

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales

PRÁCTICA SUPERVISADA

***“CALIBRACIÓN DE CALORIMETRO SEMIADIABATICO, MEDIANTE  
ENSAYOS DE CONTRASTACIÓN”***

Autora: Gamond Mercedes

Tutor: Inga. Civil Irico Patricia Adriana

Supervisor Externo: Ing.Civil Mora Sebastián

Fecha: 27/07/2018



## AGRADECIMIENTOS

A mi tutora interna la Directora del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba Ing. Civil Patricia Irico por brindarme el apoyo y la posibilidad de poder realizar mi Práctica Supervisada en el Laboratorio. Por todos sus consejos, enseñanzas y por instruirme tanto a nivel humano y profesional. A Marcelo Tissera por acompañarme y asesorarme en la realización de mis actividades. Y a todos los integrantes del laboratorio por su gran ayuda y disposición.

A los integrantes de la empresa “**gcp applied technologies**”, en especial a mi tutor externo el Ing. Civil Sebastián Mora, por instruirme en el uso del Calorímetro y guiarme en la realización de mi Práctica Supervisada.

A la Universidad Nacional de Córdoba, por brindarme la posibilidad de formarme tanto de manera personal como académica, y en especial a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por el excelente nivel profesional, humano y académico que brinda día a día.

A mi esposo Federico Fortuna, por su apoyo constante, por sus consejos y por la confianza que me brindo en este camino.

A toda mi familia, en especial a mi madre y hermanos, por apoyarme siempre y acompañarme en las buenas y en las malas.

A mis amigos de la vida, por acompañarme y entender mis ausencias para poder cumplir con las exigencias de la carrera.

A mis amigos de la Facultad, por estar cuando más los necesitaba, apoyarme y ayudarme para poder terminar mis estudios.

A todos, muchas gracias.

## RESUMEN

**“NO TODO LO QUE PUEDE SER CONTADO CUENTA, Y NO TODO LO QUE CUENTA PUEDE SER CONTADO”**

***Albert Einstein***

La Práctica Supervisada se llevó a cabo en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, bajo la supervisión de la Directora del Laboratorio Inga. Patricia Irico.

La misma tuvo como objetivo la Calibración de un Calorímetro Semi-Adiabático, mediante la realización de ensayos de contrastación en hormigones. Este equipo es usado para medir la variación de calor en pastas cementicias, morteros y hormigones, durante el período de fraguado.

Para lograr el objetivo se realizaron en total tres pastones de prueba. Para esto se analizaron las propiedades del hormigón en estado fresco para poder realizar, de la forma más conveniente, los ensayos para determinar tiempo de fragüe.

Además, sobre los mismos se estudiaron otras propiedades tanto en estado fresco como en endurecido.

Para la calibración específicamente se realizaron ensayos de Tiempo de Fragüe en Hormigones según la Norma IRAM 1662 y simultáneamente, ensayos utilizando el Calorímetro Semi-Adiabático. Esto, para correlacionar los resultados obtenidos y lograr la calibración del equipo.

Por último, se elaboraron procedimientos e instructivos para el correcto uso del Calorímetro Semi-Adiabático en el Laboratorio.

Se realizaron ensayos de compresión simple según la Norma IRAM 1546, para verificar la resistencia de las probetas obtenidas con los pastones de prueba.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO 1:</b>	<b>10</b>
1.1 – INTRODUCCIÓN	10
1.2 – OBJETIVOS	10
1.2.1 - <i>Objetivos Particulares</i>	10
1.2.2 - <i>Objetivos Personales</i>	10
<b>CAPITULO 2: CEMENTO Y HORMIGÓN. NORMAS IRAM 50000</b>	<b>11</b>
2.1 – CEMENTO	11
2.1.1 – <i>Definición</i>	11
2.1.2 - <i>Componentes de los Cementos</i>	11
2.1.3 - <i>Tipos De Cementos</i>	12
2.1.4 - <i>Desarrollo De Estructura De La Pasta De Cemento</i>	13
2.2 – HORMIGÓN	15
2.2.1 - <i>HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i>	15
2.2.2 - <i>HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO</i>	19
2.3 - NORMAS IRAM	20
2.3.1 - <i>Norma IRAM N° 1505 “Agregados”.</i>	20
2.3.2 - <i>Norma IRAM N° 1520 “Agregados Finos”.</i>	20
2.3.3 - <i>Norma IRAM N° 1533 “Agregado Grueso”.</i>	21
2.3.4 - <i>Norma IRAM N° 1536 “Método de Ensayo de la consistencia utilizando el Cono de Abrams”.</i>	21
2.3.5 - <i>Norma IRAM N° 1536. “Hormigones y Morteros. Determinación del tiempo de fraguado”.</i>	21
2.3.6 - <i>Norma IRAM N°1546 “Determinación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón endurecido”. Compresión Simple.</i>	21
2.4 – CALORÍMETRO	22
2.4.1 - <i>Tipos de Calorímetros</i>	23
2.4.2 - <i>Software utilizados</i>	26
2.4.2 - <i>Calorimetro Semi- adiabático</i>	26
2.4.2.3 - <i>Curva Tiempo Vs. Temperatura</i>	27
2.5 - ENSAYOS EN MINIMIX O MINI PROBETAS	29

2.5.1 - Equipamiento para ensayos Minimix _____	30
2.5.2 – Usos de Minimix _____	31
<b>CAPITULO 3: TRABAJOS Y ENSAYOS REALIZADOS _____</b>	<b>32</b>
3.1 - MATERIALES UTILIZADOS _____	32
3.2 - ENSAYOS PREVIOS A LA DOSIFICACIÓN _____	32
3.3 - DOSIFICACIÓN. PASTÓN DE PRUEBA _____	36
3.3.1 - Características del Hormigón: _____	36
3.3.2 – Parámetros considerados para la dosificación _____	36
3.3.3 - Correcciones por humedad _____	37
3.4 - PASTONES DE PRUEBA _____	38
3.5 - DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGON ENDURECIDO. COMPRESIÓN SIMPLE. NORMA IRAM N°1546 _____	44
3.5.1 - Objeto y Campo de aplicación _____	44
3.5.2 - Preparación de probetas _____	44
3.5.3 – Determinación de la Resistencia a Compresión Simple _____	45
3.5.4 – Resultados _____	46
3.6 - ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGÜE EN HORMIGON - MÉTODO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN. NORMA IRAM N°1662 _____	47
3.6.1- Objeto y Campo de aplicación _____	47
3.6.2 - Definiciones _____	47
3.6.3 - Instrumental necesario _____	47
3.6.4 - Preparación de muestras para ensayo y probetas _____	49
3.6.5 - Procedimiento de ensayo _____	50
3.6.6 - Cálculos y resultados _____	51
3.7 - ENSAYO DE CALORIMETRÍA. CALORÍMETRO SEMI-ADIABATICO _____	57
3.7.1 - Instrumental necesario _____	57
3.7.2 - Preparación de muestras para ensayo y probetas _____	57
3.7.3 - Procedimiento de ensayo. Inicio de la prueba. _____	58
3.7.4 – Inicio de lecturas. Instructivo de uso de Software HOBOWARE Pro. Anexo II. _____	59
3.7.5 – Curvas de Ensayo de Calorimetría _____	59
3.8 – CALIBRACIÓN DE CALORÍMETRO SEMI-ADIABÁTICO _____	61
3.9 – CONTRASTACIÓN DE ENSAYOS. _____	62
3.9.1 – Contrastación de curvas, realizado el día 28 de noviembre de 2017 _____	62
3.9.2 – Contrastación de curvas, realizado el día 19 de diciembre de 2017 _____	65
3.9.3 – Contrastación de curvas, realizado el día 26 de diciembre de 2017 _____	68
<b>CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____</b>	<b>72</b>

<b>ANEXO I: DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGÜE EN HORMIGÓN Y MORTERO EMPLEANDO CALORIMETRO SEMI-ADIABÁTICO.</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO II: INSTRUCTIVO DE USO. SOFTWARE HOBO WAREPRO, PARA ENSAYOS DE CALORIMETRÍA</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>84</b>

**INDICE DE FIGURAS**

<i>Figura N°1: Variación de la Resistencia en el tiempo de las diferentes fases del clínker.</i>	12
<i>Figura N°2: Representación esquemática de los iones en solución durante la hidratación del cemento portland.</i>	14
<i>Figura N°3: Evolución del calor de hidratación de un cemento portland.</i>	14
<i>Figura N°4: Hidratación del silicato tricálcico y tiempos de fraguado.</i>	17
<i>Figura N°5: Período de paso entre un estado fluido a uno rígido.</i>	17
<i>Figura N°6: Penetrómetro de Proctor.</i>	18
<i>Figura N°7: Curva de ensayo de fragüe con penetrómetro de Proctor, norma IRAM 1662.</i>	19
<i>Figura N°8: Proceso de Hidratación del Cemento.</i>	22
<i>Figura N°9: Calorímetro Semi-Adiabático.</i>	23
<i>Figura N°10: Calorímetro Isotérmico.</i>	24
<i>Figura N°11: Microcalorímetro Isotérmico.</i>	25
<i>Figura N°12: Calorímetro Semi-Adiabático.</i>	27
<i>Figura N°13: Curva Temperatura vs. Tiempo.</i>	27
<i>Figura N°14: Períodos de Hidratación.</i>	28
<i>Figura N°15: Curva obtenida con Calorímetro de la empresa.</i>	29
<i>Figura N°16: Equipamiento para ensayos Minimix.</i>	30
<i>Figura N°17: Mini Washington.</i>	31
<i>Figura N°18: Medición de la Temperatura del Hormigon en estado fresco.</i>	42
<i>Figura N°19: Realización de Cono de Abrams, para determinar consistencia del hormigón.</i>	42
<i>Figura N°20: Probetas cilíndricas para ensayo de Compresión Simple.</i>	43
<i>Figura N°21: Probeta prismática para ensayo de Tiempo de Fragüe con Penetrómetro.</i>	44
<i>Figura N°22: Mini probeta cilíndrica para ensayo de Tiempo de Fragüe con Calorímetro.</i>	44
<i>Figura N°23: Ensayo Compresión Simple de probetas de hormigón. Rotura de probeta Tipo 1.</i>	46
<i>Figura N°24: Probeta prismática para ensayo de Tiempo de Fragüe con Penetrómetro.</i>	48
<i>Figura N°25: Penetrómetro de Proctor.</i>	48
<i>Figura N°26: Tamizado del Hormigón con Tamiz IRAM 4,75 mm.</i>	49
<i>Figura N°27: Retiro del agua de exudación del mortero.</i>	50
<i>Figura N°28: Penetración con aguja Proctor en la muestra de mortero.</i>	50
<i>Figura N°29: Peso de mini probetas con balanza con precisión al gramo.</i>	57
<i>Figura N°30: Colocación de las mini probetas en los puertos 1 y 2 de Calorímetro Semi-Adiabático.</i>	58
<i>Figura N°31: Inicio de programa HOBOWare Pro.</i>	58

**INDICE DE TABLAS**

<i>Tabla N°1: Composición química de los cementos.</i>	11
<i>Tabla N°2: Composición mineralógica de los cementos.</i>	11
<i>Tabla N°3: Tipos de cementos según las Normas IRAM 50000.</i>	13
<i>Tabla N°4: Materiales utilizados.</i>	32
<i>Tabla N°5: Densidad y Absorción de los Áridos.</i>	32
<i>Tabla N°6: Mezcla del Agregado Fino.</i>	33
<i>Tabla N°7: Mezcla del Agregado Grueso.</i>	34
<i>Tabla N°8: Granulométrica de la mezcla.</i>	36
<i>Tabla N° 9: Humedad de los Agregados.</i>	38
<i>Tabla N°10: Memoria de Cálculo de Dosificación del 28 de noviembre de 2017.</i>	39
<i>Tabla N°11: Memoria de Cálculo de Dosificación del 19 de diciembre de 2017.</i>	40
<i>Tabla N°12: Memoria de Cálculo de Dosificación del 26 de diciembre de 2017.</i>	41
<i>Tabla N°13: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 28 de noviembre de 2017.</i>	46
<i>Tabla N°14: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 19 de diciembre de 2017.</i>	46
<i>Tabla N°15: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 26 de diciembre de 2017.</i>	47
<i>Tabla N°16: Dimensiones de las agujas.</i>	48
<i>Tabla N°17: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 28 de noviembre de 2017.</i>	51
<i>Tabla N°18: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 19 de diciembre de 2017.</i>	53
<i>Tabla N°19: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 26 de diciembre de 2017.</i>	55
<i>Tabla N°20: Resultado de los ensayos según Norma IRAM 1662.</i>	56
<i>Tabla N°21: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 28 de noviembre de 2017.</i>	63
<i>Tabla N°22: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 19 de diciembre de 2017.</i>	66
<i>Tabla N°23: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 26 de diciembre de 2017.</i>	69
<i>Tabla N°24: Resultados de ensayos de Calorimetría.</i>	70



## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Curva Granulométrica del Agregado Fino. _____	33
Gráfico N°2: Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos. _____	35
Gráfico N°3: Curva Granulométrica de la Mezcla. _____	36
Gráfico N°4: Curva Resistencia – a/c. _____	37
Gráfico N°5: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 28 de noviembre de 2017. ____	52
Gráfico N°6: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 19 de diciembre de 2017. ____	54
Gráfico N°7: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 26 de diciembre de 2017. ____	56
Gráfico N°8: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 28 de noviembre de 2017. _____	59
Gráfico N°9: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 19 de diciembre de 2017. _____	60
Gráfico N°10: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 26 de diciembre de 2017. _____	60
Gráfico N°11: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 28 de noviembre de 2017. _____	62
Gráfico N°12: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 19 de diciembre de 2017. _____	65
Gráfico N°13: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 26 de diciembre de 2017. _____	68
Gráfico N°14: Curva de Calorímetro Semi-Adiabático. Calibración. _____	71

## CAPITULO 1:

### 1.1 – INTRODUCCIÓN

El Calorímetro Semiadiabático fue entregado en Comodato en el año 2017 al Laboratorio de Estructuras de la FCEFyN por parte de la empresa estadounidense “**gcp applied technologies**”, cuyo Ingeniero de Ventas de la regional interior de Argentina es Sebastián Mora (Tutor externo de mi Práctica Supervisada). Esta empresa produce mundialmente productos para la industria de la construcción (aditivos para hormigón y cementos), y se encuentra en la Argentina desde el año 1943, la misma se destaca en el mercado por ofrecer asistencia técnica personalizada en todas las etapas del proyecto y ejecución logrando así hormigones de alta calidad.

El 11 de agosto del año 2017, participe junto con algunos integrantes del laboratorio de una capacitación brindada por la empresa en el Laboratorio de la FCEFyN, para introducirnos en el tema de la Calorimetría y ensayos en Minimix o mini probetas. La capacitación fue dictada por Rodrigo Gouvea integrante de la empresa en Brasil y Nicolás Bados integrante de la empresa en Buenos Aires.

### 1.2 – OBJETIVOS

El objetivo principal de la Práctica Supervisada es calibrar el Calorímetro Semi-Adiabático, mediante ensayos de contrastación, elaborando procedimientos e instructivos de uso y capacitar al personal del laboratorio.

#### 1.2.1 - Objetivos Particulares

- Conocer las normativas nacionales vigentes.
- Interactuar con el personal de la empresa “**gcp applied technologies**”, para diseñar un plan de actividades.
- Diseñar un hormigón y realizar pastones de prueba.
- Seleccionar los materiales a ser utilizados.
- Realizar ensayos contrastación.
- Evaluar los resultados obtenidos.

#### 1.2.2 - Objetivos Personales

- Trasladar los conceptos teórico - prácticos adquiridos durante el periodo académico, a través de un proyecto técnico que requiere del correcto uso de materiales y equipamiento respetando las normas correspondientes.

## CAPITULO 2: CEMENTO Y HORMIGÓN. NORMAS IRAM 50000

### 2.1 – CEMENTO

#### 2.1.1 – Definición

La Norma IRAM 50000 define como Cemento al conglomerante hidráulico obtenido como producto en una fábrica de cemento, que contiene al clínker pòrtland como constituyente necesario.

El cemento es un material inorgánico finamente molido que, al entrar en contacto con el agua, experimenta un Proceso Exotérmico, es decir, libera calor, se genera una pasta que es capaz de fraguar y endurecer, en virtud de estas reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

El cemento portland es el ligante más utilizado en la construcción y cumple un rol muy importante en el comportamiento, la calidad y la durabilidad del Hormigón. Cabe destacar también, que por cada tonelada de cemento producido se emiten 0.6 a 0.9 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera.

#### 2.1.2 - Componentes de los Cementos

##### A) Composición química

Constituyentes	Elemento	Notación	Proporción (%)	Total (%)
Principales	Óxido de Calcio	CaO	60,0-67,0	90
	Sílice	SiO <sub>2</sub>	17,0-25,0	
	Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0-8,0	
	Óxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-6,0	
Secundarios	Óxido de Magnesio	MgO	0,1-4,0	10
	Álcalis	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,2-1,4	
	Tióxido de Azufre	SO <sub>3</sub>	1,0-4,5	

Tabla N°1: Composición química de los cementos.

##### B) Composición mineralógica

Compuestos	Fórmula abreviada	Proporción (%)
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	30-70
Silicato dicálcico	C <sub>2</sub> S	10-40
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A	0-15
Ferroaluminato tetracálcico	C <sub>4</sub> AF	5-20

Tabla N°2: Composición mineralógica de los cementos.

Las propiedades de los compuestos mineralógicos son:

Compuestos	Propiedad	Velocidad de Hidratación	Reacción	Calor liberado (J/gr)
Silicato tricálcico	Confiere resistencia inicial.	Rápida	Exotérmica	502
Silicato dicálcico	Confiere resistencia a largo plazo.	Lenta	Exotérmica	260
Aluminato tricálcico	Produce el fraguado. Poco aporte a la Resistencia	Rápida	Exotérmica	850
Ferroaluminato tetracálcico	Produce fraguado inicial. Poco aporte a la Resistencia	Rápida	Exotérmica	420

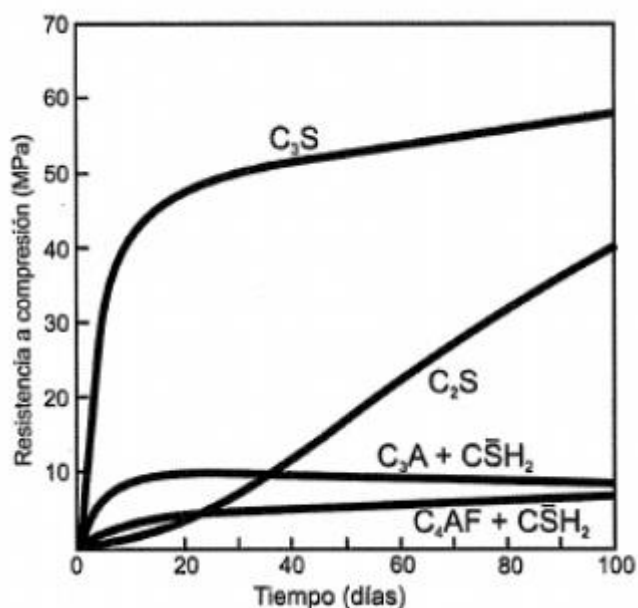


Figura N°1: Variación de la Resistencia en el tiempo de las diferentes fases del clínker.

### 2.1.3 - Tipos De Cementos

Los cementos que se comercializan en la Argentina están especificados en las Normas IRAM 50000 (Cementos para uso general) por su composición, los cementos se clasifican en seis tipos:

- Cemento Portlánd Normal (CPN)
- Cemento Portlánd con Filler calcáreo (CPF)
- Cemento Portlánd con escoria (CPE)
- Cemento Portlánd Compuesto (CPC)
- Cemento Portlánd Puzolánico (CPP)
- Cemento de alto horno (CAH)

Tipo de cemento (5) IRAM 50000	Nomenclatura	Composición (1, 2) (g/100 g)				
		Clínker + sulfato de calcio	Puzolana o Ceniza Volante (P o CV)	Escoria (E)	"Filler" calcáreo (F)	Comp. minoritarios
Cemento pórtland normal	CPN	100-95	---	---	---	0-5
Cemento pórtland con "filler" calcáreo	CPF	94-75	---	---	6-25	0-5
Cemento pórtland con escoria	CPE	94-65	---	6-35	---	0-5
Cemento pórtland compuesto (3)	CPC	94-65	6 < (P o CV + E + F) < 35 con F < 25			0-5
Cemento pórtland puzolánico (4)	CPP	85-50	15-50	---	---	0-5
Cemento de alto horno	CAH	64-25	---	36-75	---	0-5

Tabla N°3: Tipos de cementos según las Normas IRAM 50000.

#### 2.1.4 - Desarrollo De Estructura De La Pasta De Cemento

A continuación se explica brevemente el proceso exotérmico que experimenta el cemento y el desarrollo de la estructura de la pasta de cemento.

Cuando el cemento es mezclado con el agua, se produce una solución sobresaturada de  $\text{Ca}^{2+}$  y pH muy elevado como resultado de la hidrólisis de los silicatos. La concentración de los iones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y álcalis ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) es elevada desde los primeros minutos de la hidratación (Figura N°2), a partir de la cual, se produce la precipitación del CH, la ettringita y el C-S-H. La formación de la capa de C-S-H y de ettringita sobre los granos de cemento, retarda la hidratación futura y justifica la existencia del período durmiente. Este período se caracteriza por tener una relativa inactividad, con una duración de una a dos horas durante las que la pasta de cemento permanece plástica y trabajable. Figura N°3.

El final del período durmiente y el inicio del fraguado se atribuyen a la ruptura de la capa de C-S-H que permite que continúe el proceso de hidratación. Como el volumen de los productos de hidratación es mayor que el volumen del cemento anhidro, los compuestos formados con el avance de la hidratación llenan progresivamente los espacios entre los granos de cemento y se crean puntos de contacto que causan la rigidización de la pasta (inicio del fraguado).

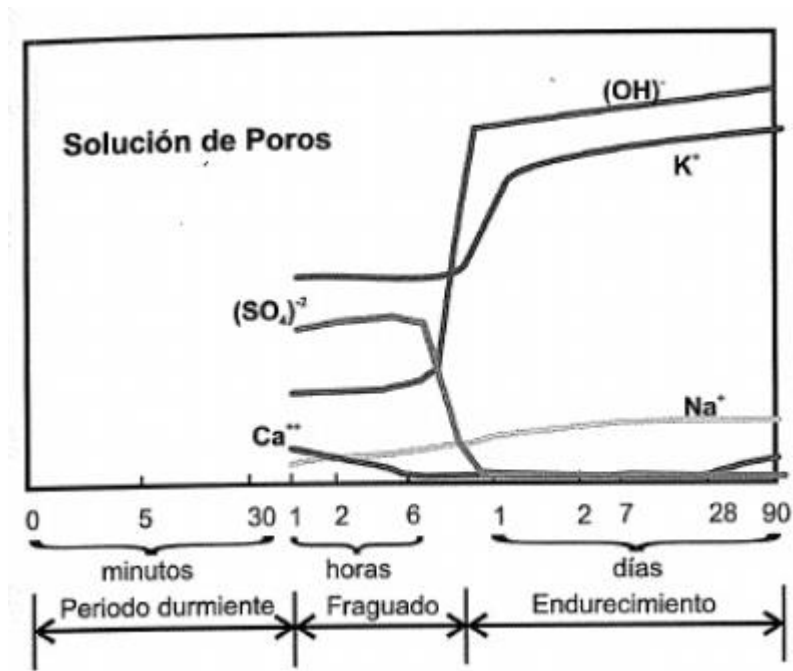


Figura N°2: Representación esquemática de los iones en solución durante la hidratación del cemento portland.

