000+ 229,4 °C [M] 001+ 34,8 °C [M] 002+ 28,7 °C	[M] 000+ 235,0 °C [M] 001+ 45,3 °C [M] 002+ 29,4 °C	[M] 000+ 132,7 °C [M] 001+ 55,6 °C [M] 002+ 31,1 °C
TEST No. 00094 (anclaje A) '18-01-16 13:30:40	TEST No. 00106 (anclaje A) '18-01-16 13:31:45	TEST No. 00118 (anclaje A) '18-01-16 13:34:52
[M] 000+ 235,3 °C [M] 001+ 34,8 °C [M] 002+ 28,3 °C	[M] 000+ 234,6 °C [M] 001+ 46,2 °C [M] 002+ 29,0 °C	[M] 000+ 127,9 °C [M] 001+ 55,2 °C [M] 002+ 31,1 °C
TEST No. 00095 (anclaje A) '18-01-16 13:30:43	TEST No. 00107 (anclaje A) '18-01-16 13:32:12	TEST No. 00119 (anclaje A) '18-01-16 13:35:17
[M] 000+ 240,1 °C [M] 001+ 35,7 °C [M] 002+ 29,0 °C	[M] 000+ 233,4 °C [M] 001+ 49,4 °C [M] 002+ 29,3 °C	[M] 000+ 119,2 °C [M] 001+ 54,1 °C [M] 002+ 31,4 °C
TEST No. 00096 (anclaje A) '18-01-16 13:30:47	TEST No. 00108 (anclaje A) '18-01-16 13:32:21	TEST No. 00120 (anclaje A) '18-01-16 13:36:18
[M] 000+ 242,0 °C [M] 001+ 36,2 °C [M] 002+ 28,5 °C	[M] 000+ 232,5 °C [M] 001+ 50,4 °C [M] 002+ 29,5 °C	[M] 000+ 105,8 °C [M] 001+ 51,5 °C [M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00097 (anclaje A) '18-01-16 13:30:50	TEST No. 00109 (anclaje A) '18-01-16 13:32:30	TEST No. 00121 (anclaje A) '18-01-16 13:36:24
[M] 000+ 244,6 °C [M] 001+ 37,2 °C [M] 002+ 28,9 °C	[M] 000+ 230,0 °C [M] 001+ 51,3 °C [M] 002+ 29,5 °C	[M] 000+ 104,8 °C [M] 001+ 51,2 °C [M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00098 (anclaje A) '18-01-16 13:30:54	TEST No. 00110 (anclaje A) '18-01-16 13:32:34	TEST No. 00122 (anclaje A) '18-01-16 13:36:29
[M] 000+ 244,6 °C [M] 001+ 37,8 °C [M] 002+ 28,8 °C	[M] 000+ 228,3 °C [M] 001+ 51,7 °C [M] 002+ 29,6 °C	[M] 000+ 103,9 °C [M] 001+ 51,0 °C [M] 002+ 31,8 °C
	TEST No. 00111 (anclaje A)	

**Ilustración 54.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00099 (aet A '18-01-16 13:30:57	TEST No. 00111 (aet A '18-01-16 13:33:31	TEST No. 00123 (aet A '18-01-16 13:36:32
[M] 000+ 244,0 °C	[M] 000+ 180,5 °C	[M] 000+ 193,5 °C
[M] 001+ 38,2 °C	[M] 001+ 55,7 °C	[M] 001+ 50,8 °C
[M] 002+ 28,9 °C	[M] 002+ 30,3 °C	[M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00100 (aet A '18-01-16 13:31:02	TEST No. 00112 (aet A '18-01-16 13:33:33	TEST No. 00124 (aet A '18-01-16 13:36:37
[M] 000+ 241,5 °C	[M] 000+ 179,4 °C	[M] 000+ 192,9 °C
[M] 001+ 38,3 °C	[M] 001+ 55,8 °C	[M] 001+ 50,6 °C
[M] 002+ 28,7 °C	[M] 002+ 30,3 °C	[M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00101 (aet A '18-01-16 13:31:05	TEST No. 00113 (aet A '18-01-16 13:33:42	TEST No. 00125 (aet A '18-01-16 13:36:42
[M] 000+ 241,4 °C	[M] 000+ 173,2 °C	[M] 000+ 192,1 °C
[M] 001+ 39,7 °C	[M] 001+ 56,0 °C	[M] 001+ 50,4 °C
[M] 002+ 28,8 °C	[M] 002+ 30,4 °C	[M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00102 (aet A '18-01-16 13:31:07	TEST No. 00114 (aet A '18-01-16 13:33:54	TEST No. 00126 (aet A '18-01-16 13:36:56
[M] 000+ 241,0 °C	[M] 000+ 163,1 °C	[M] 000+ 190,3 °C
[M] 001+ 40,2 °C	[M] 001+ 56,1 °C	[M] 001+ 49,9 °C
[M] 002+ 28,8 °C	[M] 002+ 30,5 °C	[M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00103 (aet A '18-01-16 13:31:09	TEST No. 00115 (aet A '18-01-16 13:34:16	TEST No. 00127 (aet A '18-01-16 13:36:59
[M] 000+ 240,3 °C	[M] 000+ 145,9 °C	[M] 000+ 190,0 °C
[M] 001+ 40,0 °C	[M] 001+ 56,0 °C	[M] 001+ 49,8 °C
[M] 002+ 28,8 °C	[M] 002+ 30,7 °C	[M] 002+ 31,8 °C
TEST No. 00104 (aet A '18-01-16 13:31:13	TEST No. 00116 (aet A '18-01-16 13:34:22	TEST No. 00128 (aet A '18-01-16 13:37:07
[M] 000+ 240,0 °C	[M] 000+ 142,6 °C	[M] 000+ 99,0 °C
[M] 001+ 40,8 °C	[M] 001+ 56,0 °C	[M] 001+ 49,5 °C
[M] 002+ 28,9 °C	[M] 002+ 30,7 °C	[M] 002+ 31,8 °C

