



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE MADUREZ EN PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

PAULINA VALESKA GUZMÁN TAPIA

PROFESOR GUÍA

ADOLFO OCHOA LLANGATO.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

JACQUES BORNAND ARAYA

EDGARDO GONZALEZ LIZAMA

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: Paulina Valeska Guzmán Tapia
FECHA: 23/12/2020
PROFESOR GUÍA: Adolfo Ochoa Llangato

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE MADUREZ EN PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN

La aceptación de obras de pavimentación con hormigón, de acuerdo a la resistencia requerida, en particular para proyectos de pavimentación urbana que deben ser aprobados por el Servicio de Vivienda y Urbanización SERVIU de cada región de Chile, es realizada mediante la extracción y evaluación de testigos de hormigón. Esto implica un ensayo destructivo que demora un tiempo, a veces excesivo, para obtener un resultado que asegure una apertura a tránsito y correspondiente aceptación de pavimentos urbanos. Es por esta razón que es necesario un método no destructivo, predictivo y práctico más eficiente para obtener la resistencia del hormigón a edades tempranas y que sea representativo de las condiciones reales de la obra. En este trabajo de investigación se analizó el método de madurez como herramienta para optimizar los tiempos de apertura a tránsito de pavimentos urbanos de hormigón tipo SERVIU, a partir de la experiencia y resultados obtenidos en un proyecto de pavimentación urbana en Santiago, en coordinación con dos contratistas participantes del proyecto, y sus respectivas empresas proveedoras de hormigón.

El método de Madurez estudia el efecto del historial de temperatura interna del hormigón producto de la reacción de sus componentes y la influencia de la temperatura ambiente sobre la resistencia del hormigón. Este método permite estimar la resistencia in situ del hormigón, mediante una relación única entre el índice de madurez y el desarrollo de resistencia del hormigón, y su uso es específico para una mezcla determinada, por ello, cada vez que cambie alguna proporción de sus materiales, se debe estudiar si esta tendría efectos en la relación o en caso contrario desarrollar una nueva relación de índice de madurez y resistencia. Como primera etapa se elaboró una curva característica para cada contratista, mediante los resultados de tiempo vs temperatura y la resistencia a compresión de los cilindros, y posteriormente se colocaron los sensores de temperatura embebidos en el hormigón, para registrar el comportamiento de la temperatura y realizar un perfil de temperatura vs tiempo, en 5 sectores para contratista 1 y 6 sectores para contratista 2, con lo cual fue posible estimar la resistencia a compresión en cada sector, mediante la aplicación de la función de madurez propuesta por Nurse-Saul.

Con esto fue posible obtener los tiempos en los cuales se alcanzó la resistencia objetivo del proyecto, correspondiente a 34 MPa. Para el caso del contratista 1 esto se alcanzó, en promedio, a los 5 días, y para el contratista 2 a los 3 días en promedio. Considerando como requisito un 75% de resistencia final, como límite de aceptación, se podría realizar la apertura a tránsito al tercer día para contratista 1 y al segundo día para el contratista 2. Lo cual es una considerable disminución respecto al periodo habitual de 28 días para este efecto. Finalmente, se realizó una comparación entre este método y el ensayo de testigos, donde se obtuvieron diferencias de 30% para el contratista 1 y de 14% para el contratista 2, con estos resultados se puede validar el uso y concepto de madurez, con una precisión suficiente, como método complementario a los métodos de aceptación del proyecto, de manera de aportar a la hora de tomar decisiones con rapidez, como lo es la apertura a tránsito, minimizando los tiempos del proyecto y costos del mismo.

DEDICATORIA

A mis padres, Carmen y Sergio.
Por entregarlo todo y más.

...nunca es demasiado tarde.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores,

Jacques Bornand, por la ayuda, la paciencia y entrega en el desarrollo de este trabajo.

Adolfo Ochoa, por el interés en sus alumnos, y darnos un empujón más allá de lo académico, su presencia y preocupación fue de gran ayuda para culminar este proceso.