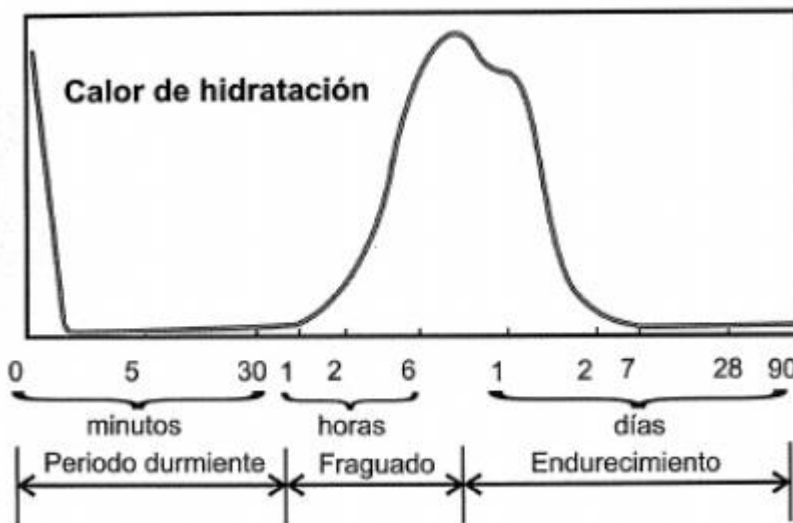


Figura N°3: Evolución del calor de hidratación de un cemento portland.

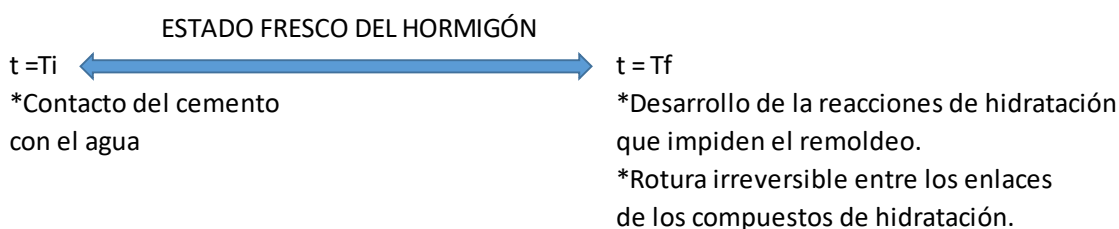
Con el aumento del tiempo de hidratación, la concentración de hidratos y el aumento de puntos de contacto restringen totalmente la movilidad de la pasta y se alcanza el fraguado final del cemento comenzando el período de endurecimiento donde la pasta adquiere resistencia. El período de fraguado se caracteriza por una aceleración en la velocidad de hidratación, en tanto que el período de endurecimiento es un estado durante el cual las reacciones desaceleran.

## 2.2 – HORMIGÓN

El Hormigón es una mezcla homogénea, compuesta por una pasta adhesiva de cemento portland y agua que mantiene adheridas un conjunto de partículas de materiales generalmente inertes, denominados agregados.

### 2.2.1 - HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

El comienzo del estado fresco del Hormigón se lo considera en el instante en que toda el agua de la mezcla se ha puesto en contacto con el cemento.



El período de estado fresco del Hormigón es de corta duración. En condiciones medias de temperatura (15 a 30°C) está comprendido entre las 2 y 6 horas. Este tiempo se acorta con el aumento de la temperatura (a menos de 2 horas), y se prolonga con un descenso de la misma (hasta mucho más de 6 horas). Las condiciones del estado fresco se pueden modificar con el uso de aditivos que aceleran o retardan el fraguado del Hormigón.

#### 2.2.1.1. - *Propiedades del Hormigón en Estado Fresco*

- **Trabajabilidad:** es la propiedad que relaciona la movilidad del hormigón fresco con las condiciones de la estructura a moldear y el proceso constructivo a emplear para su puesta en sitio, orientados a obtener la máxima compacidad con un gasto mínimo de energía. Lograr la mejor compactación con la menor cantidad de vacíos posible.
- **Cohesión:** es la propiedad por la cual los componentes se mantienen formando una mezcla uniforme, uniformidad en sus propiedades. Está vinculada a la capacidad del hormigón fresco de mantener la homogeneidad en la mezcla, durante los procesos de fabricación, transporte, colocación y compactación del mismo.

#### 2.2.1.2 - *Duración del Estado Fresco del Hormigón*

El proceso de transformación del estado fluido-viscoso al estado endurecido del hormigón, es continuo y gradual. Este no presenta ninguna manifestación externa visible que permita diferenciar entre sí, las etapas de estado fresco y de fraguado.

Sin embargo, es necesario poder identificar el momento en el cual se produce el pasaje de un estado a otro, ya que al finalizar el estado fresco, el hormigón pierde trabajabilidad y no permite ser moldeado.

Cuando finaliza el estado fresco y comienza el período de fraguado, el hormigón adquiere un nivel de rigidez determinado.

Las principales variables que influyen en la duración del estado fresco son:

- 1- Propiedades del cemento empleado.
- 2- Uso de aditivos: acelerados y retardadores de fraguado
- 3- Presencia de impurezas de los agregados
- 4- Calidad del agua utilizada
- 5- Relación agua/cemento
- 6- Temperatura de la masa de hormigón fresco

### **2.2.1.3 - Medición de la duración del Estado Fresco**

#### **1) Ensayos de tiempo de fraguado**

El ensayo práctico más utilizado se basa en el concepto de medir una propiedad macroscópica que tiene que ver con el cambio del estado físico del hormigón a lo largo del tiempo por medio de la resistencia a la penetración.

El pasaje del hormigón al estado sólido es el producto de las reacciones de hidratación del aglomerante, es posible establecer valores de resistencia en los ensayos de modo que ellos se identifiquen de alguna manera con los puntos físicos de principio y fin de fraguado de la masa.

Como se detalló en el apartado anterior “Desarrollo de la estructura de la pasta de cemento”, el período en que la mezcla se encuentra en estado plástico y moldeable (período fresco) se corresponde la suma de los estados 1 y 2 de hidratación del  $C_3S$  y el lapso en que la mezcla se encuentra en estado pastoso y no moldeable (período de fraguado) se corresponde con el estado 3 de hidratación del  $C_3S$ . Los estados de hidratación 4 y 5 corresponden al hormigón en estado endurecido. Figura N°4.

Entonces, el tiempo de inicio de fraguado del hormigón será aquél donde finalice el período dormiente en el proceso de hidratación del  $C_3S$ . Y el tiempo final de fraguado, se vincula con la finalización del estado de aceleración de la hidratación del  $C_3S$  o endurecimiento.



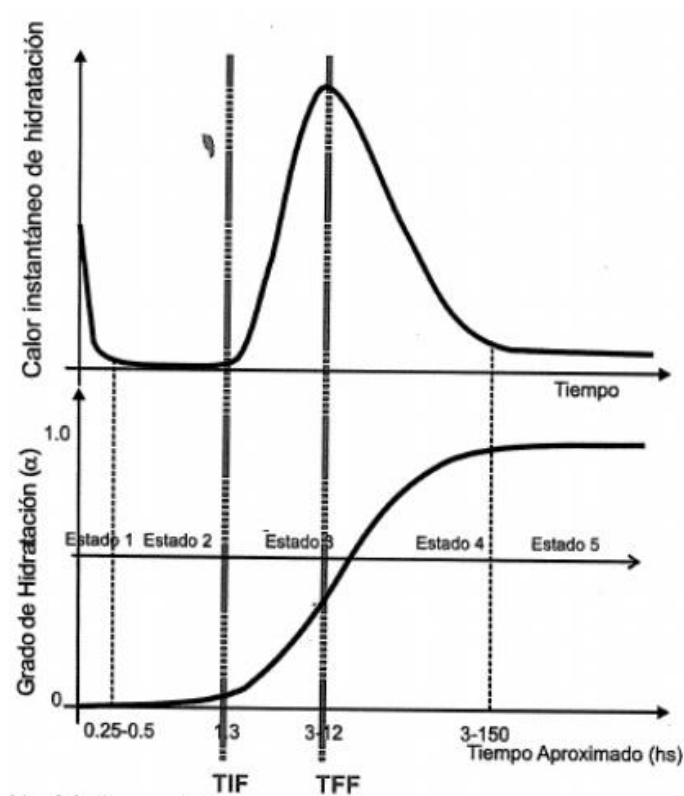


Figura N°4: Hidratación del silicato tricálcico y tiempos de fraguado.

Los puntos físicos de inicio y fin de fraguado, definidos con relación a la hidratación temprana del  $C_3S$ , no son factibles de determinar en forma práctica para cada mezcla. Sin embargo, están vinculados con el proceso de rigidización de la masa fresca, como se muestra en la Figura N°5.

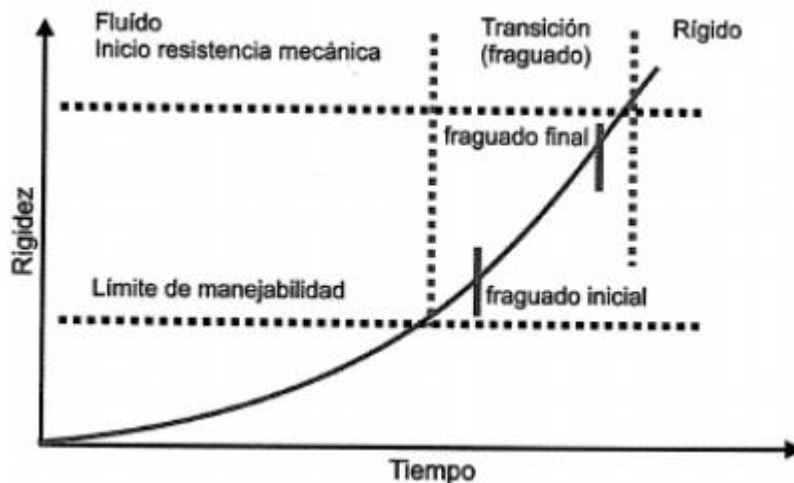


Figura N°5: Período de paso entre un estado fluido a uno rígido.

## 2) Método de resistencia a la penetración

El ensayo de penetración (Tuthill y Cordon, 1955; Norma IRAM 1662), es el de mayor difusión para evaluar los tiempos de inicio y final de fraguado.

Consiste en evaluar el desarrollo del proceso de endurecimiento del hormigón pastoso midiendo el esfuerzo necesario para introducir, en una profundidad determinada, una aguja en la muestra fresca.

El instrumento utilizado es el Penetrómetro de Proctor, Figura N°6. Consiste en un dinamómetro a resorte de accionamiento manual que permite medir la fuerza aplicada para que las agujas penetren 25 mm por debajo de la superficie de la muestra fresca que se está ensayando. La fuerza aplicada se lee en una escala lineal que se encuentra junto con el vástago del dinamómetro.



Figura N°6: Penetrómetro de Proctor.

La muestra que se ensaya con el penetrómetro no es el hormigón en sí, si no el mortero obtenido del mismo, (fracción que pasa el tamiz de 4,75 mm de abertura), para poder evitar las interferencias que los agregados de tamaño grande pueden causar al penetrar las agujas.

A intervalos de tiempo definido se ejecuta la penetración y se procede a determinar la presión ejercida para la penetración de la aguja. La presión se calcula por el cociente entre la fuerza aplicada y el área transversal de la aguja utilizada. Con los datos obtenidos, se construye una curva de Presión de Penetración vs. Tiempo, de modo que en esta se represente el proceso de ganancia de rigidez de la mezcla para pasar al estado sólido.

En dicha curva es posible definir los puntos de inicio y final de fraguado, a partir de establecer una presión de penetración para la ocurrencia de cada uno de ellos. Los tiempos asociados a la presión de penetración de 3,5 MPa y de 27,6 MPa, corresponden al tiempo inicio de fragüe y tiempo final de fragüe, respectivamente. Su determinación fue realizada por los autores del método evaluando el hormigón con el ensayo, a la par de comparar el comportamiento del hormigón ante fenómenos físico, como la vibración y la resistencia.

A continuación se muestra una curva típica obtenida con el penetrómetro. Figura N°7.

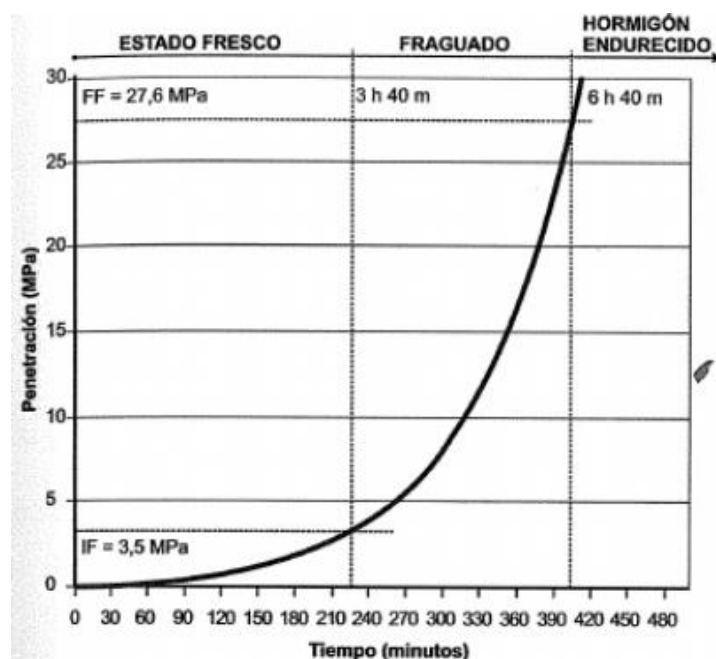


Figura N°7: Curva de ensayo de fragüe con penetrómetro de Proctor, norma IRAM 1662.

## 2.2.2 - HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

Una vez que finaliza el periodo de fraguado el hormigón comienza a endurecerse y a comportarse como un sólido, el proceso continúa por varios años hasta que se completa la hidratación de todas las partículas de cemento; para ello es necesario la presencia de agua, es decir que si el hormigón deja de estar en contacto con el agua, se interrumpe su hidratación. De esta forma, dejara de adquirir resistencia con el paso del tiempo.

Una vez endurecido el mismo es capaz de soportar cargas actuantes, como agentes agresivos externos.

### 2.2.1 - Propiedades del Hormigón en Estado Endurecido

Las propiedades que debe cumplir el hormigón un vez endurecido son:

- Resistencia mecánica: la respuesta mecánica del hormigón está ligada a las características de sus fases componentes y a su interacción en las zonas de transición, llamadas interfaces y asociado a la presencia y propagación de fisuras. Al tratarse de un material heterogéneo, las diferencias de rigidez entre matriz e inclusiones, la respuesta mecánica va a depender de la composición de la matriz: el tipo de agregado, la textura y rugosidad del mismo, su volumen total y su tamaño máximo y la distribución de tamaño de partículas.
- Durabilidad: durante toda la vida útil, el hormigón está permanentemente expuesto a las acciones provenientes de agentes externos e internos, que pueden afectar su durabilidad, algunas de estas acciones son: variación de la temperatura, variación de la humedad, entre otras.

### 2.3 - NORMAS IRAM

Para el desarrollo de las actividades en el laboratorio hizo falta consultar aquellas normas que estaban ligadas directamente con la actividad principal de este informe. Estas fueron provistas por el Laboratorio de Estructuras de la Facultad.

Las normas que se utilizaron y se consultaron para poder realizar los ensayos fueron las siguientes:

#### 2.3.1 - Norma IRAM N° 1505 “Agregados”.

##### **Análisis Granulométrico.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer el método de ensayo para determinar la composición granulométrica de las partículas que constituyen los agregados finos y gruesos, mediante tamizado.
- Fundamento del método: Una muestra de agregado seco se pesa y se separa a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas para determinar su composición granulométrica.

#### 2.3.2 - Norma IRAM N° 1520 “Agregados Finos”.

##### **Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer los métodos gravimétricos y volumétricos, para determinar la densidad relativa, la densidad relativa aparente y la absorción del agua de los agregados finos.

### **2.3.3 - Norma IRAM N° 1533 “Agregado Grueso”.**

**Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer el método para determinar la densidad relativa, la densidad relativa aparente y la absorción del agua de los agregados gruesos.

### **2.3.4 - Norma IRAM N° 1536 “Método de Ensayo de la consistencia utilizando el Cono de Abrams”.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer el método de ensayo de consistencia del hormigón de cemento portland, midiendo el asentamiento mediante el uso del Cono de Abrams. Este método es aplicable en laboratorio y en obra.
- Es aplicable en hormigones plásticos con agregados gruesos hasta un tamaño nominal de 37,5 mm. En el caso de agregados gruesos mayores a 37,5 mm, el método es solamente aplicable cuando se realiza sobre una fracción del hormigón que pase el tamiz IRAM 37,5 mm, obtenida de acuerdo a la norma IRAM N°1697 (Hormigón fresco de cemento pòrtland. Método de separación de agregados grandes por tamizado).

### **2.3.5 - Norma IRAM N° 1536. “Hormigones y Morteros. Determinación del tiempo de fraguado”.**

**Método de la resistencia a la penetración.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer el método de determinación del tiempo de fraguado de hormigones y morteros de cemento portland por medio de la medida de la resistencia a la penetración.
- Este método también puede emplearse para determinar los efectos sobre el tiempo de fraguado y sobre las características del endurecimiento del hormigón de variables tales como temperatura, cemento, proporción de las mezclas, adiciones y aditivos.

### **2.3.6 - Norma IRAM N°1546 “Determinación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón endurecido”. Compresión Simple.**

- Objeto y campo de aplicación: Establecer el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos de hormigón de cemento portland.

## 2.4 – CALORÍMETRO

En el proceso de hidratación del cemento, Figura N°8, este material, al mezclarse con el agua, reacciona y comienza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante.

Como ya dijimos anteriormente, cada uno de los constituyentes del cemento al entrar en contacto con el agua reacciona exotérmicamente, es decir liberan calor. Y estos presentan diferentes comportamientos en cuanto a generación de calor de hidratación, fraguado y su reacción ante la presencia de agua.

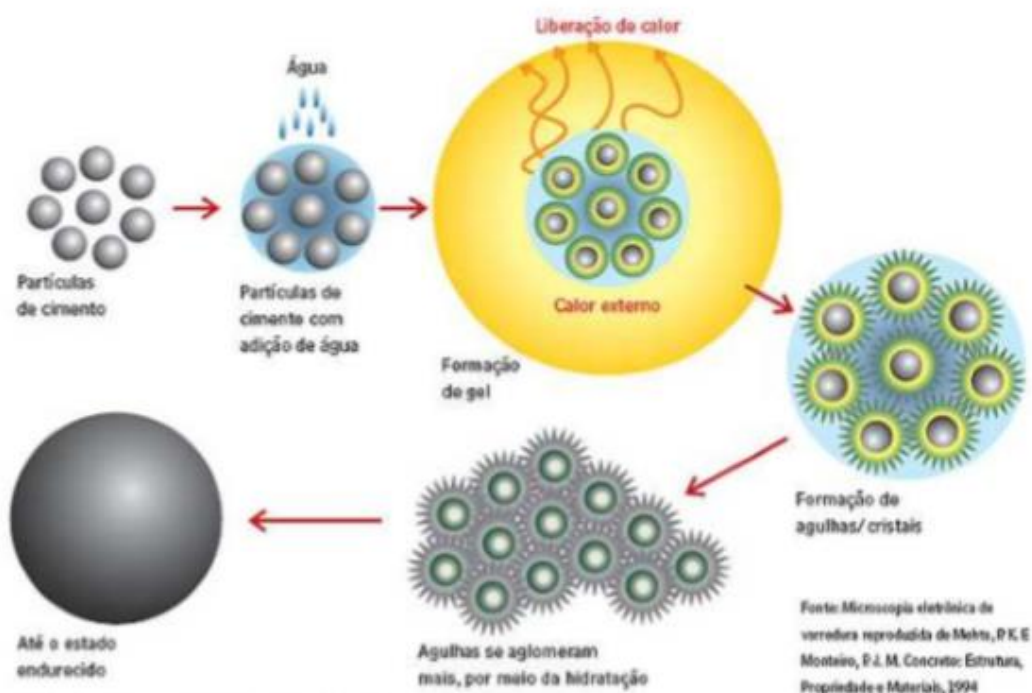


Figura N°8: Proceso de Hidratación del Cemento.

Lo que pone en evidencia que el calorímetro es un instrumento muy útil en el ámbito de los materiales para la construcción, como el cemento y el hormigón.

Existen varios tipos de Calorímetros en el mercado. Los hay Semi-Adiabáticos, Isotérmicos, Microcalorímetro Isotérmicos, cada uno de estos tiene como objetivo final medir la liberación de calor con el paso del tiempo, en muestras de pastas cementicias.

## 2.4.1 - Tipos de Calorímetros

### a) Calorímetro Semi-Adiabático (GRACE AdiaCal)

En termodinámica se designa como proceso adiabático a aquel en el cual el sistema termodinámico (generalmente, un fluido que realiza un trabajo) no intercambia calor con su entorno.

Características del equipo y cuidados que se deben tener:

- El mismo se utiliza para medir temperaturas en Hormigones, Morteros y Pasta de Cemento.
- Las unidades en las cuales trabaja son Grados Fahrenheit (°F) y en Grados Centígrados (°C).
- El mismo deberá estar ubicado en un local a temperatura ambiente controlada. Donde no haya una circulación permanente de gente y ninguna corriente de aire que pueda alterar las mediciones.
- Cantidad de puertos cuatro.
- Es importante mantener el equipo cerrado para conservar su limpieza.
- Deberá estar ubicado sobre una superficie lisa y uniforme.
- Es un equipo liviano y fácil de transportar.
- Puede ser utilizado en laboratorios y en obra.

### Semi-Adiabatic Calorimeter GRACE AdiaCal



Figura N°9: Calorímetro Semi-Adiabático.

**b) Calorímetro Isotérmico (Calmetrix ICal 8000)**

En termodinámica se designa como proceso isotérmico al cambio de temperatura reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio de temperatura constante en todo el sistema.

Este equipo es empleado por la empresa para crear aditivos para la molienda de cemento.

Características del equipo y cuidados que se deben tener:

- El mismo se utiliza para medir temperaturas en Morteros y Pasta de cemento.
- Capaz de captar bajas temperaturas.
- Las unidades en las cuales trabaja son mega Vatios (mW) (Energía liberada de calor).
- El mismo deberá estar ubicado en un local donde la temperatura varíe entre (5°C-50°C). Donde no haya una circulación permanente de gente y ninguna corriente de aire que pueda alterar las mediciones.
- Cuenta con ocho puertos de dimensiones más pequeñas en comparación con el Calorímetro Semi-adiabático.
- Es más sensible que el Calorímetro Semi-adiabático.
- Es importante mantener el equipo cerrado para conservar su limpieza y evitar que el mismo se descalibre.
- Deberá estar ubicado sobre una superficie lisa y uniforme.
- Es un equipo liviano y fácil de transportar.
- Puede ser utilizado en laboratorios y en obra.

**Isothermal Calorimeter**  
Calmetrix ICal 8000



Figura N°10: Calorímetro Isotérmico.



**c) Microcalorímetro Isotérmico (TA Instruments Tam Air)**

Este equipo es empleado por la empresa para crear aditivos para la molienda de cemento.

Características del equipo y cuidados que se deben tener:

- El mismo se utiliza para medir temperaturas en Pasta de cemento.
- Capaz de captar bajas temperaturas.
- Las unidades en las cuales trabaja son micro Vatios ( $\mu W$ ) (Energía liberada de calor).
- El mismo deberá estar ubicado en un local donde la temperatura varíe entre ( $5^{\circ}C$ - $90^{\circ}C$ ). Donde no haya una circulación permanente de gente y ninguna corriente de aire que pueda alterar las mediciones.
- Cuenta con dieciséis puertos de dimensiones más pequeñas en comparación con el Calorímetro Isotérmico.
- Es más sensible que el Calorímetro Isotérmico y mucho más preciso que los anteriores.
- Es importante mantener el equipo cerrado para conservar su limpieza.
- Deberá estar ubicado sobre una superficie lisa y uniforme.
- Es un equipo liviano y fácil de transportar.
- Se emplea en laboratorios.