**Ilustración 55.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 1.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00001 (met A) '18-01-23 09:57:59	TEST No. 00010 (met A) '18-01-23 09:59:20	TEST No. 00020 (met A) '18-01-23 09:59:56
[D] 000+ 24.0 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 92.1 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 149.6 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.7 °C [D] 003+ 25.8 °C
TEST No. 00002 (met A) '18-01-23 09:58:02	TEST No. 00011 (met A) '18-01-23 09:59:23	TEST No. 00021 (met A) '18-01-23 10:00:00
[D] 000+ 23.9 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.8 °C	[D] 000+ 97.8 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 26.0 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 152.4 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.8 °C
TEST No. 00003 (met A) '18-01-23 09:58:54	TEST No. 00012 (met A) '18-01-23 09:59:26	TEST No. 00022 (met A) '18-01-23 10:00:04
[D] 000+ 27.1 °C [D] 001+ 25.4 °C [D] 002+ 25.7 °C [D] 003+ 25.8 °C	[D] 000+ 104.2 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 154.3 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.7 °C
TEST No. 00004 (met A) '18-01-23 09:59:03	TEST No. 00013 (met A) '18-01-23 09:59:27	TEST No. 00023 (met A) '18-01-23 10:00:12
[D] 000+ 40.7 °C [D] 001+ 25.4 °C [D] 002+ 25.7 °C [D] 003+ 25.7 °C	[D] 000+ 108.5 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 157.9 °C [D] 001+ 25.9 °C [D] 002+ 25.9 °C [D] 003+ 26.0 °C
TEST No. 00005 (met A) '18-01-23 09:59:06	TEST No. 00014 (met A) '18-01-23 09:59:30	TEST No. 00024 (met A) '18-01-23 10:00:39
[D] 000+ 50.8 °C [D] 001+ 25.4 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.7 °C	[D] 000+ 113.5 °C [D] 001+ 25.8 °C [D] 002+ 25.9 °C [D] 003+ 26.0 °C	[D] 000+ 162.2 °C [D] 001+ 26.0 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.6 °C
	TEST No. 00015 (met A) '18-01-23 09:59:33	TEST No. 00025 (met A) '18-01-23 10:00:45

**Ilustración 56.** Resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00006 (cont. A) '18-01-23 09:59:09	[D] 000+ 119.1 °C [D] 001+ 25.8 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 26.0 °C	[D] 000+ 159.1 °C [D] 001+ 26.1 °C [D] 002+ 25.8 °C [D] 003+ 25.8 °C
TEST No. 00007 (cont. A) '18-01-23 09:59:13	TEST No. 00016 (cont. A) '18-01-23 09:59:35	TEST No. 00026 (cont. A) '18-01-23 10:01:04
[D] 000+ 60.6 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.5 °C [D] 003+ 25.8 °C	[D] 000+ 124.4 °C [D] 001+ 25.8 °C [D] 002+ 25.9 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 141.4 °C [D] 001+ 26.4 °C [D] 002+ 25.7 °C [D] 003+ 25.8 °C
TEST No. 00008 (cont. A) '18-01-23 09:59:16	TEST No. 00017 (cont. A) '18-01-23 09:59:39	TEST No. 00027 (cont. A) '18-01-23 10:01:25
[D] 000+ 73.7 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.7 °C	[D] 000+ 131.7 °C [D] 001+ 25.7 °C [D] 002+ 25.5 °C [D] 003+ 25.9 °C	[D] 000+ 133.9 °C [D] 001+ 26.9 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.6 °C
TEST No. 00009 (cont. A) '18-01-23 09:59:18	TEST No. 00018 (cont. A) '18-01-23 09:59:48	TEST No. 00028 (cont. A) '18-01-23 10:01:27
[D] 000+ 82.3 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.8 °C	[D] 000+ 142.8 °C [D] 001+ 25.5 °C [D] 002+ 25.5 °C [D] 003+ 25.6 °C	[D] 000+ 134.9 °C [D] 001+ 26.9 °C [D] 002+ 25.7 °C [D] 003+ 25.8 °C
TEST No. 00010 (cont. A) '18-01-23 09:59:22	TEST No. 00019 (cont. A) '18-01-23 09:59:52	TEST No. 00029 (cont. A) '18-01-23 10:01:53
[D] 000+ 88.2 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.8 °C	[D] 000+ 146.2 °C [D] 001+ 25.6 °C [D] 002+ 25.6 °C [D] 003+ 25.7 °C	[D] 000+ 148.5 °C [D] 001+ 27.6 °C [D] 002+ 25.9 °C [D] 003+ 26.0 °C

**Ilustración 57.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00030 (cont A)  
'18-01-23 10:01:58

[D] 000+ 151.1 °C  
[D] 001+ 27.7 °C  
[D] 002+ 25.6 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00031 (cont A)  
'18-01-23 10:02:05

[D] 000+ 154.1 °C  
[D] 001+ 27.8 °C  
[D] 002+ 25.6 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00032 (cont A)  
'18-01-23 10:02:44

[D] 000+ 154.7 °C  
[D] 001+ 28.7 °C  
[D] 002+ 25.6 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00033 (cont A)  
'18-01-23 10:03:45

[D] 000+ 123.9 °C  
[D] 001+ 29.7 °C  
[D] 002+ 25.8 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00034 (cont A)  
'18-01-23 10:03:48