Edgardo González, por su interés en este trabajo y en el término del proceso académico.

Y a todos los que me han dado energía y ánimos para terminar, sobre todo a Carlos por su apoyo en todas las formas posibles y estar siempre presente.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPITULO 1: INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Descripción General..... | 1 |
| 1.2 Descripción de la investigación | 3 |
| 1.3 Objetivos | 4 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.4 Metodología | 4 |
| CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES | 6 |
| 2.1 Antecedentes..... | 6 |
| 2.1.1 Diseño de pavimentos | 6 |
| 2.1.2 Ensayos control de calidad | 6 |
| 2.1.3 Dificultades ensayo Flexo-tracción | 7 |
| 2.2 Resistencia a la compresión del hormigón | 7 |
| 2.3 Método de madurez del hormigón | 10 |
| 2.3.1 Antecedentes Históricos | 10 |
| 2.3.2 Aplicación Técnica..... | 12 |
| 2.3.3 Experiencia en Chile | 12 |
| CAPITULO 3: MARCO TEORICO | 14 |
| 3.1 Concepto de Madurez del Hormigón..... | 14 |
| 3.2 Modelos para determinar la madurez del hormigón..... | 14 |
| 3.2.1 Modelo de Nurse-Saul | 15 |
| 3.2.2 Modelo de Rastrup | 16 |
| 3.2.3 Modelo de Arrhenius | 17 |
| 3.2.4 Modelo holandés madurez ponderada..... | 17 |
| 3.2.5 Modelo de Guo..... | 18 |
| 3.3 Estimación de la resistencia a la compresión del hormigón a partir del conocimiento de su madurez | 18 |
| 3.4 Normativa vigente para el uso del método de madurez del hormigón..... | 20 |
| 3.4.1 Consideraciones ASTM C1074 | 20 |
| 3.4.2 Consideraciones NCh3565 | 20 |
| 3.5 Equipos para medición de la madurez del hormigón..... | 21 |
| 3.6 Procedimiento para desarrollar la curva madurez-resistencia..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.7 Procedimiento para estimar la resistencia a la compresión del hormigón a partir de su madurez, in situ. | 23 |
| 3.8 Ventajas y limitaciones del método de madurez | 24 |
| 3.8.1 Ventajas de usar la madurez del hormigón..... | 24 |
| 3.8.2 Limitaciones del método de madurez del hormigón | 24 |
| 3.9 Resumen de modelos a utilizar | 25 |
| CAPITULO 4: METODOLOGÍAS Y EJECUCIÓN DE ENSAYOS | 26 |
| 4.1 Metodología utilizada | 26 |
| 4.1.1 Caracterización de hormigones..... | 26 |
| 4.1.2 Instrumentación in-situ..... | 27 |
| 4.1.3 Monitoreo de datos..... | 27 |
| 4.1.4 Extracción de testigos..... | 27 |
| 4.1.5 Ensayo en laboratorio | 28 |
| 4.2. Ejecución de ensayos | 28 |
| 4.2.1 Generalidades | 28 |
| 4.2.2 Contratistas..... | 28 |
| 4.2.3 Tipo de hormigón..... | 28 |
| 4.2.4 Modelo utilizado | 29 |
| 4.2.5 Instrumentación in-situ..... | 34 |
| 4.2.6 Extracción de testigos..... | 40 |
| 4.2.7 Ensayo de testigos | 40 |
| 4.2.8 Cronograma de instrumentaciones y ensayos..... | 40 |
| CAPITULO 5: RESULTADOS | 43 |
| 5.1 Instrumentaciones | 43 |
| 5.1.1 Perfil de temperaturas..... | 43 |
| 5.1.2 Seguimiento Madurez | 49 |
| 5.2 Evaluación de resistencia a través del método de madurez..... | 55 |
| 5.2.1 Madurez Objetivo..... | 55 |
| 5.2.2 Tiempos medidos para alcanzar resistencia objetivo | 56 |
| 5.3 Evaluación de resistencia a través de testigos | 57 |
| 5.3.1 Contratista 1 | 57 |
| 5.3.2 Contratista 2 | 58 |
| 5.4 Evaluación comparativa con testigos de concreto | 58 |