Figura N°11: Microcalorímetro Isotérmico.

### 2.4.2 - Software utilizados

Para poder conocer las lecturas que realizó el equipo fue necesario la utilización de Software capaces de procesar la información.

Dentro de los más conocidos, se encuentran:

- AdiaCal.
- HOBOWare.
- Calmetrix ICal 8000.
- TA Instruments Tam Air.

El software que se utilizó a lo largo de esta Práctica Supervisada fue el HOBOWare. Sus características más relevantes son:

- Es de simple aplicación.
- Unidades de medida °F y °C.
- Menor unidad de medida de tiempo es el minuto.

### 2.4.2 - Calorímetro Semi- adiabático

Como dijimos anteriormente, este equipo fue construido y entregado en comodato al Laboratorio de Estructuras por la empresa “**gcp applied technologies**”, y es el que se empleó para realizar los trabajos que se citarán a lo largo de este informe.

#### 2.4.2.1 - Estructura y componentes

El equipo consiste en una caja con tapa cuadrada de dimensiones 45x45 cm de lado y un alto de 32 cm, aislada totalmente con polietileno expandido, estilo conservadora. Figura N°12.

En el interior de la misma se hallan cuatro puertos, donde se colocan las probetas con las muestras a ensayar. Cada uno de estos puertos en su base contiene una termocupla que es la encargada de realizar las mediciones de Temperatura a medida que el tiempo avanza.

Cada una de estas termocuplas está unida a una pequeña computadora con batería que se encuentra dentro del mismo calorímetro. Es la encargada de ir almacenando las mediciones de tiempo y temperatura. Esta cuenta con un puerto USB por el cual, luego de finalizar con el ensayo, es posible trasladar los datos a una computadora para poder observar las mediciones que el equipo captó.



Figura N°12: Calorímetro Semi-Adiabático.

### 2.4.2.2 - Usos

Este equipo tiene varios usos:

- Estimación de inicio y final de fraguado en Morteros y Pastas de Cemento.
- Verificación del falso fraguado.
- Verificación del fraguado acelerado.
- Verificación del fraguado retardado.
- Optimización en dosis de aditivo.
- Para identificar incompatibilidad entre materiales.
- Control de materiales.
- Desequilibrio de sulfatos.

### 2.4.2.3 - Curva Tiempo Vs. Temperatura

Típica curva obtenida con el Calorímetro, es la que se muestra en la siguiente Figura N°13:

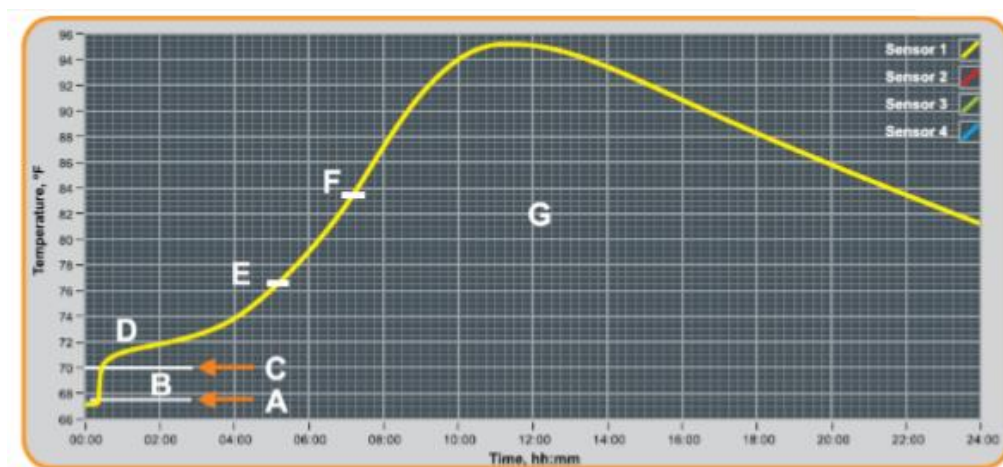


Figura N°13: Curva Temperatura vs. Tiempo.

Donde se pueden observar varias instancias de la hidratación del cemento, morteros y hormigones.

- A. Comienzo de la prueba, adición de la muestra a ensayar en el equipo.
- B. Ajuste de temperatura inicial de la muestra con el equipo.
- C. Temperatura de la muestra colectada.
- D. Período de inactividad. Donde es posible identificar reacción de fraguado instantáneo.
- E. Estimativa de inicio de fraguado.
- F. Estimativa de final de fraguado.
- G. Hidratación de los silicatos responsables del desarrollo de la resistencia.

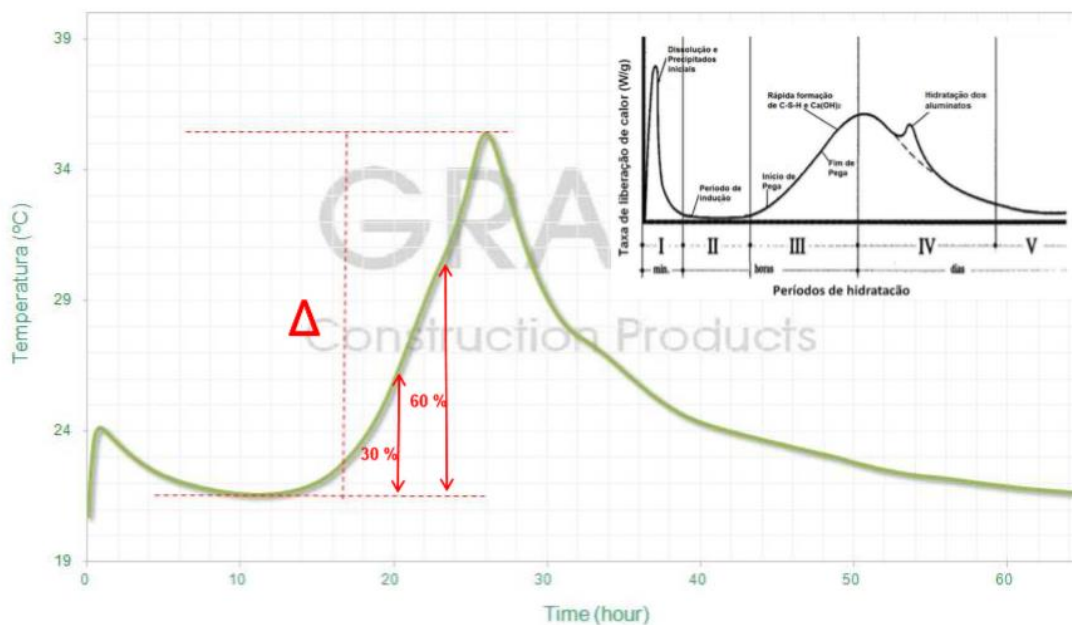
La empresa “**gcp applied technologies**”, realizó la correlación de las curvas obtenidas con las Normas ASTM C403, y la obtenida con su calorímetro, para poder calibrar el aparato que hoy utilizan en la empresa, y así estimar aproximadamente en qué punto de la curva, se encuentran los tiempos inicial y final de fraguado.

Observando la Figura N°14, donde se muestra las etapas de hidratación de la pasta cementicia, se puede apreciar el inicio y final de fraguado de una muestra.



Figura N°14: Períodos de Hidratación.

La empresa definió, que para su Calorímetro, los tiempos de inicio y final de fragüe, son el 30% y 60% de la diferencia entre los picos máximos y mínimos de la curva, respectivamente. Figura N°15.



Company Confidential

Figura N°15: Curva obtenida con Calorímetro de la empresa.

## 2.5 - ENSAYOS EN MINIMIX O MINI PROBETAS

Minimix o mini probetas, consiste en realizar los ensayos sobre pastas cementicias y morteros, que hoy en día se realizan en el laboratorio según las normas IRAM, pero utilizando un instrumental de dimensiones más pequeñas.

El propósito de utilizar una escala menor, es lograr mejores resultados en aspectos técnicos, económicos, en términos de plazos y medio ambiental.

- Aspectos Técnicos:
  - Resultados más precisos.
  - Mayor control sobre los factores que puedan afectar los resultados.
  - Menor sensibilidad a cambios de temperatura y humedad.
  - Menor esfuerzo en la ejecución de ensayos.
- Aspectos Económicos:
  - Menor mano de obra.

- Menor cantidad de material para la realización de ensayos.
- Evitar grandes traslados de materiales para la ejecución de ensayos.
- Aspectos en Términos de plazos:
  - Resultados obtenidos en menor tiempo.
- Aspectos de Medio Ambiente:
  - Disminuye el desperdicio de material.
  - Disminuye la utilización de cemento para la ejecución de ensayos de prueba.

La empresa brasilera en la capacitación dada el día 11 de agosto del 2017, explicó brevemente lo relacionado a Minimix o mini probetas y el instrumental que hoy, es posible conseguir en el mercado.

### 2.5.1 - Equipamiento para ensayos Minimix

En la Figura N°16, podemos observar: un mini cono de Abrams, un mini vaso metálico, barra de compactación, base metálica, barra para enrasar.



Figura N°16: Equipamiento para ensayos Minimix.

En la Figura N°17, se puede observar un mini Washington, para obtener el porcentaje de aire incorporado en morteros.



Figura N°17: Mini Washington.

### 2.5.2 – Usos de Minimix

- Optimización de dosis de aditivo.
- Selección de aditivo.
- Verificación de falso fraguado.
- Verificación de fraguado acelerado.
- Verificación de retardo de fraguado.
- Estabilización del concreto con aditivo retardador.
- Materiales incompatibles.
- Control de materiales.

## CAPITULO 3: TRABAJOS Y ENSAYOS REALIZADOS

### 3.1 - MATERIALES UTILIZADOS

Para realizar los pastones de prueba se utilizaron los siguientes materiales:

MATERIALES	DESIGNACIÓN	PROCEDENCIA	LUGAR DE PROCEDENCIA
Cemento	CPF40	HOLCIM	Córdoba
Agregado Grueso 1	Triturado 6-30	Cantera Blancaley	San Agustín Córdoba
Agregado Grueso2	Triturado 6-19	Cantera Blancaley	San Agustín Córdoba
Agregado Fino	Arena	Cantera Bocos	Río Tercero

Tabla N°4: Materiales utilizados.

### 3.2 - ENSAYOS PREVIOS A LA DOSIFICACIÓN

A los agregados intervinientes se le realizaron una serie de ensayos para poder conocer sus características más importantes y así poder determinar la dosificación adecuada para realizar los pastones de prueba. Los ensayos realizados según la Norma IRAM, fueron los siguientes:

- Norma IRAM N° 1505 “Agregados”. Análisis Granulométrico.
- Norma IRAM N° 1520 “Agregados Finos”. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- Norma IRAM N° 1533 “Agregado Grueso”. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.

#### ➤ **Los valores obtenidos de Densidad y Absorción de los áridos:**

MATERIALES	DESIGNACIÓN	Densidad de los áridos	Absorción de los áridos
		(Kg/dm <sup>3</sup> )	(%)
Agregado Grueso 1	Triturado 6-30	2,72	0,74
Agregado Grueso 2	Triturado 6-19	2,7	1
Agregado Fino	Arena	2,67	1,06

Densidad de los áridos: Densidad saturada a superficie seca (sss), expresada en Kg/dm<sup>3</sup>.  
Norma IRAM 1520 y 1533.

Absorción de los áridos: Valores de la absorción de los agregados expresadas en (%).  
Norma IRAM 1520 y 1533.

Tabla N°5: Densidad y Absorción de los Áridos.



➤ **Curva Granulométrica del Agregado Fino:**

- *Agregado Fino: Arena.*

Tamíz IRAM [mm]	Curvas Límite			A. Fino % Pasa	Mezcla
	% Pasante				
	A	B	C	4999	
63	100	100	100	100.0	100.0
50	100	100	100	100.0	100.0
37.5	100	100	100	100.0	100.0
25	100	100	100	100.0	100.0
19	100	100	100	100.0	100.0
12.5	100	100	100	100.0	100.0
9.5	100	100	100	100.0	100.0
4.75	95	100	100	100.0	100.0
2.36	80	100	100	92.8	92.8
1.18	50	85	100	63.7	63.7
0.60	25	60	95	28.9	28.9
0.30	10	30	50	6.3	6.3
0.15	2	10	10	0.8	0.8
<b>M.F.</b>	3.38	2.15	1.45	3.08	<b>3.08</b>
M. F. OPTIMO A-B			<b>2.77</b>		
M. F. OPTIMO A-C			<b>2.42</b>		

PORCENTAJE DE MEZCLA :

<b>100</b>	<b>100</b>
------------	------------

Porcentaje de mezcla respecto al agregado fino total. Puede estar entre 0 y 100 %.

Tabla N°6: Mezcla del Agregado Fino.

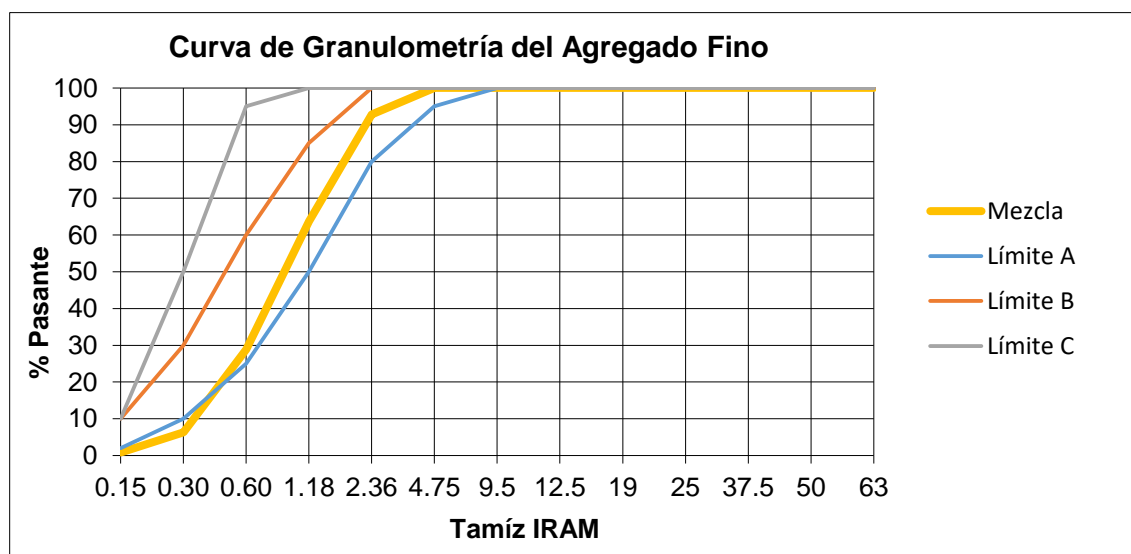


Gráfico N°1: Curva Granulométrica del Agregado Fino.

Módulo de Fineza del Agregado Fino = 3,08.

➤ **Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos:**

- Agregado Grueso 1: Triturado 6-30.
- Agregado Grueso 2: Triturado 6-19.

Tamaño máximo nominal:			25	mm.	
Tamiz IRAM [mm]	Curvas límite		Agregado Grueso		Mezcla
	% Pasante		% Pasa		
	Sup.	Inf.	5121	5122	
63	100	100	100.0	100.0	100.0
50	100	100	100.0	100.0	100.0
37.5	100	100	100.0	100.0	100.0
25	95	100	100.0	99.3	99.6
19	60	80	74.7	74.2	74.4
12.5	25	60	29.2	44.9	37.8
9.5	13	35	2.4	17.1	10.5
4.75	0	10	0.3	1.9	1.2
2.36	0	5	0.3	1.9	1.2
1.18	0	0	0.3	1.9	1.2
0.60	0	0	0.3	1.9	1.2
0.30	0	0	0.3	1.9	1.2
0.15	0	0	0.3	1.9	1.2
<b>MF</b>	7.28	6.70	7.21	6.97	<b>7.08</b>
<b>M.F. OPTIMO</b>		<b>6.99</b>			

PORCENTAJE DE MEZCLA:

**45**

**55**

**100**

Porcentaje de mezcla respecto al agregado fino total. Puede estar entre 0 y 100 %.

Tabla N°7: Mezcla del Agregado Grueso.

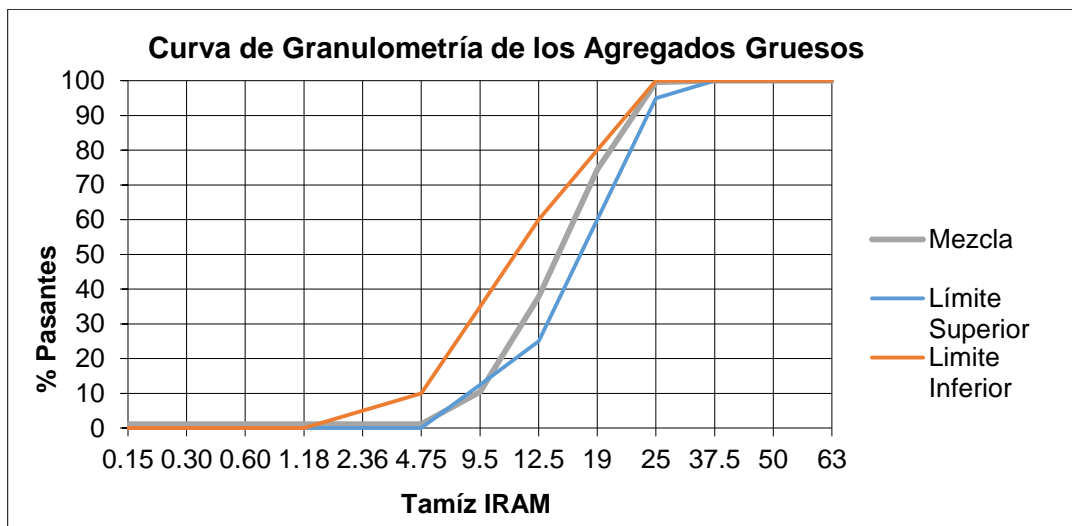


Gráfico N°2: Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos.

Módulo de Fineza de la Mezcla de Agregado Gruesos = 7,08.

➤ **Curva Granulométrica de la mezcla:**

Agregados finos que intervienen en la mezcla:		1			
FINO	Agregado N°	1			
	Designación	4999			<b>Total</b>
	% agreg.Total	50.0			<b>50.0</b>
Agregados gruesos que intervienen en la mezcla:		2			
GRUESO	Agregado N°	1	2		
	Designación	5121	5122		<b>Total</b>
	% agreg.Total	22.5	27.5		<b>50.0</b>
Tamiz IRAM [mm]	Mezcla de Agregados (% pasante)	T.M. Nominal (mm) 25.0		Fuller	
		Límites Norma IRAM 1627			
		A	B		C
63	100.0	100	100	100	100
50	100.0	100	100	100	100
37.5	100.0	100	100	100	100
25	99.8	95	98	100	100
19	87.2	75	82	94	87
12.5	68.9	55	66	87	71
9.5	55.2	48	58	81	62
4.75	50.6	35	43	69	44
2.36	47.0	27	38	56	31
1.18	32.4	19	33	44	22
0.60	15.0	10	22	31	15
0.30	3.7	4	9	18	11
0.15	1.0	1	2	5	8
<b>M. F.</b>	<b>5.08</b>	<b>5.8</b>	<b>5.1</b>	<b>4.0</b>	<b>5.2</b>
		<b>M.F. Promedio A-B</b>		<b>5.47</b>	

Tabla N°8: Granulométrica de la mezcla.

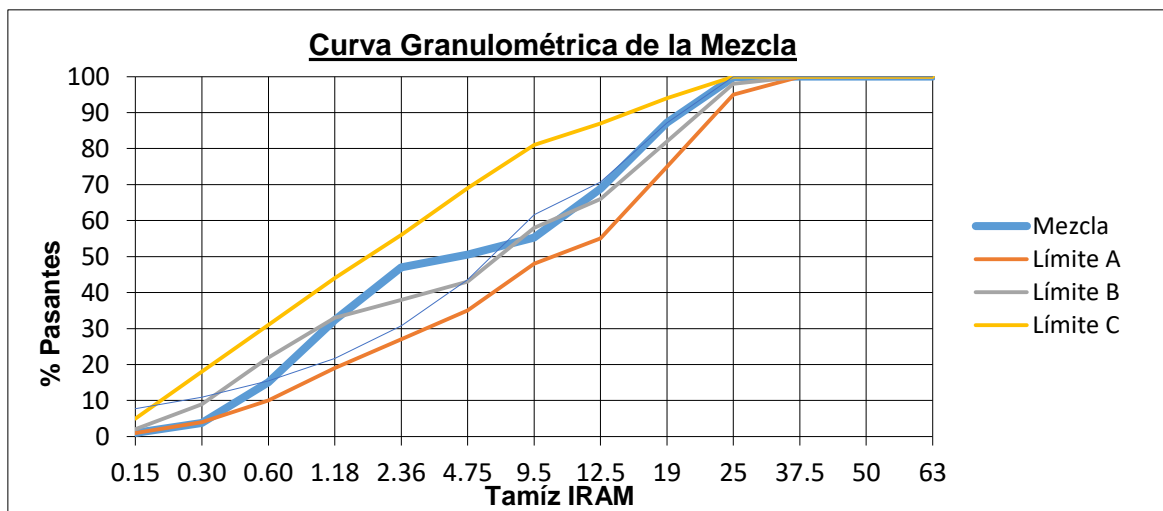


Gráfico N°3: Curva Granulométrica de la Mezcla.

*Módulo de Fineza de la Mezcla = 5,2*

### 3.3 - DOSIFICACIÓN. PASTÓN DE PRUEBA

#### 3.3.1 - Características del Hormigón:

El Hormigón propuesto para realizar los ensayos, según las características del cemento y áridos disponibles, fue un Hormigón H-21:

- Resistencia Característica del Hormigón = 21 MPa.
- Asentamiento requerido:
  - Mínimo = 10 cm
  - Máximo = 14 cm
  - Promedio = 12 cm

El reglamento CIRSOC 201 establece valores de sobredimensionamiento cuando se desconoce el desvío estadístico de los resultados de ensayo a compresión simple de probetas. Se utilizó un 20% de sobredimensionamiento sobre la Resistencia Característica del Hormigón.

$$\text{Resistencia Característica de Diseño} = 21 \text{ MPa} \times 1,20 = 25,2 \text{ MPa} = 257 \text{ Kg/cm}^2.$$

#### 3.3.2 – Parámetros considerados para la dosificación

- Relación agua/cemento: con la Resistencia Característica de Diseño, se obtuvo por gráfico (Gráfico N°4), la relación a/c utilizada en la dosificación.