[D] 000+ 122.6 °C  
[D] 001+ 29.8 °C  
[D] 002+ 25.8 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00040 (cont A)  
'18-01-23 10:06:14

[D] 000+ 97.0 °C  
[D] 001+ 30.9 °C  
[D] 002+ 25.9 °C  
[D] 003+ 25.9 °C

TEST No. 00041 (cont A)  
'18-01-23 10:06:22

[D] 000+ 96.4 °C  
[D] 001+ 30.9 °C  
[D] 002+ 25.9 °C  
[D] 003+ 26.0 °C

TEST No. 00042 (cont A)  
'18-01-23 10:07:52

[D] 000+ 91.4 °C  
[D] 001+ 30.8 °C  
[D] 002+ 25.9 °C  
[D] 003+ 25.8 °C

TEST No. 00043 (cont A)  
'18-01-23 10:08:50

[D] 000+ 89.4 °C  
[D] 001+ 30.9 °C  
[D] 002+ 26.1 °C  
[D] 003+ 25.8 °C

TEST No. 00044 (cont A)  
'18-01-23 10:10:16

[D] 000+ 85.6 °C  
[D] 001+ 30.7 °C  
[D] 002+ 26.3 °C  
[D] 003+ 26.4 °C

**Ilustración 58.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00035 (met A '18-01-23 10:03:51	TEST No. 00045 (met A '18-01-23 10:10:18
[D] 000+ 121.6 °C	[D] 000+ 85.6 °C
[D] 001+ 29.9 °C	[D] 001+ 30.7 °C
[D] 002+ 25.6 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.0 °C	[D] 003+ 26.4 °C
TEST No. 00036 (met A '18-01-23 10:05:41	TEST No. 00046 (met A '18-01-23 10:11:09
[D] 000+ 99.9 °C	[D] 000+ 84.2 °C
[D] 001+ 30.8 °C	[D] 001+ 30.7 °C
[D] 002+ 25.9 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 25.9 °C	[D] 003+ 26.4 °C
TEST No. 00037 (met A '18-01-23 10:05:43	TEST No. 00047 (met A '18-01-23 10:11:12
[D] 000+ 99.7 °C	[D] 000+ 84.1 °C
[D] 001+ 30.8 °C	[D] 001+ 30.7 °C
[D] 002+ 25.8 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 25.9 °C	[D] 003+ 26.4 °C
TEST No. 00038 (met A '18-01-23 10:05:46	TEST No. 00048 (met A '18-01-23 10:11:50
[D] 000+ 99.4 °C	[D] 000+ 83.1 °C
[D] 001+ 30.8 °C	[D] 001+ 30.6 °C
[D] 002+ 25.9 °C	[D] 002+ 26.4 °C
[D] 003+ 25.9 °C	[D] 003+ 26.4 °C
TEST No. 00039 (met A '18-01-23 10:05:50	TEST No. 00049 (met A '18-01-23 10:14:58
[D] 000+ 99.1 °C	[D] 000+ 78.6 °C
[D] 001+ 30.9 °C	[D] 001+ 30.7 °C
[D] 002+ 26.0 °C	[D] 002+ 26.6 °C
[D] 003+ 26.0 °C	[D] 003+ 26.6 °C

**Ilustración 59.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 2.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00001 (cuel # '18-01-25 08:46:13	TEST No. 00014 (cuel # '18-01-25 08:47:07	TEST No. 00026 (cuel # '18-01-25 08:47:44
[M] 000+ 25.7 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 46.0 °C [M] 001+ 25.1 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 103.3 °C [M] 001+ 25.4 °C [M] 002+ 25.4 °C
TEST No. 00002 (cuel # '18-01-25 08:46:26	TEST No. 00015 (cuel # '18-01-25 08:47:09	TEST No. 00027 (cuel # '18-01-25 08:47:47
[M] 000+ 25.9 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.3 °C	[M] 000+ 49.3 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.3 °C	[M] 000+ 107.6 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.3 °C
TEST No. 00003 (cuel # '18-01-25 08:46:42	TEST No. 00016 (cuel # '18-01-25 08:47:11	TEST No. 00028 (cuel # '18-01-25 08:47:51
[M] 000+ 26.7 °C [M] 001+ 25.4 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 54.8 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 112.1 °C [M] 001+ 25.5 °C [M] 002+ 25.5 °C
TEST No. 00004 (cuel # '18-01-25 08:46:43	TEST No. 00017 (cuel # '18-01-25 08:47:13	TEST No. 00029 (cuel # '18-01-25 08:47:54
[M] 000+ 26.7 °C [M] 001+ 25.2 °C [M] 002+ 25.2 °C	[M] 000+ 61.7 °C [M] 001+ 25.4 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 114.7 °C [M] 001+ 25.4 °C [M] 002+ 25.2 °C
TEST No. 00005 (cuel # '18-01-25 08:46:46	TEST No. 00018 (cuel # '18-01-25 08:47:15	TEST No. 00030 (cuel # '18-01-25 08:47:57
[M] 000+ 26.8 °C [M] 001+ 25.2 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 65.9 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 115.5 °C [M] 001+ 25.4 °C [M] 002+ 25.5 °C
TEST No. 00006 (cuel # '18-01-25 08:46:50	TEST No. 00019 (cuel # '18-01-25 08:47:17	TEST No. 00031 (cuel # '18-01-25 08:48:00
[M] 000+ 27.3 °C [M] 001+ 25.2 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 69.0 °C [M] 001+ 25.3 °C [M] 002+ 25.3 °C	[M] 000+ 116.6 °C [M] 001+ 25.5 °C [M] 002+ 25.4 °C
TEST No. 00007 (cuel # '18-01-25 08:46:54		