| | |
|---|----|
| 5.4.1 Contratista 1 | 58 |
| 5.4.2 Contratista 2 | 59 |
| 5.5 Análisis de resultados | 60 |
| CAPITULO 6: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES | 62 |
| 6.1 Uso del método de madurez en pavimentos urbanos de hormigón | 62 |
| 6.2 Consideraciones para la implementación del método | 63 |
| 6.3 Continuidad de estudios | 65 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | 68 |
| ANEXO 1 | 70 |
| DATOS CONFECCION CURVA MADUREZ-RESISTENCIA | 70 |
| 1.1 Contratista 1 | 70 |
| 1.1.1 Datos Madurez..... | 70 |
| 1.1.2 Datos Resistencia a compresión..... | 75 |
| 1.2 Contratista 2 | 75 |
| 1.2.1 Datos Madurez..... | 75 |
| 1.2.2 Datos Resistencia a compresión..... | 80 |
| ANEXO 2 | 81 |
| DATOS INSTRUMENTACIONES | 81 |
| 2.1 Contratista 1 | 81 |
| 2.1.1 Datos Madurez..... | 81 |
| 2.2 Contratista 2 | 90 |
| 2.2.1 Datos Madurez..... | 90 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: <i>Resultados caracterización Contratista 1</i> | 30 |
| Tabla 2: <i>Resultados caracterización Contratista 2</i> | 31 |
| Tabla 3: <i>Tiempo en que se alcanza resistencia objetivo Contratista 1</i> | 56 |
| Tabla 4: <i>Tiempo en que se alcanza resistencia objetivo Contratista 2</i> | 57 |
| Tabla 5: <i>Resultados ensayo de compresión testigos Contratista 1</i> | 57 |
| Tabla 6: <i>Resultados ensayo de compresión testigos Contratista 2</i> | 58 |
| Tabla 7: <i>Comparativo resistencias Contratista 1</i> | 58 |
| Tabla 8: <i>Comparativo resistencias Contratista 2</i> | 59 |
| Tabla 9: <i>Datos madurez Contratista 1</i> | 70 |
| Tabla 10: <i>Resultados Compresión cilindros Contratista 1</i> | 75 |
| Tabla 11: <i>Datos madurez Contratista 2</i> | 75 |
| Tabla 12: <i>Resultados Compresión cilindros Contratista 2</i> | 80 |
| Tabla 13: <i>Datos Instrumentación I01 Contratista 1</i> | 81 |
| Tabla 14: <i>Datos Instrumentación I02 Contratista 1</i> | 83 |
| Tabla 15: <i>Datos Instrumentación I03 Contratista 1</i> | 85 |
| Tabla 16: <i>Datos Instrumentación I04 Contratista 1</i> | 86 |
| Tabla 17: <i>Datos Instrumentación I05 Contratista 1</i> | 88 |
| Tabla 18: <i>Datos Instrumentación C01 Contratista 2</i> | 90 |
| Tabla 19: <i>Datos Instrumentación C02 Contratista 2</i> | 91 |
| Tabla 20: <i>Datos Instrumentación C03 Contratista 2</i> | 92 |
| Tabla 21: <i>Datos Instrumentación C04 Contratista 2</i> | 93 |
| Tabla 22: <i>Datos Instrumentación C05 Contratista 2</i> | 95 |
| Tabla 23: <i>Datos Instrumentación C06 Contratista 2</i> | 96 |