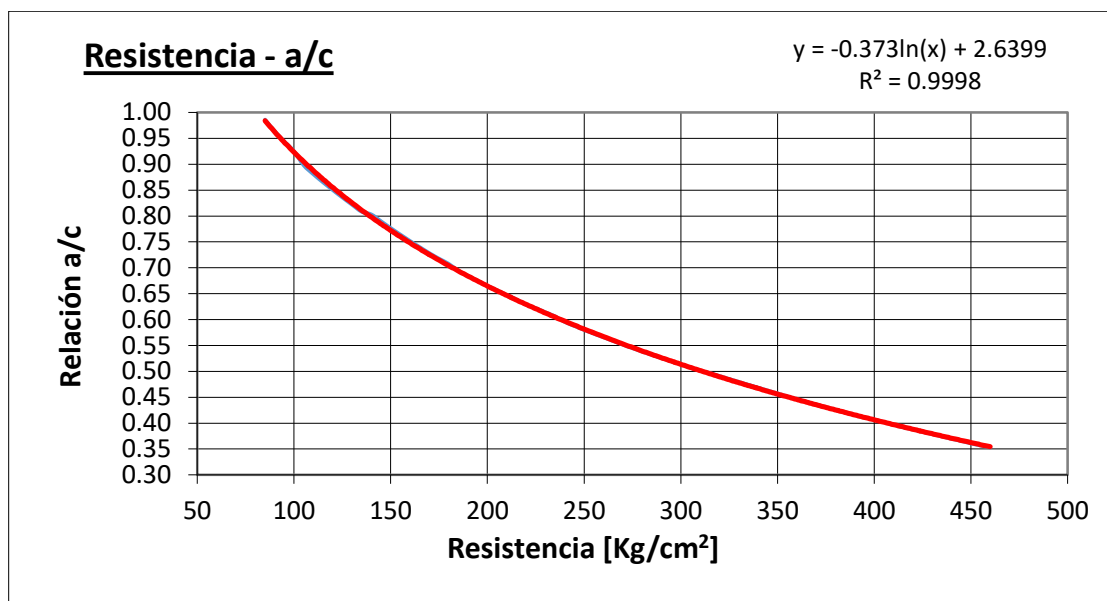


Gráfico N°4: Curva Resistencia – a/c.

$$\text{Relación Agua/Cemento} = 0,572.$$

- Tenor mínimo de cemento [Kg/cm³] = 300,00. Lo establece el Reglamento CIRSOC 201.
- Módulo de Fineza de la mezcla = 5,08. Obtenido de los ensayos de Granulometría.
- Tipo de agregado grueso: Triturado.

Se realizaron tres pastones de prueba con las mismas características, los días, 28 de Noviembre, 19 y 26 de Diciembre del año 2017. Para poder realizar tres ensayos de Tiempo de Fragüe en Morteros y Hormigones, según Norma IRAM 1662; y tres ensayos de Calorimetría.

### 3.3.3 - Correcciones por humedad

Para realizar los pastones se realizaron las correcciones por humedad de los áridos. Los valores de humedad obtenidos, fueron los siguientes:

DETERMINACION DE LA HUMEDAD			FECHA	19/12/2017
Materiales	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
Triturado 6-19 Blancaley	4000.0	3991.0	9.0	0.23%
Triturado 6-30 Blancaley	4000.0	3990.0	10.0	0.25%
Arena Cantera Bocos	4000.0	3992.0	8.0	0.20%
DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS ARIDOS:			FECHA	26/12/2017
Materiales	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
Triturado 6-19 Blancaley	3999.0	3987.0	12.0	0.30%
Triturado 6-30 Blancaley	4001.0	3994.0	7.0	0.18%
Arena Cantera Bocos	4003.0	3995.0	8.0	0.20%
DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS ARIDOS:			FECHA	28/11/2017
Materiales	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
Triturado 6-19 Blancaley	3999.0	3988.0	11.0	0.28%
Triturado 6-30 Blancaley	4001.0	3995.0	6.0	0.15%
Arena Cantera Bocos	4003.0	3996.0	7.0	0.18%

Tabla N° 9: Humedad de los Agregados.

### 3.4 - PASTONES DE PRUEBA

Una vez conocidas las humedades se corrigieron las dosificaciones y se procedió a pesar los materiales para realizar los pastones.

El procedimiento de realización de los tres pastones fue el mismo, manteniendo el orden de incorporación de los materiales intervinientes, como así también los tiempos de mezclado:

- Incorporación de los áridos gruesos y parte del agua, tiempo de mezclado un minuto.
- Incorporación de los agregados finos, tiempo de mezclado un minuto.
- Incorporación del cemento y el agua restante, tiempo de mezclado hasta lograr una masa homogénea.

A continuación se muestran las dosificaciones utilizadas:

➤ **Dosificación 28 de Noviembre de 2017:**

MEMORIA DE CALCULO					FECHA	28/11/2017		
PASTON DE PRUEBA								
Tipo de hormigón:	H-21							
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras			Asentamiento requerido:	Mínimo:	10		
Sol. Nº:	423-1			[cm]	Máximo:	14		
Intervino:	MERCEDES GAMOND			Asentamiento requerido prom. [cm]	<b>12</b>			
% peso de agregado grueso:			50%	Relación agua/cemento:		<b>0.572</b>		
% peso de agregado fino:			50%	Nº de probetas a moldear		2	11 lts.	
				Volumen del pastón:		<b>30</b>	lts.	
<b>MATERIALES:</b>								
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad	Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]
Triturado 6-19 Blancaley	5121		45	50	423.3 Kg/m <sup>3</sup>	12.698	0.28%	<b>12.606</b>
Triturado 6-30 Blancaley	5122		55		521.1 Kg/m <sup>3</sup>	15.634	0.15%	<b>15.542</b>
					Kg/m <sup>3</sup>			
Cantera Bocos	4999		100	50	930.1 Kg/m <sup>3</sup>	27.904	0.18%	<b>27.657</b>
					Kg/m <sup>3</sup>			
					Kg/m <sup>3</sup>			
CEMENTO		CPF40 - HOLCIM			341.1 Kg/m <sup>3</sup>	10.233		<b>10.233</b>
AGUA					195.0 Kg/m <sup>3</sup>	5.850		<b>6.281</b>
<b>Cantidad Total</b>					2410.6 Kg/m <sup>3</sup>	72.318		<b>72.318</b>
Asentamiento constatado :			<b>11</b>					
Temperatura del Hormigón :			<b>25°C</b>					
Temperatura ambiente :			<b>22°C</b>					
Hora de amasado :			<b>10 hs.</b>					

Tabla N°10: Memoria de Cálculo de Dosificación del 28 de noviembre de 2017.

➤ **Dosificación 19 de Diciembre de 2017:**

MEMORIA DE CALCULO					FECHA	19/12/2017				
PASTON DE PRUEBA										
Tipo de hormigón:		H-21								
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras			Asentamiento requerido: [cm]	Mínimo:	10				
Sol. N°:	423-2				Máximo:	14				
Intervino:	MERCEDES GAMOND			Asentamiento requerido prom. [cm]		<b>12</b>				
% peso de agregado grueso:			50%	Relación agua/cemento:		<b>0.572</b>				
% peso de agregado fino:			50%							
			N° de probetas a moldear		2	11	lts.			
			Volumen del pastón:		<b>30</b>	lts.				
<b>MATERIALES:</b>										
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad		Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]	
Triturado 6-19 Blancaley	<b>5121</b>		45	50	423.3	Kg/m <sup>3</sup>	12.698	0.23%	<b>12.599</b>	
Triturado 6-30 Blancaley	<b>5122</b>		55		521.1	Kg/m <sup>3</sup>	15.634	0.25%	<b>15.558</b>	
						Kg/m <sup>3</sup>				
Cantera Bocos	<b>4999</b>		100	50	930.1	Kg/m <sup>3</sup>	27.904	0.20%	<b>27.664</b>	
							Kg/m <sup>3</sup>			
							Kg/m <sup>3</sup>			
CEMENTO		CPF40 - HOLCIM			341.1	Kg/m <sup>3</sup>	10.233		<b>10.233</b>	
AGUA					195.0	Kg/m <sup>3</sup>	5.850		<b>6.265</b>	
<b>Cantidad Total</b>					2410.6	Kg/m <sup>3</sup>	72.318		<b>72.318</b>	
Asentamiento constatado :			<b>12</b>							
Temperatura del Hormigón :			<b>26°C</b>							
Temperatura ambiente :			<b>25°C</b>							
Hora de amasado :			<b>9:30</b>							

Tabla N°11: Memoria de Cálculo de Dosificación del 19 de diciembre de 2017.



➤ **Dosificación 26 de Diciembre de 2017:**

MEMORIA DE CALCULO					FECHA	26/12/2017		
PASTON DE PRUEBA								
Tipo de hormigón:	<b>H-21</b>							
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras			Asentamiento requerido:	Mínimo:	10		
Sol. N°:	423-3			[cm]	Máximo:	14		
Intervino:	MERCEDES GAMOND			Asentamiento requerido prom. [cm]	<b>12</b>			
% peso de agregado grueso:			50%	Relación agua/cemento:		<b>0.572</b>		
% peso de agregado fino:			50%					
				N° de probetas a moldear	2	11	lts.	
				Volumen del pastón:		<b>30</b>	lts.	
<b>MATERIALES:</b>								
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad	Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]
Triturado 6-19 Blancaley	<b>5121</b>		45	50	423.3 Kg/m <sup>3</sup>	12.698	0.30%	<b>12.609</b>
Triturado 6-30 Blancaley	<b>5122</b>		55		521.1 Kg/m <sup>3</sup>	15.634	0.18%	<b>15.546</b>
					Kg/m <sup>3</sup>			
Cantera Bocos	<b>4999</b>		100	50	930.1 Kg/m <sup>3</sup>	27.904	0.20%	<b>27.664</b>
					Kg/m <sup>3</sup>			
					Kg/m <sup>3</sup>			
CEMENTO		CPF40 - HOLCIM			341.1 Kg/m <sup>3</sup>	10.233		<b>10.233</b>
AGUA					195.0 Kg/m <sup>3</sup>	5.850		<b>6.267</b>
<b>Cantidad Total</b>					2410.6 Kg/m <sup>3</sup>	72.318		<b>72.318</b>
Asentamiento constatado :			<b>10</b>					
Temperatura del Hormigón :			<b>26°C</b>					
Temperatura ambiente :			<b>28°C</b>					
Hora de amasado :			<b>9:00</b>					

Tabla N°12: Memoria de Cálculo de Dosificación del 26 de diciembre de 2017.

Una vez realizado el pastón se midió la temperatura del hormigón, utilizando dos termómetros, uno digital y el otro de mercurio, disponibles en el Laboratorio. Figura N°18.



Figura N°18: Medición de la Temperatura del Hormigón en estado fresco.

Como se puede observar en las tablas de Memoria de Cálculo, las condiciones de temperatura y humedades son bastantes parecidas. Es decir, que las variables de humedad y temperatura no fueron un factor muy influyente en los resultados obtenidos.

Se midió el asentamiento requerido, para verificar la consistencia del Hormigón. Para esto nos basamos en el ensayo descrito por la Norma IRAM 1536 “Método de Ensayo de la consistencia utilizando el Cono de Abrams” (Figura N°19). Cabe aclarar, que en los tres pastones realizados, no fue necesario la adición de agua para llegar al asentamiento requerido.



Figura N°19: Realización de Cono de Abrams, para determinar consistencia del hormigón.

La elección de este parámetro, fue con el propósito de lograr fluideces más altas y así facilitar el trabajo de tamizado, necesario para la preparación de las probetas a utilizar en el ensayo de Tiempo de Fragüe. Acortando además, el tiempo de preparación y evitando que el mismo comience a fraguar.

El ensayo de Tiempo de fragüe se realiza sobre el mortero, es decir, con el pasante del Tamiz IRAM 4,75 mm (IRAM 1501-2).

El tiempo empleado en el pesaje de los materiales, el amasado, el tamizado y preparación de probetas, fue de aproximadamente dos horas y media. La cantidad de probetas moldeadas fueron las siguientes:

- Dos probetas cilíndricas de dimensiones: 100 mm de diámetro y 200 mm de alto, para “Determinación de la Resistencia a la Compresión de probetas de Hormigón endurecido. Compresión Simple, según Norma IRAM N°1546” a los 28 días. Figura N°20.



*Figura N°20: Probetas cilíndricas para ensayo de Compresión Simple.*

- Dos probetas prismáticas de dimensiones (200x200x200) mm, para “Determinación del tiempo de fraguado. Método de la resistencia a la penetración, según Norma IRAM N°1662”. Figura N°21.



Figura N°21: Probeta prismática para ensayo de Tiempo de Fragüe con Penetrómetro.

- Dos mini probetas o minimix cilíndricas plásticas de 500 ml, para el Ensayo de Calorimetría. Figura N°22.



Figura N°22: Mini probeta cilíndrica para ensayo de Tiempo de Fragüe con Calorímetro.

### **3.5 - DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGON ENDURECIDO. COMPRESIÓN SIMPLE. NORMA IRAM N°1546**

#### **3.5.1 - Objeto y Campo de aplicación**

Establecer el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos de hormigón de cemento portland.

#### **3.5.2 - Preparación de probetas**

Se prepararon dos probetas para la determinación de la resistencia a compresión simple a los 28 días, según la norma IRAM 1546. Antes de comenzar con el pastón de prueba, se procedió a higienizar las probetas a utilizar. Se engrasaron sus superficies interiores para

garantizar un correcto desmolde y se ajustaron sus mariposas para asegurar su estanqueidad.

Se utilizaron moldes de fundición cilíndricos, no absorbentes, estancos, ajustables a través de bulones y tuercas. Sus dimensiones se encuentran normalizadas y son de 20 cm de alto, y 10 cm de diámetro. El llenado de las probetas se realizó en 3 capas, se colocó hormigón hasta cubrir la tercera parte de la altura del molde cada vez. Una vez colocada cada capa, se la compactó con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Finalmente, se enrasaron las probetas al nivel del borde superior del molde, utilizando una cuchara de albañil, retirando el sobrante de hormigón y trabajando la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa.

Se dejó reposar las probetas, durante 24 horas en un lugar resguardado para evitar golpes, cambios de temperatura y humedad, ya que la variación de estas condiciones podría alterar la resistencia mecánica. Concluido este período, se procede a desmoldarlas y a identificarlas para trasladarlas a la pileta de curado. Aquí, las probetas se dejaron sumergidas el tiempo correspondiente a la edad de ensayo, 28 días.

### **3.5.3 – Determinación de la Resistencia a Compresión Simple**

Antes de realizar los ensayos destructivos, se debió normalizar las caras de las probetas. Para esto, se encabezarón las probetas con una mezcla de azufre, tierra refractaria y grafito, a una temperatura de 130 °C. Esta pasta endurece rápidamente, logrando una resistencia a la compresión igual o mayor que la prevista para la probeta. El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión simple de probetas cilíndricas, se establece en la IRAM 1546. Figura N°23. Equipo utilizado: Prensa IBERTEST HIB 150.



Figura N°23: Ensayo Compresión Simple de probetas de hormigón. Rotura de probeta Tipo 1.

### 3.5.4 – Resultados

- Ensayo de Compresión Simple correspondiente al pastón realizado el día 28 de noviembre de 2017.

#### I - COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE HORMIGÓN - NORMA IRAM 1546:2013

IDENTIF.PROB.			FECHA DE ENSAYO	DIMENS. mm		CARGA MÁX. KN	T. ROTURA	TENSIÓN DE ROTURA	
FECHA DE MOLDEO	S/SOLIC			Ø	h			Mpa	(Kg/cm <sup>2</sup> )
	IDENT.	EDAD ENS.							
28/11/2017	1	28	26-12-17	98.6	208	235	1	31	315
28/11/2017	2	28	26-12-17	99.9	209	236	1	30	307

Tabla N°13: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 28 de noviembre de 2017.

- Ensayo de Compresión Simple correspondiente al pastón realizado el día 19 de diciembre de 2017.

#### I - COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE HORMIGÓN - NORMA IRAM 1546:2013

IDENTIF.PROB.			FECHA DE ENSAYO	DIMENS. mm		CARGA MÁX. KN	T. ROTURA	TENSIÓN DE ROTURA	
FECHA DE MOLDEO	S/SOLIC			Ø	h			Mpa	(Kg/cm <sup>2</sup> )
	IDENT.	EDAD ENS.							
19/12/2017	1	28	15-1-18	98.9	209	238	1	31	316
19/12/2017	2	28	15-1-18	99.0	207	237	1	31	314

Tabla N°14: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 19 de diciembre de 2017.

- **Ensayo de Compresión Simple correspondiente al pastón realizado el día 26 de diciembre de 2017.**

#### I - COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE HORMIGÓN - NORMA IRAM 1546:2013

IDENTIF.PROB.			FECHA DE ENSAYO	DIMENS. mm		CARGA MÁX. KN	T. ROTURA	TENSIÓN DE ROTURA	
FECHA DE MOLDEO	S/SOLIC			Ø	h			Mpa	(Kg/cm <sup>2</sup> )
	IDENT.	EDAD ENS.							
26/12/2017	1	28	22-1-18	99.0	201	237	1	31	314
26/12/2017	2	28	22-1-18	98.3	208	236	1	31	318

Tabla N°15: Planilla de cálculo, Compresión simple en probetas de hormigón, día 26 de diciembre de 2017.

### 3.6 - ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGÜE EN HORMIGON - MÉTODO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN. NORMA IRAM N°1662

#### 3.6.1- Objeto y Campo de aplicación

Esta Norma describe el método de determinación de tiempo de fraguado de hormigones y morteros de cemento portland por medio de la resistencia a la penetración.

#### 3.6.2 - Definiciones

- Tiempo inicial de fraguado (ti): tiempo transcurrido a partir del contacto inicial entre el cemento y el agua de mezclado, hasta alcanzar una resistencia a la Penetración de 3,4 MPa (35 Kgf/cm<sup>2</sup>).
- Tiempo final de fraguado (tf): tiempo transcurrido a partir del contacto inicial entre el cemento y el agua de mezclado, hasta alcanzar una resistencia a la penetración de 27,4 MPa (280 Kgf/cm<sup>2</sup>).

#### 3.6.3 - Instrumental necesario

- Recipiente prismático de acero de dimensiones 200x200x200 mm.
- Características del recipiente: indeformable, no absorbente, estanco y químicamente inerte con los materiales constituyentes del mortero. Figura N°24.



Figura N°24: Probeta prismática para ensayo de Tiempo de Fragüe con Penetrómetro.

- Penetrómetro, aparato para aplicación de carga. Está constituido por un dispositivo de reacción que permite aplicar una fuerza de hasta 500 N. El aparato está provisto de un vástago con resalto lateral que indica la penetración y que permite el acople de agujas en su parte inferior. Figura N°25.



Figura N°25: Penetrómetro de Proctor.

- Las agujas se acoplan en el vástago, son seis en total, todas de sección circular. Dimensiones de las agujas. Tabla N°16:

Aguja	Diámetro (mm)	Diámetro (cm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección (cm <sup>2</sup> )
1"	28.2	2.82	624.58	6.25
1/2"	20	2	314.159	3.14
1/4"	14	1.4	153.938	1.54
1/10"	8.5	0.85	56.745	0.57
1/20"	6	0.6	28.274	0.28
1/40"	4	0.4	12.566	0.13

Tabla N°16: Dimensiones de las agujas.



- Varilla de compactación. De acero cilíndrico, con superficie lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo, con sus extremos de forma semiesférica de diámetro igual al de la varilla.
- Martillo de goma.
- Jeringa grande de plástico: se utilizó para retirar el agua de exudación del mortero.

### 3.6.4 - Preparación de muestras para ensayo y probetas

- Se separó el mortero del hormigón, a través del tamiz IRAM 4,75 mm (IRAM 1501-2). Figura N°26.



Figura N°26: Tamizado del Hormigón con Tamiz IRAM 4,75 mm.

- El volumen necesario de mortero, para dos probetas prismáticos de dimensiones (20x20x20) cm es de 12.000,00 cm<sup>3</sup>. La altura de la muestra es de 15 cm.
- Se homogeneizó el mortero obtenido, y se procedió a colocarlo en las probetas prismáticas.
- En el proceso de compactación manual, se efectuaron diez golpes de varilla por cada 100 cm<sup>2</sup> de área, uniformemente distribuidos en toda la sección transversal del recipiente.
- Se efectuó una serie de leves golpes en los costados del molde, con el martillo de goma, para lograr una compactación adecuada del mortero en el molde y el cierre de los vacíos dejados por la varilla de compactación.
- Una vez obtenidas las probetas, se cubrieron las mismas con papel film para evitar la evaporación del agua del mortero. Estas fueron llevadas a las oficinas del laboratorio para mantener las condiciones óptimas de temperatura ambiente (23±2°C) y humedad relativa del aire mayor que 70%.

### 3.6.5 - Procedimiento de ensayo

- Antes de realizar el ensayo de penetración, se retiró el agua de exudación de la superficie de la muestra. Se inclinó levemente el recipiente hasta formar un ángulo de aproximadamente de  $10^\circ$  con la horizontal, se colocó una cuña de madera para mantener la inclinación, y se procedió a la extracción del agua utilizando la jeringa. Una vez terminada dicha extracción se volvió el recipiente a su posición original. Figura N°27.
- Se comenzó con la penetración de las agujas arrancando con la aguja más grande de una pulgada (1").
- Se colocó la superficie inferior de la aguja en contacto con la superficie del mortero, y se aplicó una fuerza vertical de arriba hacia abajo con el aparato, gradual y uniformemente, hasta que la aguja penetró 25 mm en la superficie del mortero. El tiempo necesario para la penetración de 25 mm es de 10 segundos. Se registró la fuerza necesaria y el tiempo transcurrido a partir del contacto del agua con el cemento.
- A medida que se realizaban las penetraciones, se debió cuidar la distancia entre las penetraciones y la distancia a los bordes del recipiente. Esta distancia entre las penetraciones no debía ser menor a 15 mm. Las distancias entre las penetraciones y los bordes debía ser igual o mayor a 25 mm. Figura N°28.
- Las primeras penetraciones se realizaron cada 25 minutos, y a medida que avanzaba el ensayo, el intervalo se acortó.
- Se realizaron aproximadamente 15 penetraciones por probeta.



Figura N°27: Retiro del agua de exudación del mortero.



Figura N°28: Penetración con aguja Proctor en la muestra de mortero.

### 3.6.6 - Cálculos y resultados

A medida que se realizaban las penetraciones, se fue cargando en una planilla de Excel, la hora de penetración, la aguja utilizada y la fuerza aplicada.

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de Tiempo de Fragüe realizados los días; 28 de Noviembre, 19 y 26 de Diciembre de 2017.

#### DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN HORMIGONES - IRAM 1662

FECHA DE ENSAYO 28/11/2017

INSTRUMENTO: Penetrómetro

Hora	Tiempo [Hs.]	Tiempo [Min.]	Aguja (Pulgadas)	Ø [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	PROBETAS				T. Prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]
						1	2	1	2	
						F [Kg]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	
9:30	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:22	1:52	112	1"	2.82	6.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11:42	2:12	132	1"	2.82	6.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12:33	3:03	183	1"	2.82	6.25	22.00	25.00	3.52	4.00	3.76
12:45	3:15	195	1"	2.82	6.25	31.00	31.00	4.96	4.96	4.96
13:00	3:30	210	1"	2.82	6.25	46.00	46.00	7.36	7.36	7.36
13:15	3:45	225	1/2"	2	3.14	31.00	34.00	9.87	10.82	10.35
13:30	4:00	240	1/2"	2	3.14	40.00	41.00	12.73	13.05	12.89
13:40	4:10	250	1/4"	1.4	1.54	20.00	22.00	12.99	14.29	13.64
13:50	4:20	260	1/10"	0.85	0.57	8.00	10.00	14.10	17.62	15.86
14:20	4:50	290	1/10"	0.85	0.57	14.00	13.00	24.67	22.91	23.79
15:00	5:30	330	1/10"	0.85	0.57	16.00	17.00	28.20	29.96	29.08
15:07	5:37	337	1/10"	0.85	0.57	19.86	19.86	35.00	35.00	35.00
15:20	5:50	350	1/10"	0.85	0.57	25.00	26.00	44.06	45.82	44.94
15:30	6:00	360	1/20"	0.6	0.28	15.00	16.00	53.05	56.59	54.82
15:40	6:10	370	1/20"	0.6	0.28	25.00	26.00	88.42	91.96	90.19
15:50	6:20	380	1/20"	0.6	0.28	34.00	36.00	120.25	127.32	123.79
16:20	6:50	410	1/40"	0.4	0.13	25.00	26.00	198.94	206.90	202.92
16:40	7:10	430	1/40"	0.4	0.13	33.00	28.00	262.61	222.82	242.71
16:49	7:19	439	1/40"	0.4	0.13	35.19	35.19	280.00	280.00	280.00
17:00	7:30	450	1/40"	0.4	0.13	41.00	40.00	326.27	318.31	322.29

Tabla N°17: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 28 de noviembre de 2017.