**Ilustración 60.** Resultados de medición de temperatura en el anclaje 3.

**Fuente:** Autor



TEST No. 00038 (cont. A) '18-01-25 08:48:34	TEST No. 00050 (cont. A) '18-01-25 08:49:36	TEST No. 00062 (cont. A) '18-01-25 08:50:24
[M] 000+ 126.4 °C [M] 001+ 26.0 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 127.2 °C [M] 001+ 27.3 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 146.3 °C [M] 001+ 28.3 °C [M] 002+ 25.5 °C
TEST No. 00039 (cont. A) '18-01-25 08:48:38	TEST No. 00051 (cont. A) '18-01-25 08:49:42	TEST No. 00063 (cont. A) '18-01-25 08:50:28
[M] 000+ 126.9 °C [M] 001+ 25.9 °C [M] 002+ 25.3 °C	[M] 000+ 128.9 °C [M] 001+ 27.4 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 147.4 °C [M] 001+ 28.3 °C [M] 002+ 25.5 °C
TEST No. 00040 (cont. A) '18-01-25 08:48:45	TEST No. 00052 (cont. A) '18-01-25 08:49:45	TEST No. 00064 (cont. A) '18-01-25 08:50:43
[M] 000+ 126.9 °C [M] 001+ 26.1 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 129.9 °C [M] 001+ 27.5 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 149.9 °C [M] 001+ 28.6 °C [M] 002+ 25.6 °C
TEST No. 00041 (cont. A) '18-01-25 08:48:49	TEST No. 00053 (cont. A) '18-01-25 08:49:48	TEST No. 00065 (cont. A) '18-01-25 08:50:45
[M] 000+ 126.2 °C [M] 001+ 26.3 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 131.2 °C [M] 001+ 27.6 °C [M] 002+ 25.6 °C	[M] 000+ 149.8 °C [M] 001+ 28.7 °C [M] 002+ 25.5 °C
TEST No. 00042 (cont. A) '18-01-25 08:48:52	TEST No. 00054 (cont. A) '18-01-25 08:49:52	TEST No. 00066 (cont. A) '18-01-25 08:50:50
[M] 000+ 125.8 °C [M] 001+ 26.2 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 132.7 °C [M] 001+ 27.6 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 149.1 °C [M] 001+ 28.8 °C [M] 002+ 25.6 °C
TEST No. 00043 (cont. A) '18-01-25 08:48:55	TEST No. 00055 (cont. A) '18-01-25 08:49:55	TEST No. 00067 (cont. A) '18-01-25 08:51:02
[M] 000+ 125.1 °C [M] 001+ 26.3 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 134.2 °C [M] 001+ 27.6 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 145.7 °C [M] 001+ 29.0 °C [M] 002+ 25.7 °C

**Ilustración 62.** Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 3.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00044 Caset A '18-01-25 08:49:01	TEST No. 00056 Caset A '18-01-25 08:49:58	TEST No. 00068 Caset A '18-01-25 08:51:07
[M] 000+ 125.0 °C [M] 001+ 26.3 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 135.8 °C [M] 001+ 27.7 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 143.5 °C [M] 001+ 29.2 °C [M] 002+ 25.7 °C
TEST No. 00045 Caset A '18-01-25 08:49:12	TEST No. 00057 Caset A '18-01-25 08:50:02	TEST No. 00069 Caset A '18-01-25 08:51:28
[M] 000+ 126.3 °C [M] 001+ 26.6 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 137.5 °C [M] 001+ 27.9 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 132.8 °C [M] 001+ 29.5 °C [M] 002+ 25.7 °C
TEST No. 00046 Caset A '18-01-25 08:49:14	TEST No. 00058 Caset A '18-01-25 08:50:04	TEST No. 00070 Caset A '18-01-25 08:51:34
[M] 000+ 126.5 °C [M] 001+ 26.7 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 138.6 °C [M] 001+ 27.9 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 130.3 °C [M] 001+ 29.6 °C [M] 002+ 25.7 °C
TEST No. 00047 Caset A '18-01-25 08:49:17	TEST No. 00059 Caset A '18-01-25 08:50:07	TEST No. 00071 Caset A '18-01-25 08:51:42
[M] 000+ 126.6 °C [M] 001+ 26.8 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 139.6 °C [M] 001+ 28.0 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 126.4 °C [M] 001+ 29.8 °C [M] 002+ 25.7 °C
TEST No. 00048 Caset A '18-01-25 08:49:23	TEST No. 00060 Caset A '18-01-25 08:50:09	TEST No. 00072 Caset A '18-01-25 08:51:50
[M] 000+ 126.3 °C [M] 001+ 26.9 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 140.5 °C [M] 001+ 28.0 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 123.0 °C [M] 001+ 29.9 °C [M] 002+ 25.8 °C
TEST No. 00049 Caset A '18-01-25 08:49:28	TEST No. 00061 Caset A '18-01-25 08:50:19	TEST No. 00073 Caset A '18-01-25 08:51:59
[M] 000+ 126.2 °C [M] 001+ 27.0 °C [M] 002+ 25.4 °C	[M] 000+ 144.5 °C [M] 001+ 28.2 °C [M] 002+ 25.5 °C	[M] 000+ 119.7 °C [M] 001+ 30.1 °C [M] 002+ 25.8 °C