INDICE DE GRAFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: <i>Dispersión de datos madurez-resistencia Contratista 1</i> | 31 |
| Gráfico 2: <i>Dispersión de datos madurez-resistencia Contratista 2</i> | 32 |
| Gráfico 3: <i>Curva de Madurez versus Resistencia para Contratista 1</i> | 32 |
| Gráfico 4: <i>Curva de Madurez versus Resistencia para Contratista 2</i> | 33 |
| Gráfico 5: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 01 Contratista 1</i> | 44 |
| Gráfico 6: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 02 Contratista 1</i> | 44 |
| Gráfico 7: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 03 Contratista 1</i> | 45 |
| Gráfico 8: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 04 Contratista 1</i> | 45 |
| Gráfico 9: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 05 Contratista 1</i> | 46 |
| Gráfico 10: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 01 Contratista 2</i> | 46 |
| Gráfico 11: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 02 Contratista 2</i> | 47 |
| Gráfico 12: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 03 Contratista 2</i> | 47 |
| Gráfico 13: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 04 Contratista 2</i> | 48 |
| Gráfico 14: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 05 Contratista 2</i> | 48 |
| Gráfico 15: <i>Perfil de Temperaturas Instrumentación 06 Contratista 2</i> | 49 |
| Gráfico 16: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 01 Contratista 1</i> | 49 |
| Gráfico 17: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 02 Contratista 1</i> | 50 |
| Gráfico 18: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 03 Contratista 1</i> | 50 |
| Gráfico 19: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 04 Contratista 1</i> | 51 |
| Gráfico 20: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 05 Contratista 1</i> | 51 |
| Gráfico 21: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 01 Contratista 2</i> | 52 |
| Gráfico 22: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 02 Contratista 2</i> | 52 |
| Gráfico 23: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 03 Contratista 2</i> | 53 |
| Gráfico 24: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 04 Contratista 2</i> | 53 |
| Gráfico 25: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 05 Contratista 2</i> | 54 |
| Gráfico 26: <i>Seguimiento Madurez Instrumentación 06 Contratista 2</i> | 54 |
| Gráfico 27: <i>Madurez Objetivo Contratista 1</i> | 55 |
| Gráfico 28: <i>Madurez Objetivo Contratista 2</i> | 56 |
| Gráfico 29: <i>Comparativo resistencias Madurez vs Testigos</i> | 59 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: <i>Concepto de Madurez</i> | 14 |
| Figura 2: <i>Modelo de Nurse-Saul</i> | 15 |
| Figura 3: <i>Sensor de madurez (data logger)</i> | 21 |
| Figura 4: <i>Sensor de madurez inalámbrico</i> | 22 |
| Figura 5: <i>Dispositivo Intellirock, y conexión con sensor</i> | 22 |
| Figura 6: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación I01</i> | 34 |
| Figura 7: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación I02</i> | 35 |
| Figura 8: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación I03</i> | 35 |
| Figura 9: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación I04</i> | 36 |
| Figura 10: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación I05</i> | 36 |
| Figura 11: <i>Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C01</i> | 37 |
| Figura 12: <i>Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C02</i> | 37 |
| Figura 13: <i>Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C03</i> | 38 |
| Figura 14: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación C04</i> | 38 |
| Figura 15: <i>Posición terminales Sensor Instrumentación C05</i> | 39 |
| Figura 16: <i>Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C06</i> | 39 |
| Figura 17: <i>Extracción de testigos sensor instrumentación C01</i> | 40 |
| Figura 18: <i>Cronograma de instrumentaciones y ensayos Contratista 1</i> | 41 |
| Figura 19: <i>Cronograma de instrumentaciones y ensayos Contratista 2</i> | 42 |

CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1 Descripción General

La infraestructura vial de un país, tanto urbana como interurbana, es un factor fundamental para su progreso, crecimiento productivo y adecuada calidad de vida de sus habitantes, otorga conectividad terrestre para transporte de personas y de carga, permitiendo realizar actividades productivas, de servicios, distracción y turística.