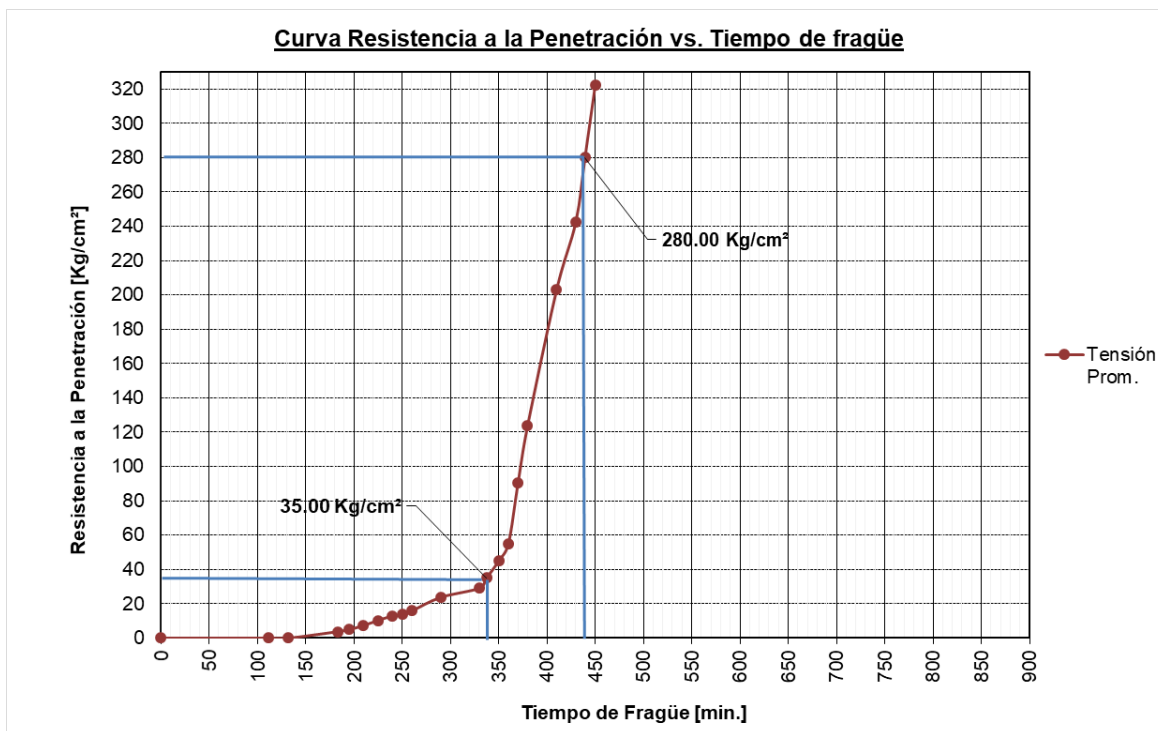


Gráfico N°5: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 28 de noviembre de 2017.

Los tiempos de Inicio y final de fraguado, fueron los que corresponden a las resistencias de 35 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

	Resistencias	Tiempos	
	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Horas)	(Minutos)
<b>Inicio de Fragüe</b>	35	05:37:00	337
<b>Final de Fragüe</b>	280	07:19:00	439

**DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN HORMIGONES - IRAM 1662**

FECHA DE ENSAYO 19/12/2017  
 INSTRUMENTO: Penetrómetro

Hora	Tiempo [Hs.]	Tiempo [Min.]	Aguja (Pulgadas)	Ø [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	PROBETAS							
						1		2		1		2	
						F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]
9:30	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:20	3:50	230	1/2"	2.82	6.25	21.00	9.00	3.36	1.44	2.40			
13:45	4:15	255	1/2"	2.82	6.25	32.00	31.00	5.12	4.96	5.04			
14:10	4:40	280	1/2"	2.82	6.25	55.00	54.00	8.81	8.65	8.73			
14:15	4:45	285	1/2"	2	3.14	36.00	26.00	11.46	8.28	9.87			
14:30	5:00	300	1/2"	2	3.14	39.00	34.00	12.41	10.82	11.62			
14:50	5:20	320	1/2"	2	3.14	56.00	49.00	17.83	15.60	16.71			
15:05	5:35	335	1/4"	1.4	1.54	38.00	35.00	24.69	22.74	23.71			
15:20	5:50	350	1/10"	0.85	0.57	18.00	19.00	31.72	33.48	32.60			
15:23	5:53	353	1/10"	0.85	0.57	19.86	19.86	35.00	35.00	35.00			
15:35	6:05	365	1/10"	0.85	0.57	25.00	24.00	44.06	42.29	43.18			
15:45	6:15	375	1/10"	0.85	0.57	27.00	28.00	47.58	49.34	48.46			
16:05	6:35	395	1/10"	0.85	0.57	33.00	32.00	58.15	56.39	57.27			
16:30	7:00	420	1/10"	0.85	0.57	42.00	40.00	74.02	70.49	72.25			
16:40	7:10	430	1/20"	0.6	0.28	30.00	31.00	106.10	109.64	107.87			
17:10	7:40	460	1/20"	0.6	0.28	43.00	42.00	152.08	148.54	150.31			
17:25	7:55	475	1/40"	0.4	0.13	29.00	28.00	230.77	222.82	226.80			
17:27	7:57	477	1/40"	0.4	0.13	35.19	35.19	280.00	280.00	280.00			
17:30	8:00	480	1/40"	0.4	0.13	44.00	43.00	350.14	342.18	346.16			
17:40	8:10	490	1/40"	0.4	0.13	47.00	46.00	374.01	366.06	370.04			
17:45	8:15	495	1/40"	0.4	0.13	50.00	51.00	397.89	405.85	401.87			

Tabla N°18: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 19 de diciembre de 2017.

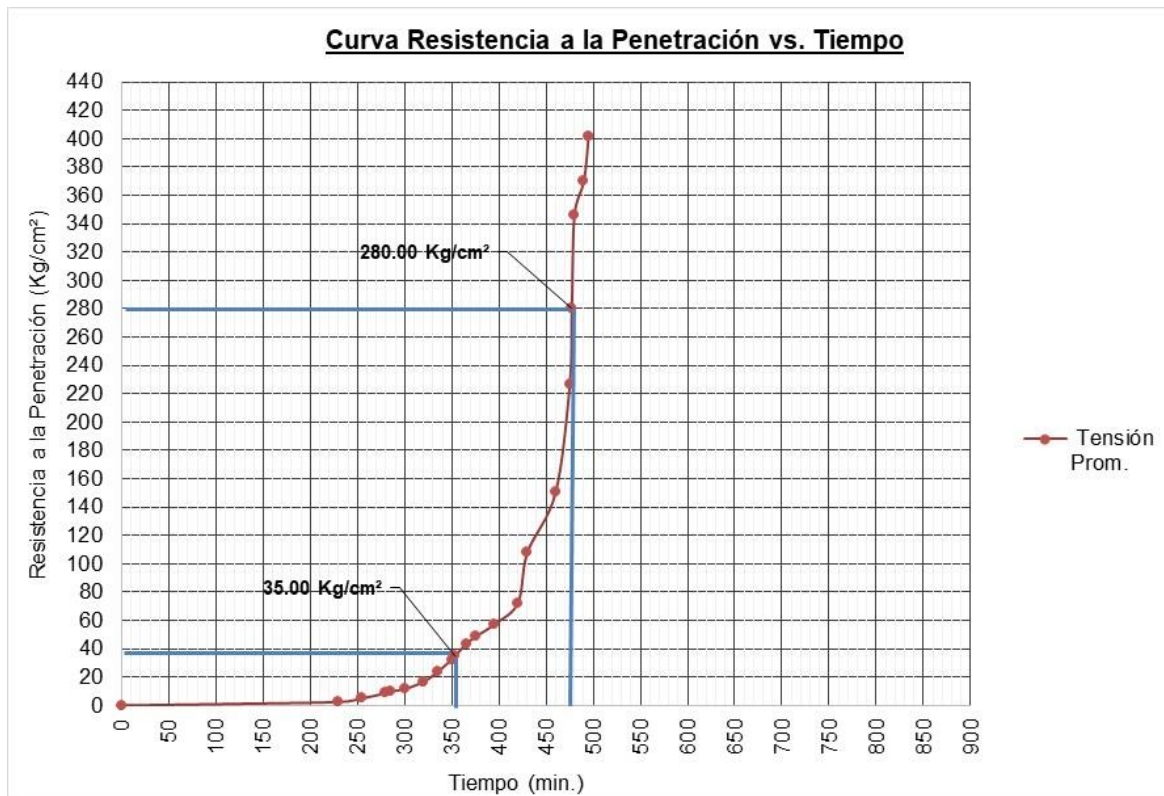


Gráfico N°6: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 19 de diciembre de 2017.

Los tiempos de Inicio y final de fraguado fueron:

	Resistencias	Tiempos	
	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Horas)	(Minutos)
<b>Inicio de Fragüe</b>	35	05:53:00	353
<b>Final de Fragüe</b>	280	07:57:00	477

**DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN HORMIGONES - IRAM 1662**

FECHA DE ENSAYO: 26/12/2017

INSTRUMENTO: Penetrómetro

Hora	Tiempo [Hs.]	Tiempo [Min.]	Aguja (Pulgadas)	Ø [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	PROBETAS						T. Prom. [Kg/cm <sup>2</sup> ]		
						1		2		1			2	
						F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]		F [Kg]	T [Kg/cm <sup>2</sup> ]
9:00	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:15	3:15	195	1/2"	2.82	6.25	21.00	23.00	3.36	3.68	3.52	3.52	3.52	3.52	
12:25	3:25	205	1/2"	2.82	6.25	40.00	41.00	6.40	6.56	6.48	6.48	6.48	6.48	
12:35	3:35	215	1/2"	2.82	6.25	55.00	58.00	8.81	9.29	9.05	9.05	9.05	9.05	
12:50	3:50	230	1/2"	2	3.14	36.00	37.00	11.46	11.78	11.62	11.62	11.62	11.62	
14:00	5:00	300	1/2"	2	3.14	47.00	45.00	14.96	14.32	14.64	14.64	14.64	14.64	
14:25	5:25	325	1/2"	2	3.14	55.00	60.00	17.51	19.10	18.30	18.30	18.30	18.30	
14:30	5:30	330	1/4"	1.4	1.54	42.00	40.00	27.28	25.98	26.63	26.63	26.63	26.63	
14:36	5:36	336	1/4"	1.4	1.54	53.88	53.88	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
14:40	5:40	340	1/4"	1.4	1.54	60.00	62.00	38.98	40.28	39.63	39.63	39.63	39.63	
15:00	6:00	360	1/4"	1.4	1.54	67.00	68.00	43.52	44.17	43.85	43.85	43.85	43.85	
15:20	6:20	380	1/10"	0.85	0.57	32.00	30.00	56.39	52.87	54.63	54.63	54.63	54.63	
15:40	6:40	400	1/10"	0.85	0.57	45.00	44.00	79.30	77.54	78.42	78.42	78.42	78.42	
16:00	7:00	420	1/10"	0.85	0.57	51.00	51.00	89.88	89.88	89.88	89.88	89.88	89.88	
16:05	7:05	425	1/20"	0.6	0.28	35.00	34.00	123.79	120.25	122.02	122.02	122.02	122.02	
16:25	7:25	445	1/20"	0.6	0.28	49.00	46.00	173.30	162.69	168.00	168.00	168.00	168.00	
16:40	7:40	460	1/20"	0.6	0.28	60.00	58.00	212.21	205.13	208.67	208.67	208.67	208.67	
16:50	7:50	470	1/40"	0.4	0.13	30.00	30.00	238.73	238.73	238.73	238.73	238.73	238.73	
16:55	7:55	476	1/40"	0.4	0.13	35.19	38.20	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	
17:00	8:00	480	1/40"	0.4	0.13	38.00	39.00	302.39	310.35	306.37	306.37	306.37	306.37	
17:10	8:10	490	1/40"	0.4	0.13	45.00	43.00	358.10	342.18	350.14	350.14	350.14	350.14	

Tabla N°19: Planilla de cálculo de Tiempo de Fragüe del día 26 de diciembre de 2017.

**Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe**

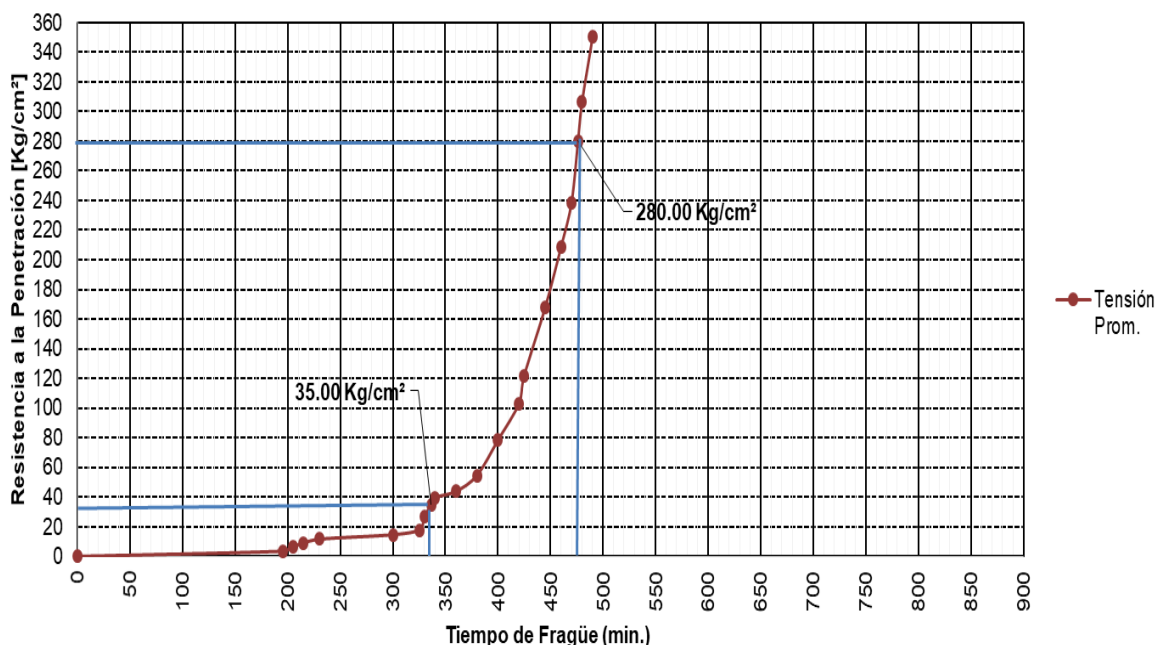


Gráfico N°7: Curva Resistencia a la Penetración vs. Tiempo de Fragüe del día 26 de diciembre de 2017.

Los tiempos de Inicio y final de fraguado fueron:

	Resistencias	Tiempos	
	(Kg/cm²)	(Horas)	(Minutos)
<b>Inicio de Fragüe</b>	35	05:36:00	336
<b>Final de Fragüe</b>	280	07:55:00	476

Obtenidos los resultados de los tres ensayos de Tiempo de Fragüe en Hormigón, se puede ver que la variación en el Inicio y final de fragüe, entre un ensayo y otro, no varían mucho.

Tabla N°20:

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS SEGÚN NORMA IRAM 1662				
Fecha de Ensayo	Inicio Fragüe		Final de Fragüe	
	(Horas)	(Minutos)	(Horas)	(Minutos)
28/11/2017	5:37	337	7:19	439
19/12/2017	5:53	353	7:57	477
26/12/2017	5:36	336	7:55	476
<b>PROMEDIO</b>		<b>342</b>		<b>464</b>

Tabla N°20: Resultado de los ensayos según Norma IRAM 1662.



### 3.7 - ENSAYO DE CALORIMETRÍA. CALORÍMETRO SEMI-ADIABATICO

Este ensayo consistió en la determinación de la variación de temperatura que experimentó el mortero en función del tiempo.

Con el mismo mortero, utilizado en el ensayo de penetrómetro, se moldearon dos mini probetas o minimix para realizar la calorimetría y obtener la curva Temperatura-Tiempo.

#### 3.7.1 - Instrumental necesario

- Calorímetro Semiadiabático, con cuatro puertos.
- Balanza con precisión al gramo.
- Vasos descartables de polipropileno de 500 ml con tapa.
- Computadora con software HOBOWare.

#### 3.7.2 - Preparación de muestras para ensayo y probetas

- Se obtuvo el mortero, a través del tamiz IRAM 4,75 mm (IRAM1501-2).
- El volumen necesario de mortero, para dos probetas es de 1000 ml.
- Se homogeneizó el mortero obtenido, y se procedió a colocarlo en los recipientes de polipropileno, evitando que en su interior quede vacíos con aire.
- Se pesaron ambas probetas. Estos pesos debían ser iguales para evitar que la diferencia de masas entre uno y otro altere el resultado final. Figura N°29.



Figura N°29: Peso de mini probetas con balanza con precisión al gramo.

- Una vez obtenidas las probetas se cubrieron las mismas con sus respectivas tapas. Estas fueron llevadas a las oficinas del laboratorio, donde se encontraba el calorímetro, en condiciones óptimas de temperatura ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa del aire mayor que 70%.
- Fue necesario abrir el calorímetro 20 minutos antes de la preparación de las probetas para que el mismo se encuentre en equilibrio para comenzar con las lecturas.

### 3.7.3 - Procedimiento de ensayo. Inicio de la prueba.

- Se colocaron las probetas en los puertos 1 y 2 del calorímetro, y se verificó que cada uno de los puertos quede bien cerrado, al igual que la tapa del calorímetro, para poder iniciar con el ensayo de calorimetría. Figura N°30.



Figura N°30: Colocación de las mini probetas en los puertos 1 y 2 de Calorímetro Semi-Adiabático.

- Se conectó el calorímetro a la computadora y se comenzó con el ensayo de Calorimetría utilizando el Software HOBOWare Pro. Figura N°31.



Figura N°31: Inicio de programa HOBOWare Pro.

- Al día siguiente se obtuvieron las curvas Temperatura vs. Tiempo, se exportaron los datos a una tabla de Excel para procesar la información, y se realizó la correlación con el ensayo realizado anteriormente según la norma IRAM.

### 3.7.4 – Inicio de lecturas. Instructivo de uso de Software HOBOWare Pro. Anexo II.

Ver Anexo II: *Instructivo de uso de Software HOBOWarePro, para ensayo de Calorimetría.*

### 3.7.5 – Curvas de Ensayo de Calorimetría

Las curvas obtenidas de los ensayos de Calorimetría, fueron las siguientes:

- **Calorimetría del día 28 de noviembre de 2017:**

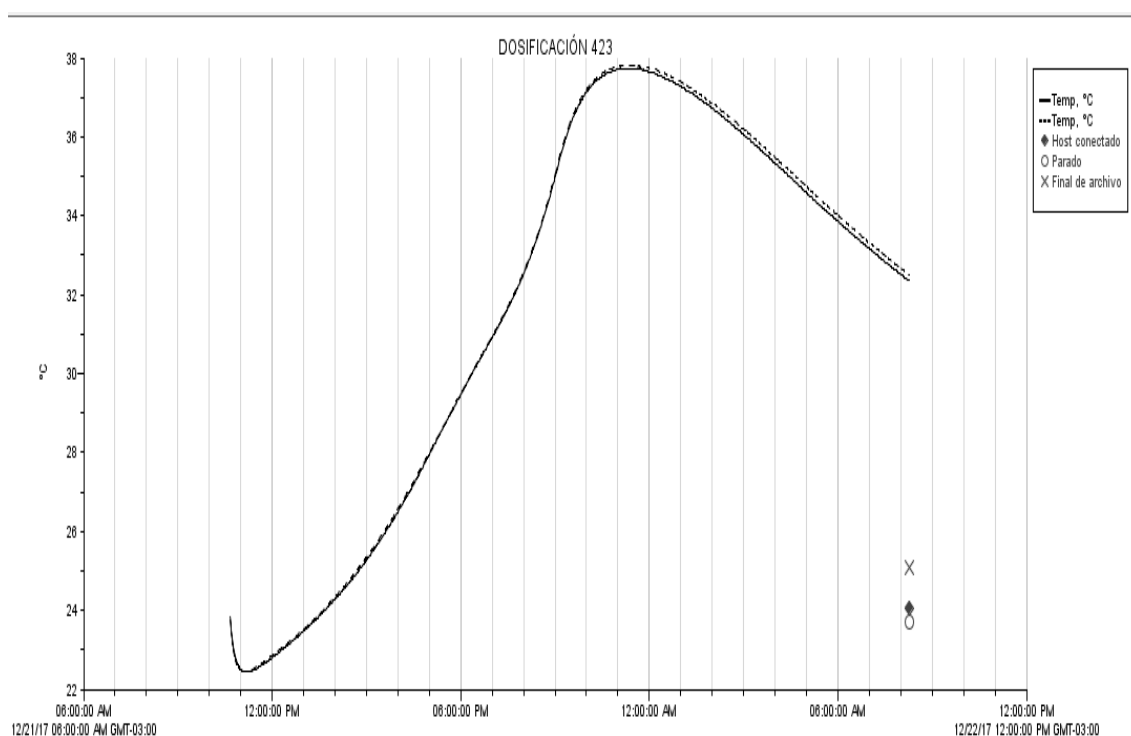


Gráfico N°8: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 28 de noviembre de 2017.

➤ **Calorimetría del 19 de diciembre de 2017:**

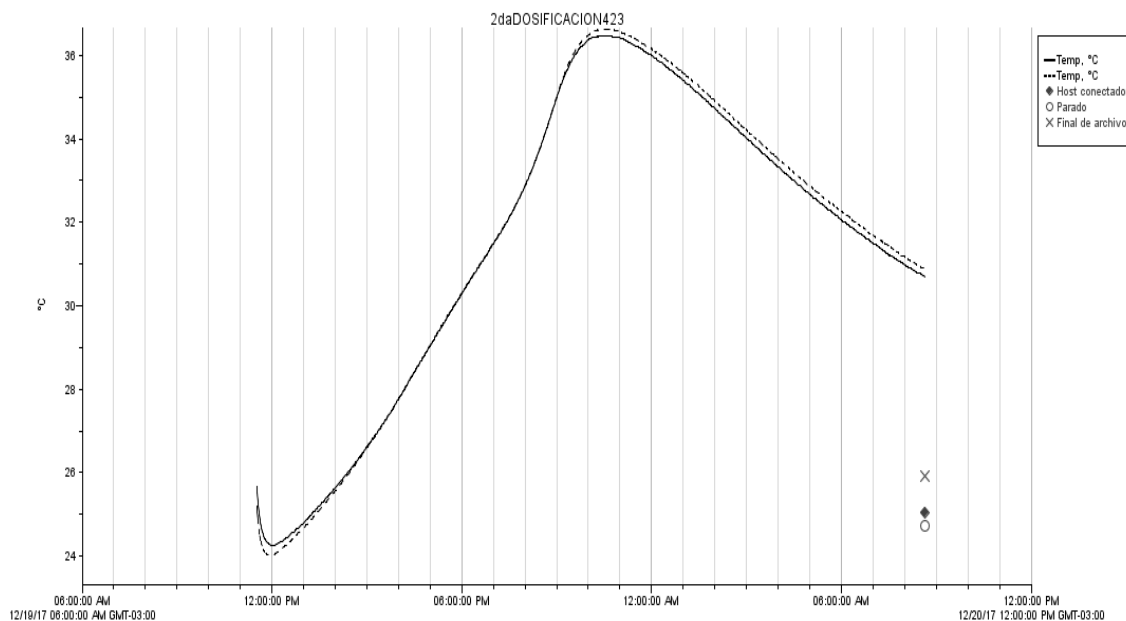


Gráfico N°9: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 19 de diciembre de 2017.