**Ilustración 63.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 3.

**Fuente:** Autor

	TEST No. 00013 (caset A) '18-01-25 15:07:09		TEST No. 00024 (caset A) '18-01-25 15:08:02
	[D] 000+ 31.0 °C		[D] 000+ 72.9 °C
	[D] 001+ 26.3 °C		[D] 001+ 26.4 °C
	[D] 002+ 26.2 °C		[D] 002+ 26.3 °C
	[D] 003+ 26.2 °C		[D] 003+ 26.3 °C
	TEST No. 00014 (caset A) '18-01-25 15:07:19		TEST No. 00025 (caset A) '18-01-25 15:08:06
	[D] 000+ 30.9 °C		[D] 000+ 78.4 °C
	[D] 001+ 26.4 °C		[D] 001+ 26.4 °C
	[D] 002+ 26.0 °C		[D] 002+ 26.2 °C
	[D] 003+ 26.0 °C		[D] 003+ 26.2 °C
TEST No. 00005 (caset A) '18-01-25 15:05:01		TEST No. 00015 (caset A) '18-01-25 15:07:26	
[D] 000+ 27.0 °C		[D] 000+ 31.9 °C	
[D] 001+ 26.3 °C		[D] 001+ 26.3 °C	
[D] 002+ 26.2 °C		[D] 002+ 26.3 °C	
[D] 003+ 26.2 °C		[D] 003+ 26.3 °C	
TEST No. 00006 (caset A) '18-01-25 15:05:05		TEST No. 00016 (caset A) '18-01-25 15:07:29	
[D] 000+ 27.3 °C		[D] 000+ 33.2 °C	
[D] 001+ 26.3 °C		[D] 001+ 26.3 °C	
[D] 002+ 26.2 °C		[D] 002+ 26.3 °C	
[D] 003+ 26.2 °C		[D] 003+ 26.3 °C	
TEST No. 00007 (caset A) '18-01-25 15:05:08		TEST No. 00017 (caset A) '18-01-25 15:07:33	
[D] 000+ 27.4 °C		[D] 000+ 39.9 °C	
[D] 001+ 26.3 °C		[D] 001+ 26.3 °C	
[D] 002+ 26.2 °C		[D] 002+ 26.4 °C	
[D] 003+ 26.2 °C		[D] 003+ 26.3 °C	
TEST No. 00008 (caset A) '18-01-25 15:05:19		TEST No. 00018 (caset A) '18-01-25 15:07:36	
[D] 000+ 28.7 °C		[D] 000+ 38.9 °C	
[D] 001+ 26.4 °C		[D] 001+ 26.3 °C	
[D] 002+ 26.3 °C		[D] 002+ 26.1 °C	
[D] 003+ 26.3 °C		[D] 003+ 26.3 °C	
TEST No. 00009 (caset A) '18-01-25 15:05:22		TEST No. 00019 (caset A) '18-01-25 15:07:40	
[D] 000+ 22.8 °C		[D] 000+ 88.5 °C	
[D] 001- 3.3 °C		[D] 001+ 26.4 °C	
[D] 002+ 15.9 °C		[D] 002+ 26.2 °C	
[D] 003+ 38.7 °C		[D] 003+ 26.3 °C	
		TEST No. 00030 (caset A) '18-01-25 15:08:24	

**Ilustración 64.** Resultados de medición de temperatura en el anclaje 4.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00010 (cont. A) '18-01-25 15:05:24	[D] 000+ 28.0 °C [D] 001+ 26.4 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.2 °C	TEST No. 00020 (cont. A) '18-01-25 15:07:48	[D] 000+ 53.0 °C [D] 001+ 26.2 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.1 °C	TEST No. 00031 (cont. A) '18-01-25 15:08:27	[D] 000+ 91.5 °C [D] 001+ 26.3 °C [D] 002+ 26.3 °C [D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00011 (cont. A) '18-01-25 15:05:27	[D] 000+ 28.0 °C [D] 001+ 26.3 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.2 °C	TEST No. 00021 (cont. A) '18-01-25 15:07:52	[D] 000+ 56.7 °C [D] 001+ 26.3 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.2 °C	TEST No. 00032 (cont. A) '18-01-25 15:08:30	[D] 000+ 95.6 °C [D] 001+ 26.2 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.0 °C
TEST No. 00012 (cont. A) '18-01-25 15:05:31	[D] 000+ 28.2 °C [D] 001+ 26.3 °C [D] 002+ 26.3 °C [D] 003+ 26.3 °C	TEST No. 00022 (cont. A) '18-01-25 15:07:56	[D] 000+ 62.2 °C [D] 001+ 26.2 °C [D] 002+ 26.3 °C [D] 003+ 26.2 °C	TEST No. 00033 (cont. A) '18-01-25 15:08:33	[D] 000+ 97.8 °C [D] 001+ 26.3 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.3 °C
		TEST No. 00023 (cont. A) '18-01-25 15:07:59	[D] 000+ 67.0 °C [D] 001+ 26.2 °C [D] 002+ 26.2 °C [D] 003+ 26.1 °C	TEST No. 00034 (cont. A) '18-01-25 15:08:36	[D] 000+ 99.5 °C [D] 001+ 26.5 °C [D] 002+ 26.3 °C [D] 003+ 26.3 °C