La red vial interurbana de Chile, en el año 2019 poseía cerca de 86.000 km enrolados, de los cuales aproximadamente 20.000 Km se encontraban pavimentados [1].

En la década de los 80, cerca del 80% de las rutas importantes de la red vial del país eran construidas en base a hormigón, convirtiendo a Chile en un referente en el tema de hormigón para pavimentos, generando información que se utilizó para mejorar métodos de diseños y base de datos para la industria mundial, pero en el inicio de la década del 2000, la situación cambió, incrementándose el uso de asfalto para la pavimentación de la red vial interurbana sobre el uso de hormigón.

Para ese entonces, la construcción de un pavimento de asfalto tenía menor costo que uno de hormigón, pero no así el costo de mantención. Dado lo primero, los proyectos tendieron a darle mayor importancia al valor inicial del proceso constructivo que al ciclo de vida y posteriores mantenciones. Situación que cambió para el 2005, tanto por los conflictos mundiales (Guerra en el Medio Oriente) como al mayor consumo de hidrocarburos de las grandes potencias (China e India), aumentando el costo de los combustibles y los derivados del petróleo, derivando a que la construcción de pavimentos de asfalto se encareciera, y la construcción de pavimentos de hormigón volviera a tomar importancia.

En lo que se refiere a pavimentos urbanos, a nivel país la tendencia es el uso de asfalto, pero en la Región Metropolitana la construcción con hormigón ha aumentado debido a la implementación gradual de la Red Metropolitana de Movilidad. Producto de que tanto la frecuencia como la regularidad de buses han ido aumentando significativamente, ha generado a que los buses mayoritariamente articulados provoquen daños considerables en las vías de circulación construidas en base a asfalto. Es por esto que las vías del tipo Troncal o corredores se han ido reconstruyendo en base a hormigón.

Frente a este contexto, ha sido necesario optimizar las metodologías de diseño del hormigón, así también como el aumento de tecnología aplicada, para mejorar la competitividad económica del hormigón frente al asfalto [2], tanto en la construcción como en su mantenimiento.

Esta optimización e innovación no sólo han aportado a la reducción de costos de construcción, también ha generado un aumento en la velocidad con la que se realizan los procesos constructivos. Y es aquí, donde es necesario conocer el comportamiento de la resistencia del hormigón, principalmente a edades tempranas, de manera de asegurar el cumplimiento de las especificaciones requeridas por el proyecto y las normas vigentes.

Actualmente, la normativa chilena establece como metodología de control de resistencia mecánica de hormigón, la rotura de probetas, ya sea por resistencia a la compresión o a la flexo-tracción, de acuerdo al parámetro de aceptación que se requiera, utilizando muestras de hormigón en estado fresco, mediante ensayos de probetas en laboratorio, controlando la resistencia potencial del hormigón colocado en la estructura respecto a la resistencia especificada para cada tipo de proyecto.

Estas probetas, son sometidas a condiciones ideales de temperatura y humedad, poseen diferente geometría que el elemento hormigonado, su volumen es pequeño pero con mayor área superficial, por lo cual retienen poco calor en comparación al elemento hormigonado y es así que se producen evoluciones de resistencia distintas. Debido a esto, los valores de resistencia obtenidos (resistencia potencial) varían en función a la resistencia real de la estructura, siendo estos resultados no representativos de las condiciones reales a las cuales está sometida la estructura

Otro método utilizado corresponde a la determinación de la resistencia por medio de la extracción de testigos, que si bien muestra las condiciones reales a las cuales está sometido el hormigón, es un procedimiento destructivo. Además, las recomendaciones de la norma chilena consideran que el tiempo entre extracción y ensayo de estos es de 5 a 7 días, lo que lo hace un procedimiento de difícil ejecución para proyectos en que estos resultados se requieran a edades tempranas. [3] [4]

Es por esta razón que es necesario un método no destructivo, predictivo y práctico más eficiente para obtener la resistencia del hormigón a edades tempranas y que sea representativo de las condiciones reales de la obra. Un método adecuado a utilizar puede ser el Método de Madurez