➤ **Calorimetría del 26 de diciembre de 2017:**

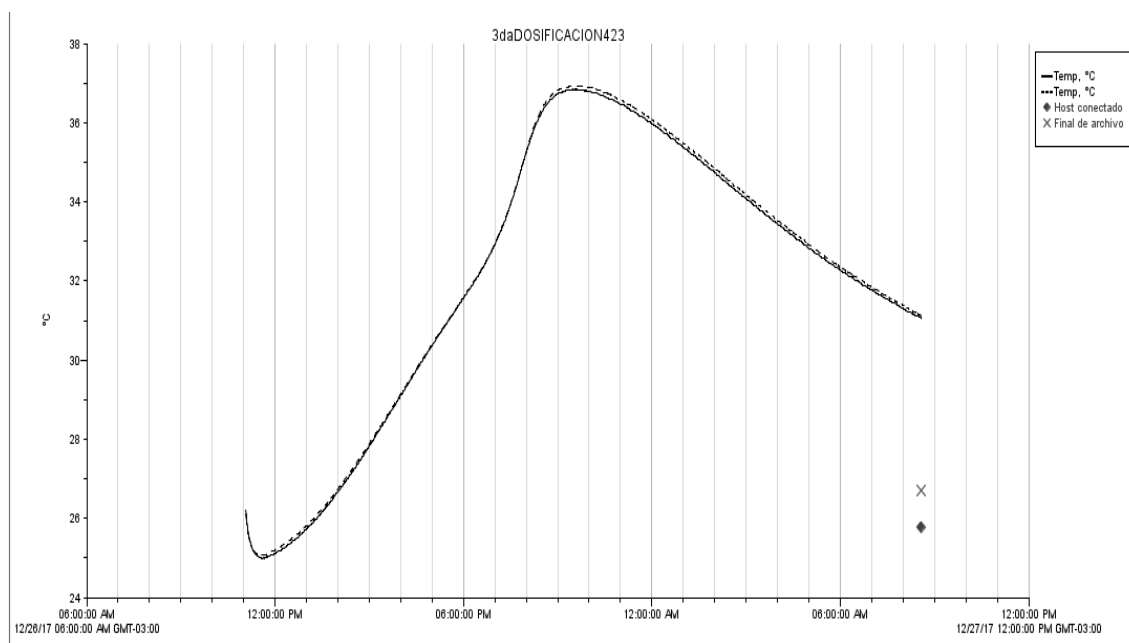


Gráfico N°10: Curva Temperatura vs. Tiempo del día 26 de diciembre de 2017.

### **3.8 – Calibración de Calorímetro Semi-Adiabático**

La calibración del Calorímetro Semi-Adiabático, consistió en determinar la contrastación entre los resultados obtenidos del ensayo IRAM 1662 “Determinación de tiempo de Fragüe en Hormigones” y el ensayo de Calorimetría.

Como se explicó en el apartado de Cemento y Hormigón, la hidratación de ambos es un conjunto de reacciones químicas exotérmicas que depende de varios factores. Recordando que en el proceso de hidratación se produce la cristalización de sus componentes, los cuales otorgan resistencia mecánica al hormigón.

Por lo que es factible, realizar la correlación entre la liberación de calor que se produce en el proceso de hidratación y el tiempo de fraguado inicial y final, que caracteriza la resistencia adquirida por el hormigón mediante la penetración de las agujas normalizadas del penetrómetro.

### 3.9 – Contratación de Ensayos.

#### 3.9.1 – Contratación de curvas, realizado el día 28 de noviembre de 2017

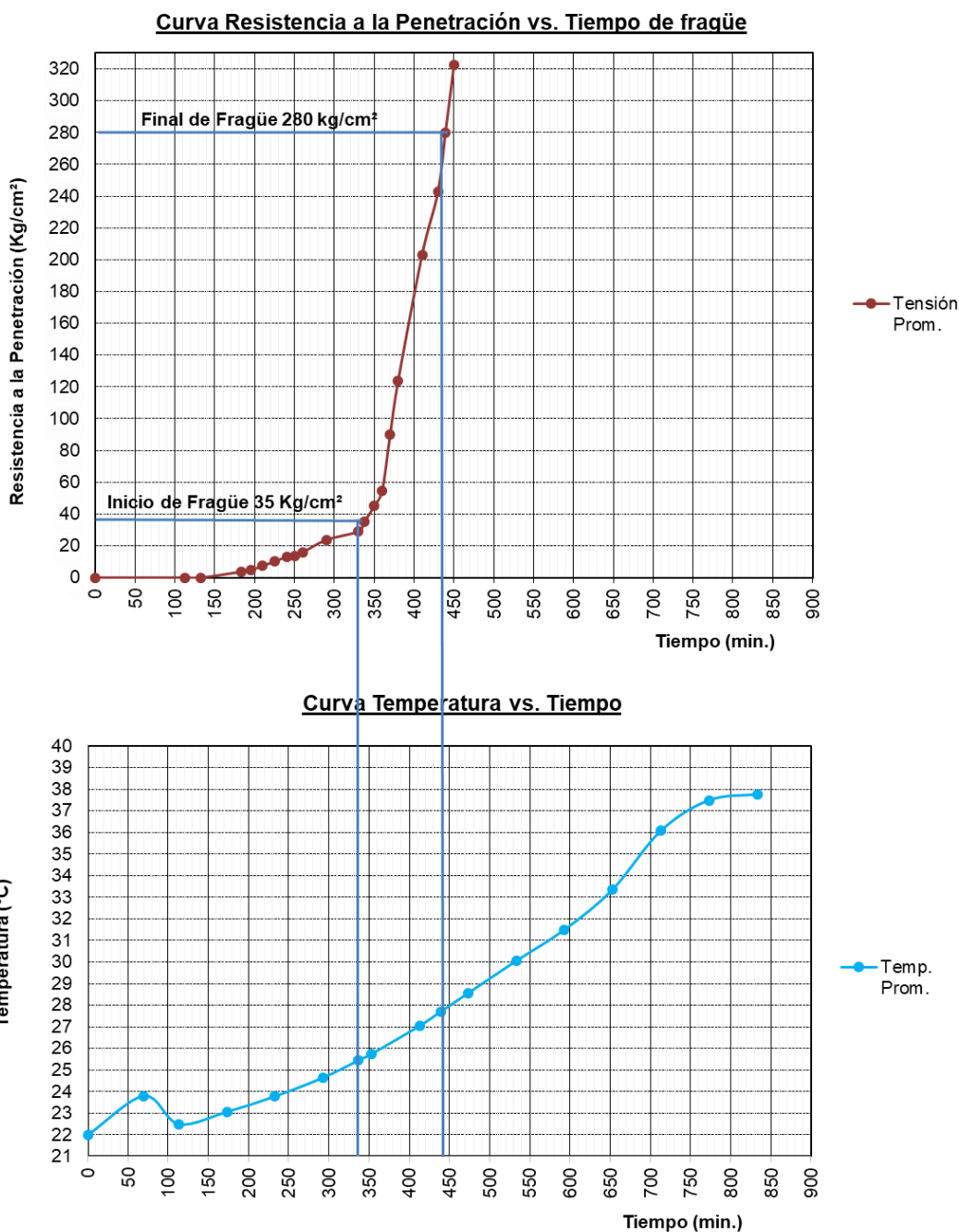


Gráfico N°11: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 28 de noviembre de 2017.

Recordando los valores obtenidos del ensayo IRAM 1662: tiempo inicial de fragüe para una resistencia a la penetración de 35 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 337 minutos, y el tiempo final de fragüe para una resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 439 minutos.

Tomando como referencia los tiempos de inicio y final de fraguado obtenidos con el penetrómetro, se obtuvo la calibración del equipo.

**DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN MORTEROS CON CALORÍMETRO**

**DATOS:**

Dosificación: 423/17 Asentamiento requerido promedio: 12 cm Hora finalizado tamizado: 10:30:00  
 Tipo de Hormigón: H-21 Asentamiento constatado: 11 cm Temperatura mortero: 25°C  
 Fecha Ensayo: 28/11/2017 Relación agua/cemento: 0.572  
 Hora de amasado: 9:30:00 Volumen del pastór 30 lts.  
 Temp. Amb.: 22°C Volumen de molde: 0.5 lts.  
 Temp. H°: 25°C N° de probetas: 2 1.00 lts.

Nº de Lectura	Fecha	Tiempo	Duración (hs.)	Duración (min.)	Temp.(°C) Probeta 1	Temp.(°C) Probeta 2	Temp. Prom.(°C)	Observaciones
0	28/11/2017	9:30:01		0	22	22	22.00	
1	28/11/2017	10:40:01	01:10:00	70.00	23.83	23.76	23.80	
44	28/11/2017	11:23:01	01:53:00	113.00	22.49	22.51	22.50	
104	28/11/2017	12:23:01	02:53:00	173.00	23.04	23.09	23.06	
164	28/11/2017	13:23:01	03:53:00	233.00	23.76	23.81	23.79	
224	28/11/2017	14:23:01	04:53:00	293.00	24.63	24.68	24.65	
<b>Interpolado</b>	<b>28/11/2017</b>	<b>15:07:01</b>	<b>05:37:00</b>	<b>337.00</b>	<b>25.41</b>	<b>25.50</b>	<b>25.45</b>	<b>Inicio de Fragüe</b>
284	28/11/2017	15:23:01	05:53:00	353.00	25.70	25.79	25.74	
344	28/11/2017	16:23:01	06:53:00	413.00	27.01	27.09	27.05	
<b>Interpolado</b>	<b>28/11/2017</b>	<b>16:49:01</b>	<b>07:19:00</b>	<b>439.00</b>	<b>27.68</b>	<b>27.73</b>	<b>27.70</b>	<b>Final de Fragüe</b>
404	28/11/2017	17:23:01	07:53:00	473.00	28.54	28.57	28.56	
464	28/11/2017	18:23:01	08:53:00	533.00	30.04	30.07	30.05	
524	28/11/2017	19:23:01	09:53:00	593.00	31.48	31.51	31.50	
584	28/11/2017	20:23:01	10:53:00	653.00	33.34	33.39	33.37	
644	28/11/2017	21:23:01	11:53:00	713.00	36.04	36.12	36.08	
704	28/11/2017	22:23:01	12:53:00	773.00	37.45	37.54	37.49	
764	28/11/2017	23:23:01	13:53:00	833.00	37.73	37.81	37.77	

Tabla N°21: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 28 de noviembre de 2017.

Observando el Gráfico N°11, obtuvimos que la diferencia entre el pico máximo y mínimo, en la curva obtenida con el calorímetro es:

$$\Delta y = T_{\text{máx.}} - T_{\text{mín.}} = 37,77\text{ }^{\circ}\text{C} - 22,50\text{ }^{\circ}\text{C} = 15,27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al inicio de fragüe:

$$\Delta y_i = 25,45\text{ }^{\circ}\text{C} - 22,50\text{ }^{\circ}\text{C} = 2,95\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al final de fragüe:

$$\Delta y_f = 27,70\text{ }^{\circ}\text{C} - 22,50\text{ }^{\circ}\text{C} = 5,20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Si el  $\Delta y$  representa el 100% en la curva, entonces los porcentajes de inicio y final de fraguado, se estima en:

	$\Delta$ Temperatura	Temp. (°C)	(%)
	$\Delta y$	15.27	100
<b>Inicio de Fragüe</b>	$\Delta y_i$	2.95	19
<b>Final de Fragüe</b>	$\Delta y_f$	5.2	34



3.9.2 – Contrastación de curvas, realizado el día 19 de diciembre de 2017

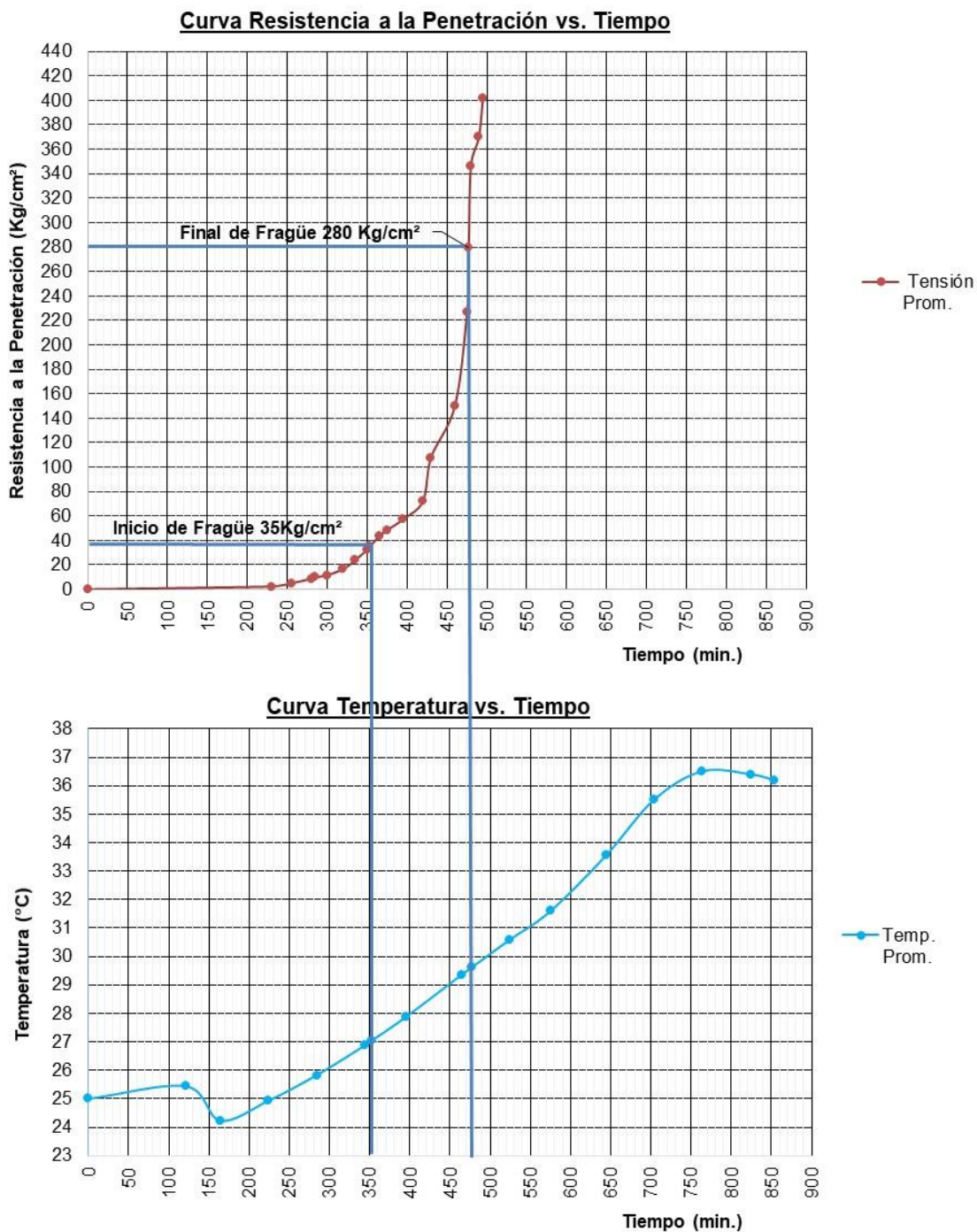


Gráfico N°12: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 19 de diciembre de 2017.

Los valores obtenidos del ensayo IRAM 1662: tiempo inicial de fragüe para una resistencia a la penetración de 35 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 353 minutos, y el tiempo final de fragüe para una resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 477 minutos.

**DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN MORTEROS CON CALORÍMETRO**

**DATOS:**

Dosificación: 423/17 Asentamiento req. prom.: 12 cm Hora finalizado tamizado: 10:30:00  
 Tipo de Hormigón: H-21 Asentamiento constatado: 12 cm Temperatura mortero: 26°C  
 Fecha Ensayo: 19/12/2017 Relación agua/cemento: 0.572  
 Hora de amasado: 9:30:00 Volumen del pastón: 30 lts.  
 Temp. Amb.: 25°C Volumen de molde: 0.5 lts.  
 Temp. H°: 26°C N° de probetas a moldear: 2 lts.

N° de Lectura	Fecha	Tiempo	Duración (hs.)	Duración (min.)	Temp.(°C) Probeta 1	Temp.(°C) Probeta 2	Temp. Prom. (°C)	Observaciones
0	12/19/17	09:30:00		0	25	25	25.00	
1	12/19/17	11:31:19	02:01:19	121	25.67	25.21	25.44	
44	12/19/17	12:14:19	02:44:19	164	24.32	24.15	24.23	
104	12/19/17	13:14:19	03:44:19	224	24.99	24.87	24.93	
164	12/19/17	14:14:19	04:44:19	284	25.87	25.79	25.83	
224	12/19/17	15:14:19	05:44:19	344	26.89	26.87	26.88	
<b>Interpolado</b>	<b>12/19/18</b>	<b>15:23:00</b>	<b>05:53:00</b>	<b>353.00</b>	<b>27.06</b>	<b>27.04</b>	<b>27.05</b>	<b>Inicio de Fragüe</b>
275	12/19/17	16:05:19	06:35:19	395	27.88	27.88	27.88	
344	12/19/17	17:14:19	07:44:19	464	29.34	29.37	29.35	
<b>Interpolado</b>	<b>12/19/18</b>	<b>17:27:00</b>	<b>07:57:00</b>	<b>477</b>	<b>29.61</b>	<b>29.63</b>	<b>29.62</b>	<b>Final de Fragüe</b>
404	12/19/17	18:14:19	08:44:19	524	30.57	30.60	30.58	
455	12/19/17	19:05:19	09:35:19	575	31.59	31.61	31.60	
524	12/19/17	20:14:19	10:44:19	644	33.59	33.51	33.55	
584	12/19/17	21:14:19	11:44:19	704	35.50	35.53	35.52	
644	12/19/17	22:14:19	12:44:19	764	36.44	36.58	36.51	
704	12/19/17	23:14:19	13:44:19	824	36.34	36.47	36.40	
734	12/19/17	23:44:19	14:14:19	854	36.12	36.28	36.20	

Tabla N°22: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 19 de diciembre de 2017.

Observando el Gráfico N°12, obtuvimos que la diferencia entre el pico máximo y mínimo, en la curva obtenida con el calorímetro es:

$$\Delta y = T_{\text{máx.}} - T_{\text{mín.}} = 36,51\text{ }^{\circ}\text{C} - 24,23\text{ }^{\circ}\text{C} = 12,38\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al inicio de fragüe:

$$\Delta y_i = 27,05\text{ }^{\circ}\text{C} - 24,23\text{ }^{\circ}\text{C} = 2,82\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al final de fragüe:

$$\Delta y_f = 26,62\text{ }^{\circ}\text{C} - 24,23\text{ }^{\circ}\text{C} = 5,39\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Los porcentajes de inicio y final de fraguado, se estiman en:

	$\Delta$ Temperatura	Temp. (°C)	(%)
	$\Delta y$	12.28	100
<b>Inicio de Fragüe</b>	$\Delta y_i$	2.82	23
<b>Final de Fragüe</b>	$\Delta y_f$	5.39	44

3.9.3 – Contrastación de curvas, realizado el día 26 de diciembre de 2017

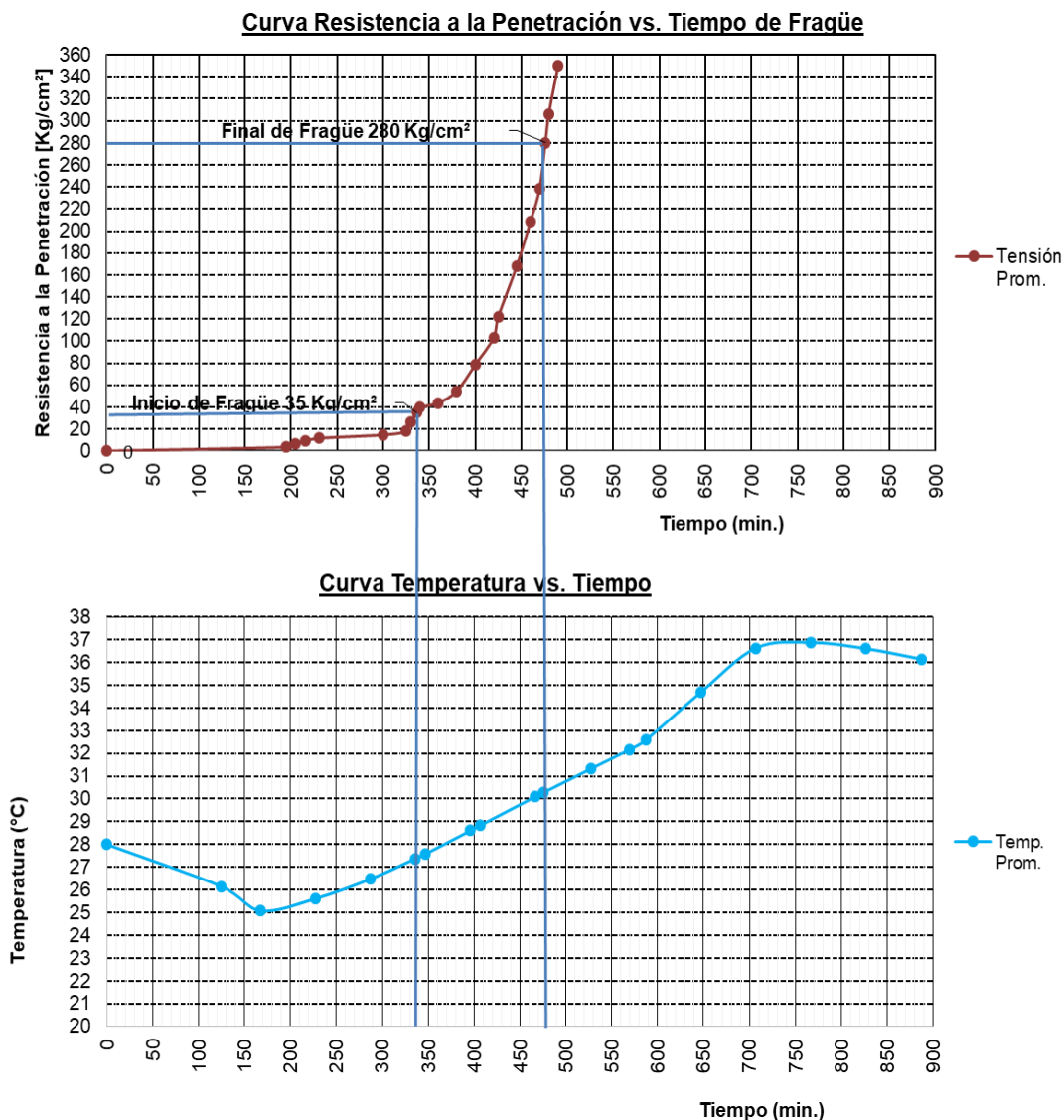


Gráfico N°13: Correlación de ensayo IRAM 1662 y Calorimetría, del día 26 de diciembre de 2017.

Los valores obtenidos del ensayo IRAM 1662: tiempo inicial de fragüe para una resistencia a la penetración de 35 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 336 minutos, y el tiempo final de fragüe para una resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup> fue de 476 minutos.

**DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO EN MORTEROS CON CALORÍMETRO****DAIOS:**

Dosificación: 423/17 Asentamiento requerido prom.: 12 cm Hora finalizado tamizado: 10:20:00  
 Tipo de Hormigón: H-21 Asentamiento constatado: 10 cm Temperatura mortero: 26°C  
 Fecha Ensayo: 26/12/2017 Relación agua/cemento: 0.572  
 Hora de amasado: 9:00:00 Volumen del pastón: 30 lts.  
 Temp. amb.: 28°C Volumen de molde: 0.5 lts.  
 Temp. H°: 26°C N° de probetas a moldear: 2 1.00 lts.