**Ilustración 65.** Continuación de resultados de la medición de temperatura en el anclaje 4.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00035 (cont.) '18-01-25 15:08:39	TEST No. 00046 (cont.) '18-01-25 15:10:03
[D] 000+ 101.0 °C	[D] 000+ 124.2 °C
[D] 001+ 26.3 °C	[D] 001+ 26.5 °C
[D] 002+ 26.2 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.2 °C	[D] 003+ 26.4 °C
TEST No. 00036 (cont.) '18-01-25 15:08:42	TEST No. 00047 (cont.) '18-01-25 15:10:13
[D] 000+ 103.0 °C	[D] 000+ 124.6 °C
[D] 001+ 26.4 °C	[D] 001+ 26.7 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.2 °C
[D] 003+ 26.2 °C	[D] 003+ 26.1 °C
TEST No. 00037 (cont.) '18-01-25 15:08:45	TEST No. 00048 (cont.) '18-01-25 15:10:48
[D] 000+ 104.4 °C	[D] 000+ 128.6 °C
[D] 001+ 26.3 °C	[D] 001+ 26.6 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.2 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00038 (cont.) '18-01-25 15:08:49	TEST No. 00049 (cont.) '18-01-25 15:10:57
[D] 000+ 105.7 °C	[D] 000+ 127.4 °C
[D] 001+ 26.2 °C	[D] 001+ 26.6 °C
[D] 002+ 26.2 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.2 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00039 (cont.) '18-01-25 15:08:55	TEST No. 00050 (cont.) '18-01-25 15:11:20
[D] 000+ 109.0 °C	[D] 000+ 120.1 °C
[D] 001+ 26.6 °C	[D] 001+ 26.8 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.4 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00040 (cont.) '18-01-25 15:09:01	TEST No. 00051 (cont.) '18-01-25 15:11:29
[D] 000+ 112.0 °C	[D] 000+ 116.5 °C
[D] 001+ 26.4 °C	[D] 001+ 26.8 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.3 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00041 (cont.) '18-01-25 15:09:21	TEST No. 00052 (cont.) '18-01-25 15:12:02
[D] 000+ 121.4 °C	[D] 000+ 104.5 °C
[D] 001+ 26.4 °C	[D] 001+ 26.9 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.3 °C	[D] 003+ 26.3 °C

**Ilustración 66.** Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 4.

**Fuente:** Autor

TEST No. 00042 (cont A) '18-01-25 15:09:24	TEST No. 00053 (cont A) '18-01-25 15:12:07
[D] 000+ 122.3 °C	[D] 000+ 103.0 °C
[D] 001+ 26.4 °C	[D] 001+ 26.9 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.3 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00043 (cont A) '18-01-25 15:09:34	TEST No. 00054 (cont A) '18-01-25 15:12:22
[D] 000+ 124.9 °C	[D] 000+ 98.6 °C
[D] 001+ 26.3 °C	[D] 001+ 26.9 °C
[D] 002+ 26.1 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.2 °C	[D] 003+ 26.3 °C
TEST No. 00044 (cont A) '18-01-25 15:09:39	TEST No. 00055 (cont A) '18-01-25 15:12:47
[D] 000+ 125.4 °C	[D] 000+ 92.8 °C
[D] 001+ 26.1 °C	[D] 001+ 27.0 °C
[D] 002+ 26.6 °C	[D] 002+ 26.3 °C
[D] 003+ 26.3 °C	[D] 003+ 26.2 °C
TEST No. 00045 (cont A) '18-01-25 15:09:51	TEST No. 00056 (cont A) '18-01-25 15:12:52
[D] 000+ 124.4 °C	[D] 000+ 91.8 °C
[D] 001+ 26.6 °C	[D] 001+ 27.1 °C
[D] 002+ 26.3 °C	[D] 002+ 26.4 °C
[D] 003+ 26.3 °C	[D] 003+ 26.3 °C

**Ilustración 67.** Continuación resultados de medición de temperatura en el anclaje 4.

**Fuente:** Autor

# MODELO NUMÉRICO-MATEMÁTICO

Tiempo [seg]	Temperatura °C																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.9E+00	1200	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
5.9E+00	1200	614	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
8.8E+00	1200	614	321	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.2E+01	1200	760.5	321	174.5	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.5E+01	1200	760.5	467.5	174.5	101.25	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.8E+01	1000	833.75	467.50	284.38	101.25	64.63	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.1E+01	1000	733.75	559.06	284.38	174.50	64.63	46.31	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.4E+01	1000	779.53	509.06	366.78	174.50	101.41	46.31	37.16	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.6E+01	1000	754.53	573.16	341.78	238.59	101.41	73.78	37.16	32.58	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.9E+01	800	786.58	548.16	405.88	226.09	156.19	73.78	53.18	32.68	30.29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.2E+01	800	674.08	596.23	387.13	281.03	149.94	104.68	53.18	41.73	30.29	29.14	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.5E+01	800	698.11	530.60	438.63	268.53	192.86	101.56	73.21	41.73	35.44	29.14	28.57	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.8E+01	800	665.30	568.37	399.57	315.74	185.04	133.03	71.65	54.32	35.44	28.57	28.29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
4.1E+01	800	684.19	532.43	442.06	292.31	224.39	126.35	93.68	53.54	43.17	32.01	28.29	28.14	28	28	28	28	28	28	28	28	28
4.4E+01	600	666.22	563.12	412.37	333.22	210.33	159.03	90.84	68.42	42.77	36.66	30.15	29.14	28.07	28	28	28	28	28	28	28	28
4.7E+01	600	581.56	539.29	448.17	311.35	246.13	150.64	113.73	66.86	52.54	36.46	32.90	29.14	28.61	28.07	28.04	28	28	28	28	28	28
5.0E+01	600	563.65	514.87	425.32	347.15	230.99	179.93	108.75	83.13	51.66	42.72	32.80	30.75	28.61	28.32	28.04	28.02	28	28	28	28	28
5.3E+01	600	557.43	497.48	431.01	328.16	263.54	169.87	131.53	80.20	62.93	42.23	36.74	30.71	29.54	28.32	28.17	28.02	28.01	28	28	28	28
5.6E+01	600	546.74	494.22	412.82	347.27	249.01	191.53	125.04	97.23	61.22	49.83	36.47	33.14	29.51	28.65	28.17	28.09	28.01	28	28	28	28
5.9E+01	400	547.11	480.78	420.75	330.92	272.40	187.02	147.38	93.13	73.53	48.84	41.48	32.99	31.00	28.84	28.47	28.09	28.05	28	28	28	28
6.2E+01	400	440.39	493.93	405.85	346.58	258.97	209.89	140.08	100.46	70.98	57.51	40.92	36.24	30.92	29.73	28.47	28.26	28.05	28.02	28	28	28
6.5E+01	400	441.96	423.12	415.25	332.41	278.23	199.52	160.17	105.53	83.98	55.95	46.87	35.92	32.99	29.69	29.00	28.26	28.14	28.02	28.01	28	28
6.8E+01	400	411.56	428.61	377.76	346.74	265.97	219.20	152.53	122.08	100.74	65.43	45.93	39.93	32.80	30.99	28.97	28.57	28.14	28.08	28.01	28.01	28
7.1E+01	400	444.30	394.66	387.68	321.67	282.97	209.25	170.84	116.83	93.75	63.34	52.68	39.37	35.46	30.89	29.78	28.96	28.32	28.08	28.04	28.01	28
7.4E+01	400	397.33	400.99	368.26	335.92	265.56	226.81	162.94	132.20	89.99	73.22	51.35	44.07	35.13	32.62	29.72	29.05	28.32	28.18	28.04	28.02	28
7.6E+01	400	400.49	377.80	368.16	318.11	291.07	214.25	179.90	126.46	102.71	70.67	58.64	43.24	38.35	32.43	30.84	29.02	28.62	28.18	28.10	28.02	28.01
7.9E+01	200	388.90	384.33	344.85	324.61	263.08	230.28	170.36	141.10	98.57	80.67	56.95	48.49	37.83	34.59	30.72	29.73	28.60	28.36	28.10	28.06	28.01
8.2E+01	200	292.16	366.88	354.47	303.97	277.45	216.72	185.69	134.46	100.89	77.76	64.58	47.39	41.54	34.28	32.16	29.66	29.04	28.35	28.21	28.06	28.03
8.5E+01	200	283.44	323.32	335.42	315.96	260.34	231.57	175.59	148.29	105.11	87.74	62.58	53.06	40.84	36.95	31.97	30.80	29.01	28.63	28.20	28.12	28.03
8.8E+01	200	261.66	308.43	318.64	297.88	273.76	217.97	189.93	140.85	118.01	84.34	70.40	51.71	44.96	36.40	33.73	30.49	29.61	28.60	28.37	28.12	28.07
9.1E+01	200	254.71	290.95	303.66	296.70	257.92	231.85	179.41	153.97	112.60	94.21	68.03	57.68	44.05	39.34	33.45	31.67	29.55	28.99	28.36	28.22	28.07
9.4E+01	200	245.32	279.19	293.67	280.79	264.27	216.67	192.91	146.00	124.09	90.31	75.94	56.04	48.51	38.75	35.51	31.50	30.33	28.95	28.61	28.21	28.13
9.7E+01	200	239.59	269.90	279.99	278.97	249.73	228.59	182.33	158.60	118.16	100.02	73.18	62.23	47.39	42.01	35.12	32.92	30.22	29.47	28.58	28.37	28.13
1.0E+02	200	234.75	259.79	274.24	264.86	233.78	218.03	193.55	150.25	123.26	95.67	81.2	60.29	52.12	41.26	37.46	32.87	31.19	29.40	28.92	28.36	28.22

Ilustración 68. Modelo Numérico-Matemático para 1200 grados centígrados.