N° de Lectura	Fecha	Tiempo	Duración (hs.)	Duración (min.)	Temp.(°C) Probeta 1	Temp.(°C) Probeta 2	Temp. Prom. (°C)	Observaciones
0	12/26/17	9:00:00		0	28.00	28.00	28.00	
1	12/26/17	11:04:03	2:04:03	124	26.21	26.11	26.16	
44	12/26/17	11:47:03	2:47:03	167	25.04	25.11	25.08	
104	12/26/17	12:47:03	3:47:03	227	25.57	25.65	25.61	
164	12/26/17	13:47:03	4:47:03	287	26.43	26.52	26.48	
<b>Interpolado</b>	<b>12/26/17</b>	<b>14:36:03</b>	<b>5:36:03</b>	<b>336</b>	<b>27.35</b>	<b>27.41</b>	<b>27.38</b>	<b>Inicio de fragüe</b>
224	12/26/17	14:47:03	5:47:03	347	27.55	27.60	27.58	
273	12/26/17	15:36:03	6:36:03	<b>396</b>	28.59	28.62	28.61	
284	12/26/17	15:47:03	6:47:03	407	28.82	28.87	28.84	
344	12/26/17	16:47:03	7:47:03	467	30.09	30.12	30.10	
<b>Interpolado</b>	<b>12/26/17</b>	<b>16:55:03</b>	<b>7:55:03</b>	<b>476</b>	<b>30.27</b>	<b>30.30</b>	<b>30.29</b>	<b>Final de fragüe</b>
404	12/26/17	17:47:03	8:47:03	527	31.31	31.33	31.32	
446	12/26/17	18:29:03	9:29:03	<b>569</b>	32.15	32.18	32.16	
464	12/26/17	18:47:03	9:47:03	587	32.59	32.59	32.59	
524	12/26/17	19:47:03	10:47:03	647	34.68	34.70	34.69	
584	12/26/17	20:47:03	11:47:03	707	36.58	36.69	36.63	
644	12/26/17	21:47:03	12:47:03	767	36.82	36.93	36.88	
704	12/26/17	22:47:03	13:47:03	827	36.55	36.66	36.61	
764	12/26/17	23:47:03	14:47:03	887	36.09	36.20	36.15	

Tabla N°23: Planilla de cálculo ensayo de Calorímetro del día 26 de diciembre de 2017.

Observando el Gráfico N°13, obtuvimos que la diferencia entre el pico máximo y mínimo, en la curva obtenida con el calorímetro es:

$$\Delta y = T_{\text{máx.}} - T_{\text{mín.}} = 36,88^{\circ}\text{C} - 25,08^{\circ}\text{C} = 11,80^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al inicio de fragüe:

$$\Delta y_i = 27,38^{\circ}\text{C} - 25,08^{\circ}\text{C} = 2,30^{\circ}\text{C}$$

El gradiente de temperatura con respecto al final de fragüe:

$$\Delta y_f = 30,29^{\circ}\text{C} - 25,08^{\circ}\text{C} = 5,21^{\circ}\text{C}$$

Los porcentajes de inicio y final de fraguado, se estiman en:

	$\Delta$ Temperatura	Temp. (°C)	(%)
	$\Delta y$	11.8	100
<b>Inicio de Fragüe</b>	$\Delta y_i$	2.3	19
<b>Final de Fragüe</b>	$\Delta y_f$	5.21	44

Resumiendo las temperaturas y los porcentajes obtenidos de los tres ensayos de calorimetría, fueron:

CALORIMETRÍA				
Fecha de Ensayo	Inicio Fragüe		Final de Fragüe	
	Temperatura (°C)	(%)	Temperatura (°C)	(%)
28/11/2017	25.45	19.00	27.7	34.00
19/12/2017	27.05	23.00	29.62	44.00
26/12/2017	27.38	19.00	30.29	44.00
<b>PROMEDIO</b>		<b>20</b>		<b>41</b>

Tabla N°24: Resultados de ensayos de Calorimetría.

En la Tabla N°24, se puede observar que los porcentajes de inicio y final de fraguado no varían mucho entre un ensayo y otro.

Finalmente, se estimó que para el calorímetro Semi-Adiabático que se encuentra en el Laboratorio, los tiempos de inicio y final de fragüe, para morteros, son el 20% y 41% de la diferencia entre los picos máximos y mínimos de la curva, respectivamente. Gráfico N°14.

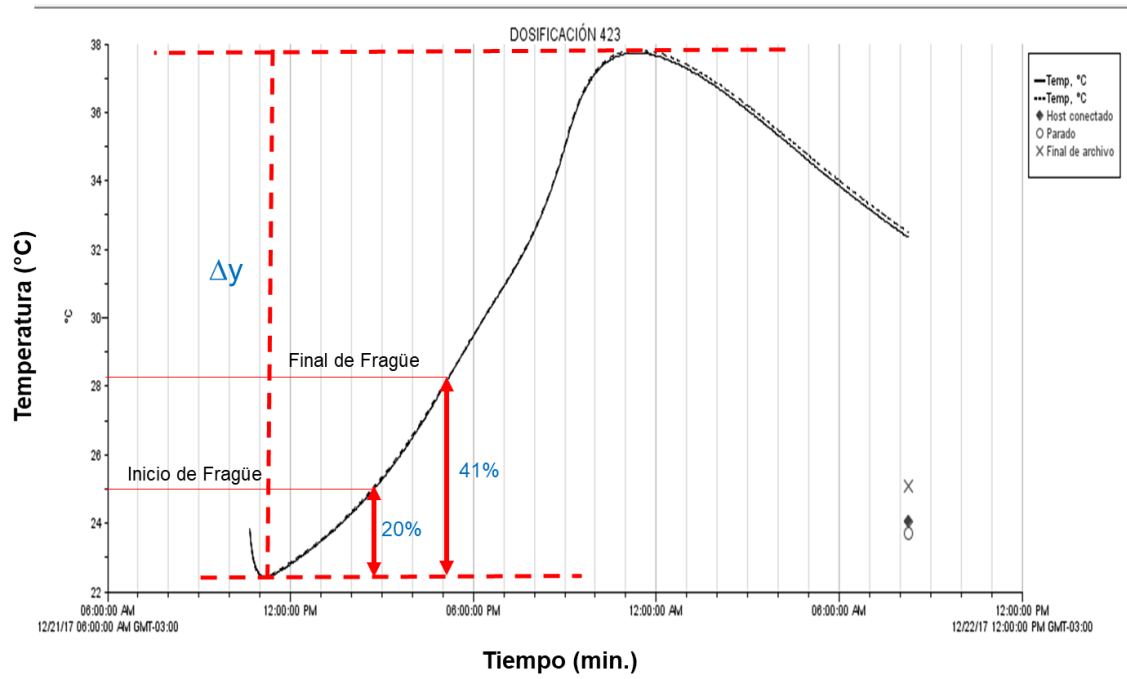


Gráfico N°14: Curva de Calorímetro Semi-Adiabático. Calibración.

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización del Calorímetro Semiadiabático posibilita la obtención del tiempo inicial y final de fragüe en hormigones de una manera más sencilla desde el punto de vista del operario, y más preciso desde el punto de vista del control de las variables intervinientes en el proceso.

Considerando la semejanza de los resultados obtenidos en los ensayos de penetración, podemos adoptar el promedio de los tres resultados como valores precisos, para los tiempo inicial y final de fragüe. Estos valores pueden utilizarse para correlacionarlos con los obtenidos del ensayo de calorimetría.

En cuanto a la calibración del equipo a pesar que los valores obtenidos para cada uno de los pastones son semejantes, la cantidad de ensayos realizados para la contrastación debería ser mayor.

Los resultados obtenidos pueden considerarse válidos para obtener valores de calibración aproximados, ya que la variabilidad entre los pastones obtenidos fue muy baja.

Por lo que recomendamos, se tomen los valores de calibración como aproximados y con un alcance que abarca solo a hormigones con la misma dosificación utilizada. Además realizar correlaciones de ensayo en hormigones con distintas dosificaciones y distintos tipos de cementos.

En cuanto al procedimiento de ensayo recomiendo investigar sobre:

- Influencia del cambio de masa en la probeta, en el resultado de ensayo.
- Influencia de la variación del tiempo transcurrido desde que el cemento se pone en contacto con el agua hasta que la probeta es introducida al equipo.
- Influencia del cambio de operario en la realización de los ensayos de contrastación.



## ANEXO I: DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGÜE EN HORMIGÓN Y MORTERO EMPLEANDO CALORIMETRO SEMI-ADIABÁTICO.



### 1. INSTRUMENTAL NECESARIO

- Calorímetro Semiadiabático, con cuatro puertos.
- Computadora con software HOBOWare.
- Balanza con precisión al gramo.
- Vasos descartables de polipropileno de 500 ml con tapa.
- Varilla de compactación.

### 2. PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN

- Una vez calculada la dosificación a estudiar, se procede a la elaboración del pastón, según procedimiento utilizado en el laboratorio de Estructuras.

### 3. MUESTRAS PARA ENSAYO Y PROBETAS

- Las muestras se obtendrán de acuerdo con lo establecido en la norma IRAM 1541.
- Se tamiza la muestra a través del tamiz IRAM 4,75 mm (IRAM 1501-2).
- El volumen de mortero tamizado, deberá ser suficiente para rellenar la cantidad de recipientes a ensayar.
- Se homogeneiza el mortero obtenido, colocándolo a continuación en los recipientes donde se ejecutaran los ensayos.

### 4. LLENADO DE LOS MOLDES

- Transferir inmediatamente el mortero a los vasos plásticos, **en iguales proporciones**. Utilizar grandes cantidades de mortero para que el equipo capte la variación de temperatura.
- El llenado se debe efectuar en dos capas con 25 golpes por capa (utilizando varilla de mini cono de Abrams de  $\phi 10$ ).
- Golpetear los recipientes para que no queden oquedades de aire dentro del mortero.
- Colocar las tapas a los vasos plásticos, asegurarse que estos queden bien cerrados.
- Pesar e identificar los mismos.

### 5. ENSAYO DE CALORIMETRÍA.

#### 5.1 Inicio de la prueba

- Previo a preparar la muestra, se debe abrir el calorímetro aproximadamente 20 minutos antes y destapar sus puertos, para que la temperatura de cada

uno de estos se encuentre en equilibrio. Se conecta el equipo a la computadora que cuente con el programa HOBOWare.

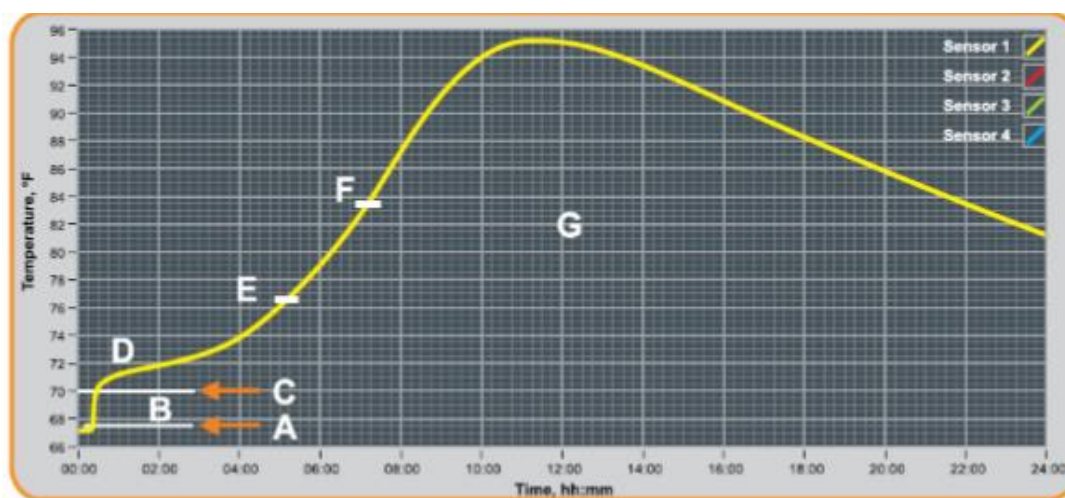
- Introducir los vasos plásticos con las muestras ya pesadas e identificadas en el calorímetro.
- Tapar los puertos con sus correspondientes tapas.

### 5.2 Inicio de lecturas

- Las lecturas se obtendrán de acuerdo con lo establecido en el ANEXO II. INSTRUCTIVO DE USO. SOFTWARE HOBOWarePro, PARA ENSAYOS DE CALORIMETRÍA.

## 6. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

El programa mostrará un gráfico como el siguiente:

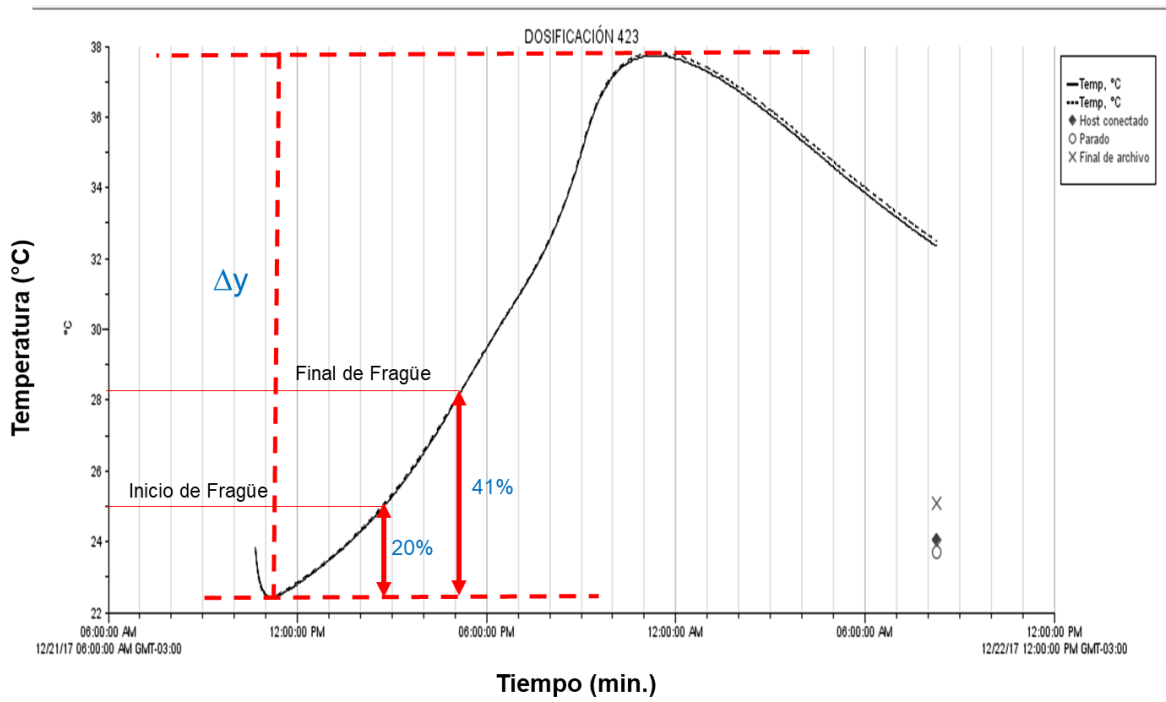


Donde:

- A= Comienzo de la prueba, adición de la muestra en el calorímetro.
- B= Ajuste de temperatura inicial de la muestra con el calorímetro.
- C= Temperatura de la muestra colectada.
- D= Período de inactividad (es posible identificar reacción de fraguado instantáneo).
- E= Estimativo de inicio de fraguado.
- F= Estimativo de final de fraguado.
- G= Hidratación de los silicatos responsables del desarrollo de la resistencia.

## 7. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL CON CALORÍMETRO

En el gráfico el inicio y final de fraguado se dan en el 20% y 41% de la diferencia entre los picos máximos y mínimos de la curva, respectivamente. Como podemos apreciar en la imagen.

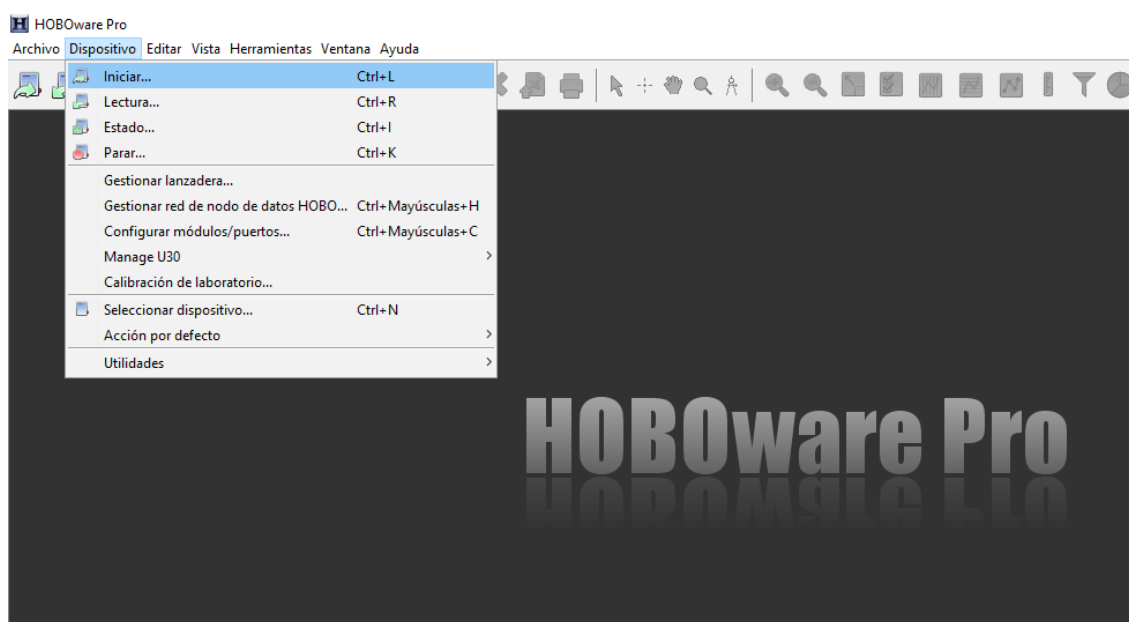


## ANEXO II: INSTRUCTIVO DE USO. SOFTWARE HOBOWarePro, PARA ENSAYOS DE CALORIMETRÍA

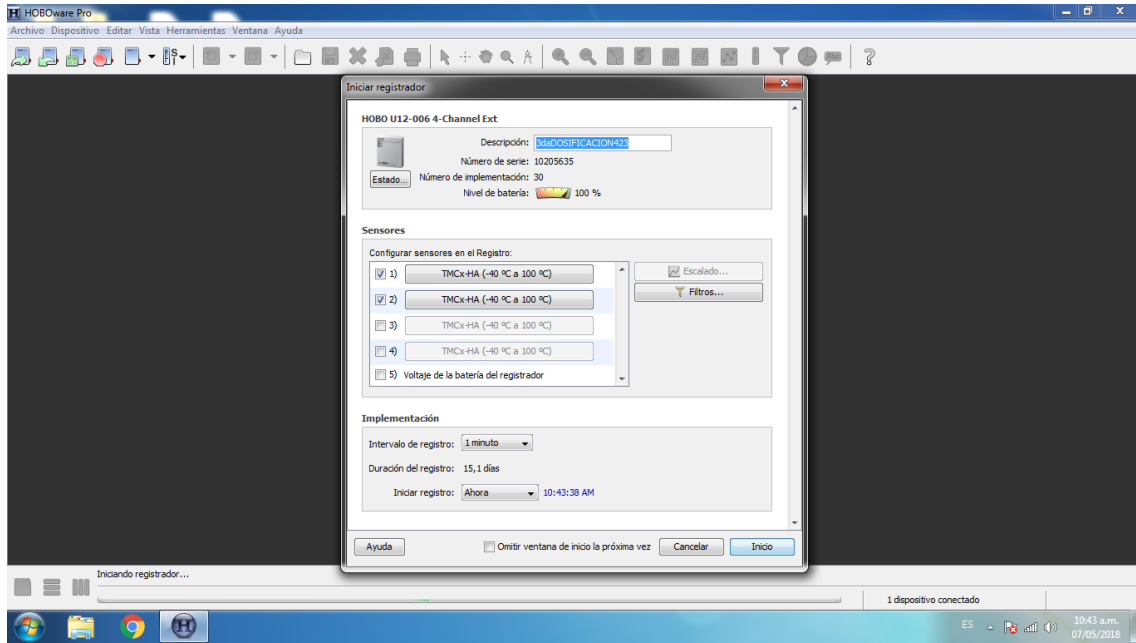
Una vez colocadas las muestras dentro del calorímetro y conectado el mismo a la computadora. Se procedió con el ensayo de la siguiente manera.

### Inicio de lecturas

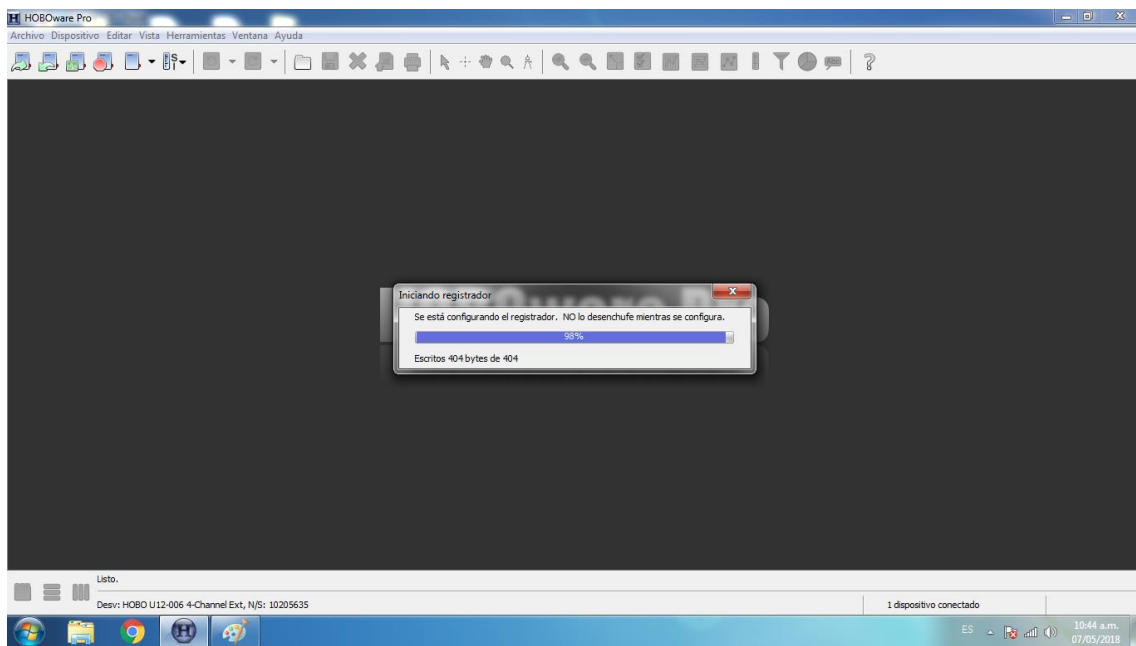
- a) Hacer clic en el icono **HOBOWare** y esperar la apertura del programa.
- b) Seleccionar en **Dispositivo** (menú superior del software) y seleccionar la opción **Iniciar**. Aparecerá una ventana **Registrador no leído** seleccionar **SI** (en el caso que no haya nada dentro del calorímetro que requiera una lectura previa).