Fuente: Autor

# MODELO NUMÉRICO-MATEMÁTICO NUEVO

Tiempo (seg)	Temperatura (°C)																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.9E-001	15	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
5.9E-001	15	71.5	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
8.8E-001	15	71.5	49.75	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.2E+001	15	82.375	49.75	38.875	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.5E+001	15	82.375	60.625	38.875	33.44	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
1.8E+001	15	87.81	60.63	47.03	33.44	30.72	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.1E+001	15	87.81	67.42	47.03	38.88	30.72	29.36	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.4E+001	15	91.21	67.42	53.16	38.88	34.12	29.36	28.68	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.6E+001	15	91.21	72.18	53.16	43.63	34.12	31.40	28.68	28.34	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2.9E+001	15	93.69	72.18	57.91	43.63	37.62	31.40	29.87	28.34	28.17	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.2E+001	15	93.69	75.75	57.91	47.71	37.62	33.69	29.87	29.02	28.17	28.08	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.5E+001	15	95.37	75.75	61.73	47.71	40.70	33.69	31.36	29.02	28.55	28.08	28.04	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3.8E+001	15	95.37	78.55	61.73	51.22	40.70	36.03	31.36	29.95	28.55	28.30	28.04	28.02	28	28	28	28	28	28	28	28	28
4.1E+001	15	96.78	78.55	64.88	51.22	43.62	36.03	32.99	29.95	29.13	28.30	28.16	28.02	28.01	28	28	28	28	28	28	28	28
4.4E+001	15	96.78	80.83	64.88	54.25	43.62	38.31	32.99	31.06	29.13	28.64	28.16	28.08	28.01	28.01	28	28	28	28	28	28	28
4.7E+001	15	97.91	80.83	67.54	54.25	46.28	38.31	34.68	31.06	29.95	28.64	28.36	28.08	28.05	28.01	28.00	28	28	28	28	28	28
5.0E+001	15	97.91	82.73	67.54	56.91	46.28	40.48	34.68	32.27	29.95	29.11	28.36	28.20	28.05	28.02	28.00	28.00	28	28	28	28	28
5.3E+001	15	98.88	82.73	69.82	56.91	48.70	40.48	36.37	32.27	30.69	29.11	28.66	28.20	28.11	28.02	28.01	28.00	28.00	28	28	28	28
5.6E+001	15	98.88	84.34	69.82	59.26	48.70	42.53	36.37	33.53	30.69	29.67	28.66	28.38	28.11	28.06	28.01	28.00	28	28	28	28	28
5.9E+001	15	99.67	84.34	71.80	59.26	50.90	42.53	38.03	33.53	31.60	29.67	29.03	28.38	28.22	28.06	28.04	28.01	28.00	28	28	28	28
6.2E+001	15	99.67	85.74	71.80	61.35	50.90	44.46	38.03	34.82	31.60	30.31	29.03	28.63	28.22	28.13	28.04	28.02	28.00	28.00	28	28	28
6.5E+001	15	100.37	85.74	73.54	61.35	52.91	44.46	39.64	34.82	32.57	30.31	29.47	28.63	28.38	28.13	28.07	28.02	28.01	28.00	28.00	28	28
6.8E+001	15	100.37	86.95	73.54	63.22	52.91	46.27	39.64	36.10	32.57	31.02	29.47	28.92	28.38	28.23	28.07	28.04	28.01	28.01	28.00	28.00	28
7.1E+001	15	100.98	86.95	75.09	63.22	54.75	46.27	41.19	36.10	33.56	31.02	29.97	28.92	28.58	28.23	28.13	28.04	28.02	28.01	28.00	28.00	28
7.4E+001	15	100.98	88.03	75.09	64.92	54.75	47.97	41.19	37.37	33.56	31.77	29.97	29.27	28.98	28.35	28.13	28.08	28.02	28.01	28.00	28.00	28
7.6E+001	15	101.62	88.03	76.48	64.92	56.44	47.97	42.67	37.37	34.57	31.77	30.52	29.27	28.81	28.35	28.22	28.08	28.05	28.01	28.01	28.00	28.00
7.9E+001	15	101.62	88.00	76.48	66.46	56.44	49.56	42.67	38.62	34.57	32.54	30.52	29.67	28.81	28.52	28.22	28.13	28.05	28.03	28.01	28.01	28.01
8.2E+001	15	102.00	88.00	77.73	66.46	58.01	49.56	44.09	38.62	35.98	32.54	31.11	29.67	29.09	28.52	28.32	28.13	28.08	28.03	28.02	28.00	28.00
8.5E+001	15	102.00	89.88	77.73	67.87	58.01	51.05	44.09	39.84	35.98	33.34	31.11	30.10	29.09	28.71	28.32	28.20	28.08	28.05	28.02	28.01	28.00
8.8E+001	15	102.43	89.88	78.87	67.87	59.46	51.05	45.44	39.84	36.59	33.34	31.72	30.10	28.40	28.71	28.45	28.20	28.12	28.05	28.03	28.01	28.01
9.1E+001	15	102.43	90.85	78.87	69.16	59.46	52.45	45.44	41.02	38.69	34.16	31.72	30.56	29.40	28.93	28.45	28.29	28.12	28.08	28.03	28.02	28.01
9.4E+001	15	102.82	90.85	79.91	69.16	60.81	52.45	46.73	41.02	37.59	34.16	32.36	30.56	29.75	28.93	28.61	28.29	28.18	28.08	28.05	28.02	28.01
9.7E+001	15	102.82	91.36	79.91	70.36	60.81	53.77	46.73	42.16	37.59	34.97	32.36	31.05	29.75	29.18	28.61	28.40	28.18	28.11	28.05	28.03	28.01
1.0E+02	15	103.18	91.36	80.86	70.36	62.06	53.77	47.96	42.16	38.57	34.97	33.01	31.05	30.11	29.18	28.79	28.40	28.26	28.11	28.07	28.03	28.02

Ilustración 69. Modelo Numérico-Matemático para 115 grados centígrados.

Fuente: Autor



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **González Santander, Andrés Eduardo**, con C.C: # **1719405035** autor del trabajo de titulación: **Estudio de la capacidad de los anclajes químicos, sometidos a soldadura** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 02 de Marzo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **González Santander, Andrés Eduardo**

C.C: **1719405035**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Estudio de la capacidad de los anclajes químicos, sometidos a soldadura		
<b>AUTOR(ES)</b>	Andrés Eduardo, González Santander		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Luis Octavio Yépez Roca		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	02 de Marzo del 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	99
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Construcción, anclajes químicos, Acero		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	anclajes químicos; epóxico; termocuplas; medición de temperatura; efecto del calor de soldadura; varillas roscadas; resistencia a tracción.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>En el campo de la construcción y del diseño, a la hora de realizar adecuaciones, remodelaciones, o una construcción sencilla de vivienda o edificación, se requieren diversas técnicas constructivas, entre ellas la de usar anclajes, ya sean de tipo mecánicos o químicos.</p> <p>Se trabajará en este proyecto con anclajes químicos, y se comprobará su función mecánica y química, mientras son sometidos a diferentes pruebas, tanto en resistencia (por medio de ensayos de tracción), como por temperatura (funcionalidad del super-adhesivo que se empleará).</p> <p>Ambos tipos de pruebas se las realizará en campo, no en laboratorio, pero se tendrá como referencia un ensayo de laboratorio a tracción de una muestra de varilla roscada de 16mm, las cuales serán las que estarán ancladas al hormigón por medio de un químico llamado epóxico o super-adhesivo (de doble componente).</p> <p>Para las pruebas de temperatura se realizará un modelo numérico-matemático, el cual se comparará con los resultados obtenidos de las pruebas por temperatura. Estas pruebas consisten en aplicar calor por medio de fundir o soldar una placa metálica a las varillas de acero. En cuanto a las resistencias de tracción se compararán los resultados obtenidos en campo con los de laboratorio.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593982943031	E-mail: <a href="mailto:agonzalezs0710@hotmail.com">agonzalezs0710@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):::</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos		
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:clara.glas@cu.ucsg.edu.ec">clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			