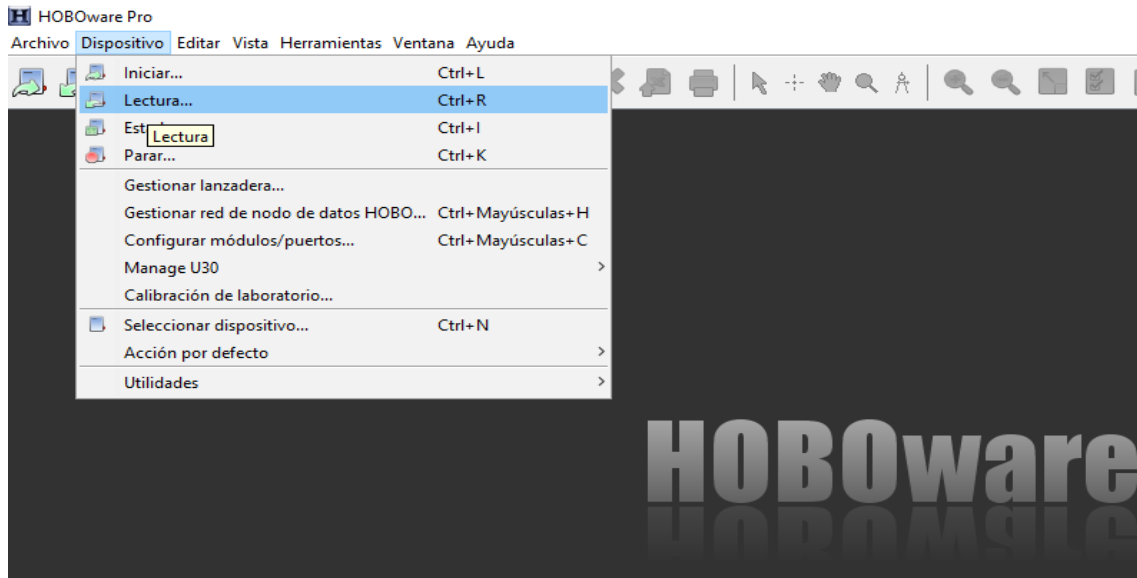
- c) Se abrirá una ventana, mostrando cada uno de los puertos, donde se debe ingresar:
  - Descripción: ejemplo: **Dosificación 423**.
  - Identificar los canales, seleccionar unidad de **temperatura: °C**.
  - Intervalo de registro: seleccionar la opción de tiempo **1 minuto**.
  - Clic en **Iniciar**.



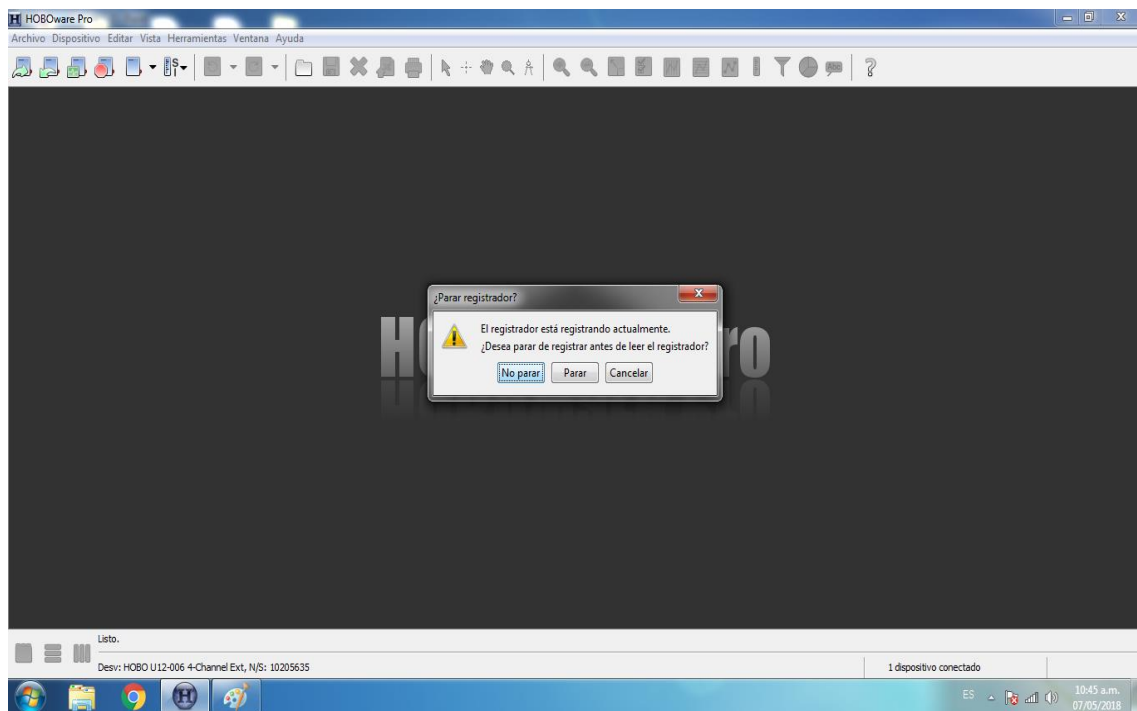
d) Una vez iniciada la lectura, aparecerá una barra que una vez que complete el 100%, indica que la prueba ha iniciado.



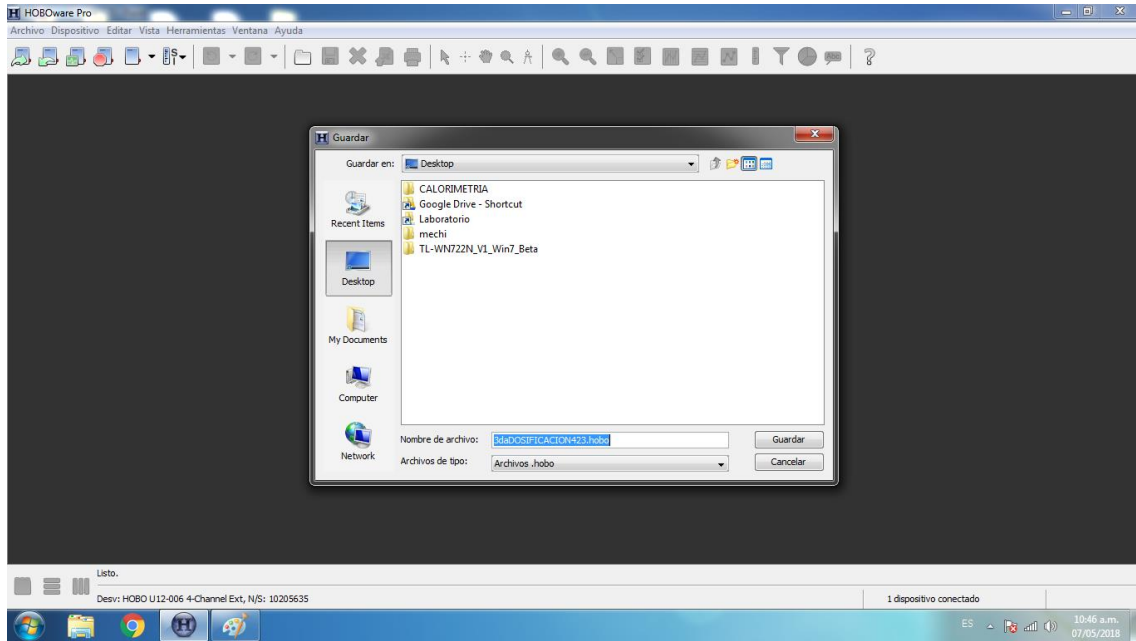
e) Dirigirse nuevamente a **Dispositivo** y hacer clic en **Lectura**.



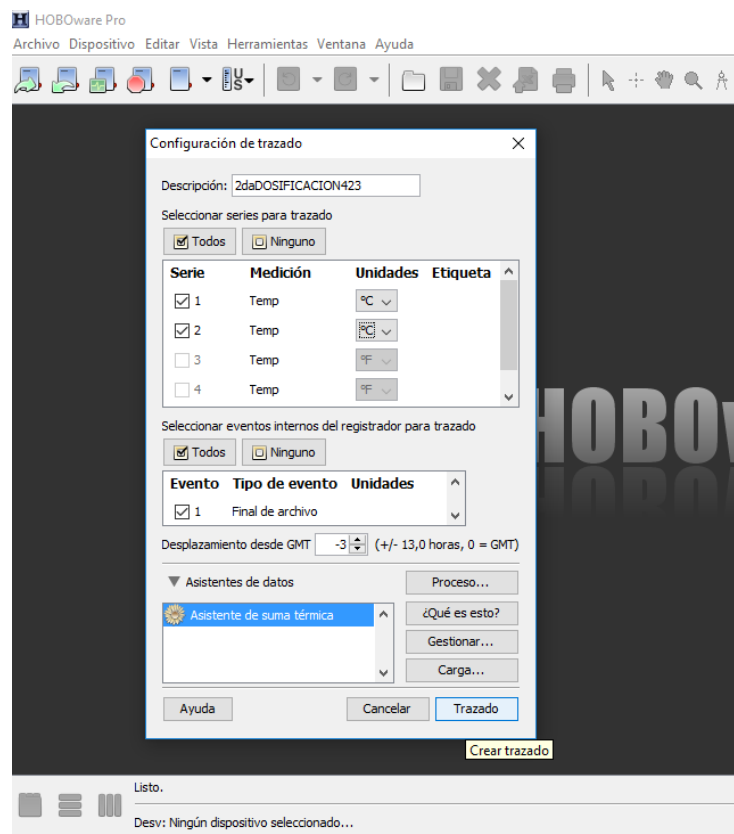
f) Se abrirá una ventana, que pregunta si desea parar de registrar, seleccionar **NO PARAR**, para que continúe el registro.

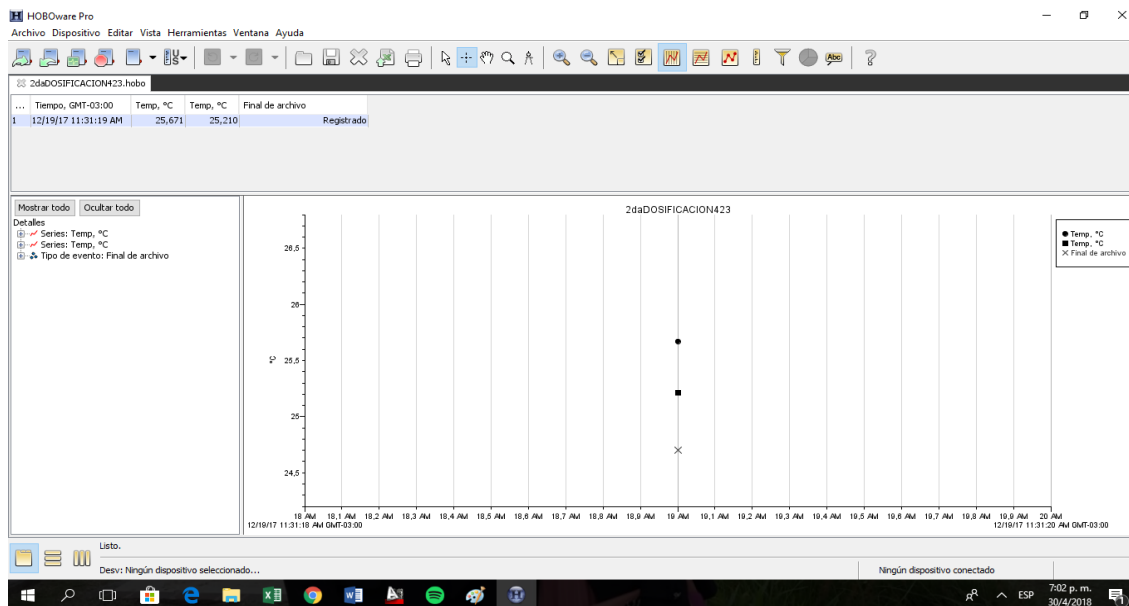


g) Seleccionar la carpeta donde desea guardar los resultados y clic en **Guardar**.



- h) Seguidamente, se abrirá una ventana *Configuración del trazado*, corroborar que los puertos a utilizar estén tildados. Clic en **Trazado**, para que muestre la primera lectura.





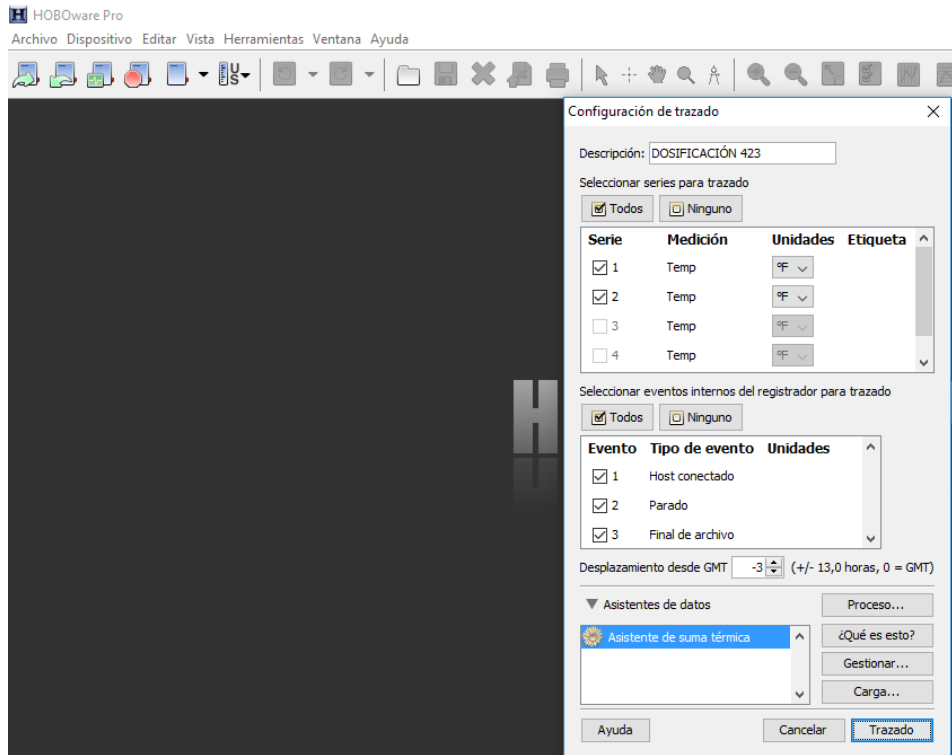
- i) Una vez obtenida la primera lectura, se cierra el programa y se desconecta el calorímetro de la computadora. Se cierra el calorímetro y se lo ubica en un local con temperatura ambiente controlada. El calorímetro seguirá registrando cada 1 minuto las temperaturas de los puertos que contengan muestra.

**Colecta de los resultados**

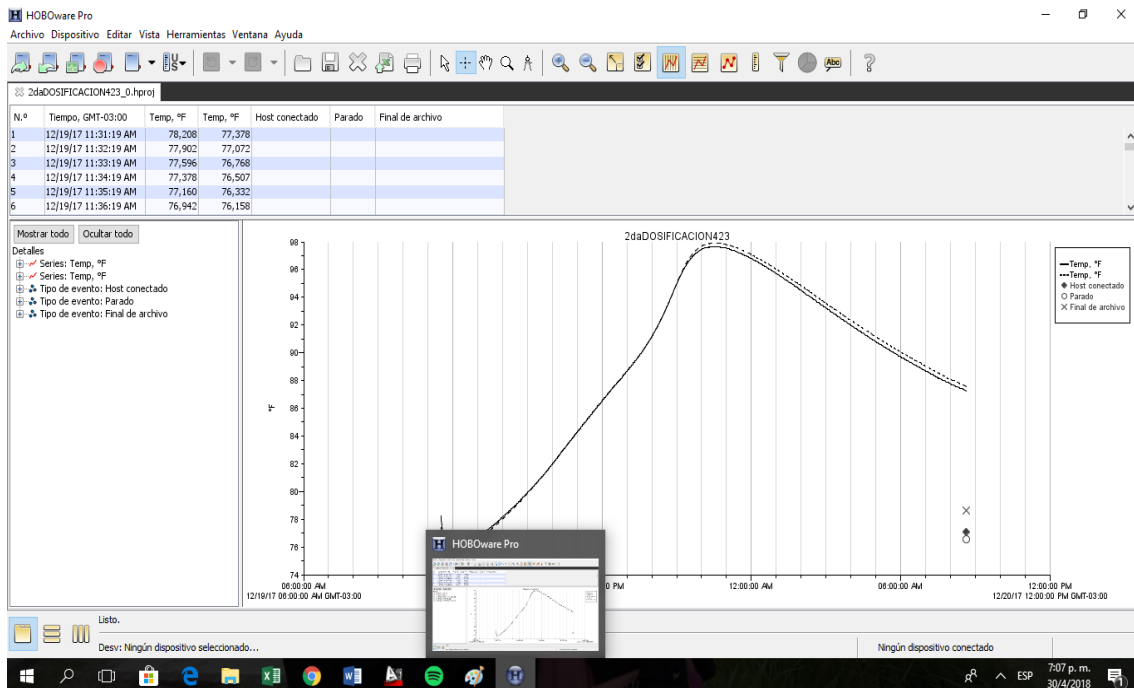
- j) Al día siguiente conectar nuevamente el equipo a la computadora e iniciar el programa.
- k) Se procede de igual manera que en **Inicio de lecturas**, corroborar que al iniciar el programa coincida el nombre que colocamos en descripción (ejemplo: Dosificación 423). Volverá a aparecer la ventana **Registrador no leído** seleccionar **NO** (para no perder las lecturas).
- l) Se abrirá nuevamente la ventana preguntando si desea parar de registrar, seleccionar **PARAR (para que no se consuma la batería del calorímetro)**.
- m) Se abrirá nuevamente la ventana que permite realizar el trazado. Corroborar que los puertos que contienen las muestras se encuentren seleccionados. Clic en **Trazado**.



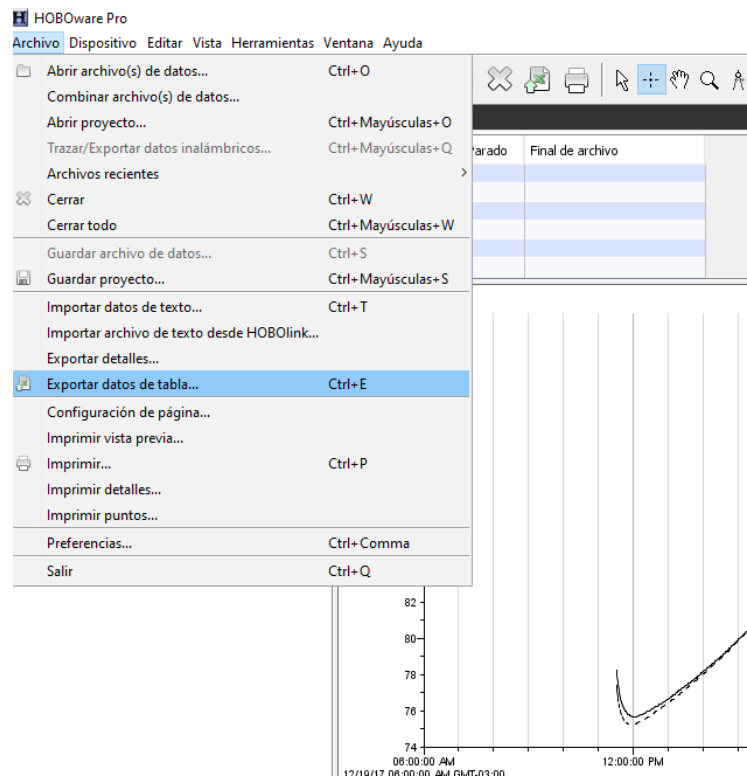
PRÁCTICA SUPERVISADA



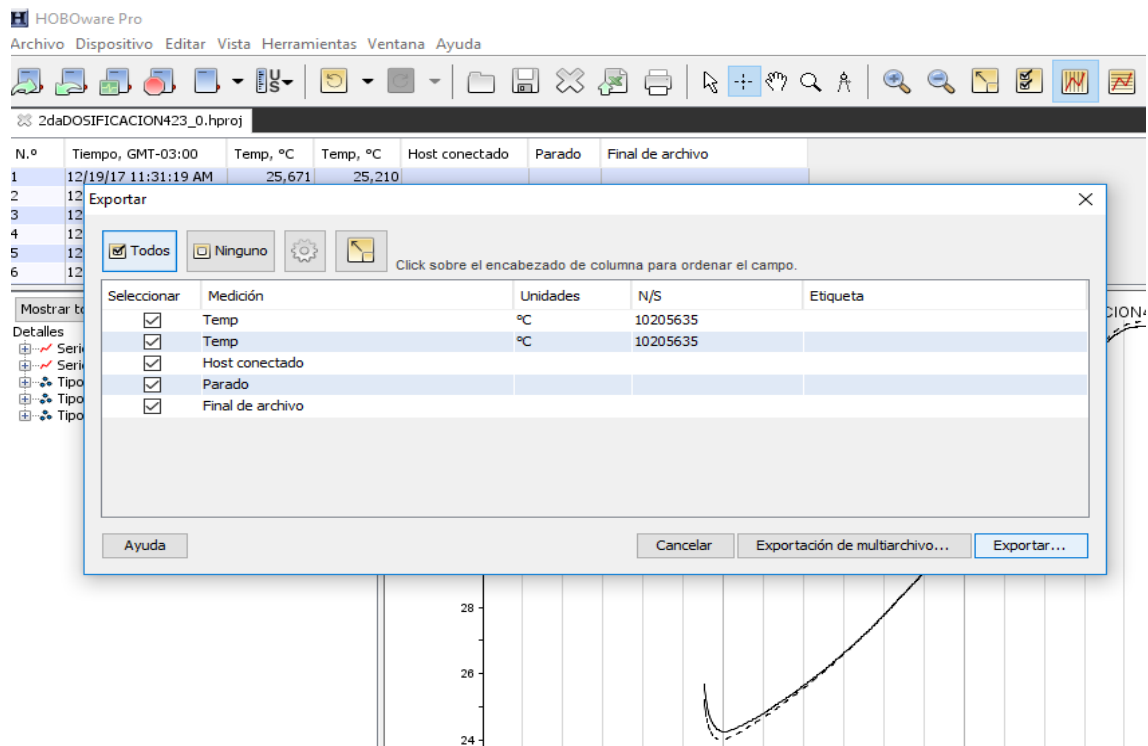
n) El programa automáticamente mostrará el gráfico Temperatura-Tiempo, con los valores en tablas, como se puede observar en la imagen.



- o) El programa nos permite exportar los datos a una tabla de Excel. Hacer clic en **Archivo** y seleccionar **Exportar datos de tabla**.



- p) Se abrirá una ventana indicando los datos a exportar, seleccionar solamente la cantidad de puertos utilizados. Clic en **Exportar**.



- q) Seleccionar la carpeta donde se quieren guardar los resultados y clic en **Guardar**.  
Los datos se guardarán con formato csv, xls.
- r) Se guardan los cambios. Retirar las muestras del equipo.
- s) Higienizar, cerrar y guardar correctamente el calorímetro, para su próximo uso.

**NOTA:**

- El equipo se aloja en las oficinas del Laboratorio de Estructuras de la UNC.
- El Software HOBO ware Pro, se instaló en la computadora ubicada en la oficina de la Directora del Laboratorio Ing. Patricia Irico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Autores varios. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (2012). **“Ese Material llamado Hormigón”**. Editado por Noemí Graciela Maldonado y Ma. Fernanda Carrasco.
- ✓ Autor Agustín Norberto Castiarena (1979). **“Curso de tecnología del Hormigón”**. Editorial Biblos.
- ✓ Normas IRAM (Laboratorio de Estructuras).
- ✓ Información proporcionada por la empresa **“gcp applied technologies”**.
- ✓ **“gcp applied technologies”**: *“Entrenamiento para ensayos con Minimix Calorímetro Semiadiabático”*.