El método de Madurez, estudia el efecto del historial de temperatura interna del hormigón producto de la mezcla de sus materiales y la influencia de la temperatura ambiente sobre la resistencia del hormigón. El método de Madurez permite estimar la resistencia in situ del hormigón, mediante una relación única entre el índice de madurez y el desarrollo de resistencia del hormigón, utilizando dispositivos de registro de temperatura. Su uso es específico para una mezcla de hormigón, por ello, cada vez que cambie alguna proporción de sus materiales, se debe desarrollar una nueva relación entre el índice de madurez y resistencia.

El método de Madurez permite estimar cuando la resistencia in situ del hormigón ha alcanzado la resistencia de diseño, permitiendo que los procesos de construcción se programen de una manera más eficiente.

En el caso particular de pavimentos de hormigón, la resistencia puede ser evaluada mediante vigas ensayadas a flexo-tracción y/o testigos de hormigón endurecido ensayados a compresión, en ambos casos la duración para obtener los resultados de los ensayos es extensa, llegando hasta los 28 días. El hormigón utilizado en este tipo de proyectos en general, son potenciados por las premezcladoras, es decir varían las características del hormigón, obteniendo como resultado un incremento de la resistencia desde edades tempranas, esto para garantizar que se llegue a la resistencia operacional al ser pavimentos urbanos tipo SERVIU. Sin embargo esta mejora en el aumento de la resistencia es desaprovechada al esperar los tiempos usuales de los controles que se realizan, es decir, esperar la obtención de resultados a 28 días para la recepción final del proyecto.

El presente trabajo de Título estudia la aplicación del concepto de madurez del hormigón a pavimentos urbanos tipo SERVIU, a partir de la experiencia y resultados obtenidos en un proyecto de pavimentación urbana en Santiago, de manera de validar el uso y concepto de madurez como método complementario a los métodos de aceptación del proyecto, y en consecuencia aportar a la hora de tomar decisiones con rapidez, como la apertura a tránsito, optimizando así los tiempos de trabajo. Se explican los procedimientos para obtener la madurez y determinar la relación con la resistencia del hormigón de acuerdo a revisión bibliográfica del tema, el proceso de monitoreo de dispositivos para registrar los datos y evolución de la temperatura, se exponen los resultados obtenidos y análisis de tiempos de obtención de resistencia especificada, de acuerdo al hormigón utilizado. Finalmente, se realiza una comparación de resultados mediante el ensayo de testigos, extraídos en los distintos sectores de los pavimentos instrumentados, con el objeto de validar el método.

1.2 Descripción de la investigación

El interés y enfoque por implementar el método de madurez ha sido adoptado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), en sus contratos de pavimentos de hormigón interurbanos, lo cual ha generado importantes ahorros en los tiempos de puesta en marcha y en la flexibilidad de la construcción. En el contexto de vías urbanas, la introducción de esta metodología ha sido más lenta [5].

Es por ello que, en común acuerdo con el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH) y en conjunto con el Servicio de Vivienda y Urbanismo Metropolitano (SERVIU), se desarrolló una experiencia práctica de un proyecto de pavimentación urbano de hormigón del SERVIU Metropolitano.

El proyecto en el cual se tomaron datos, corresponde a la pavimentación del Corredor Vicuña Mackenna, que en su totalidad se extiende entre Av. Matta por el Norte y Vicente Valdés por el Sur, donde se intervinieron cerca 8,4 kilómetros, en ansias de mejorar la conectividad y accesibilidad intercomunal, aumentando los promedios actuales de viaje de los buses [6]. Beneficiando así, a 60 mil usuarios del transporte público de superficie diariamente con esta infraestructura, dedicada al transporte público, incluida en el Plan de mejoramiento de Transantiago.

De esta manera, y en coordinación con los dos contratistas participantes del proyecto, y sus respectivas empresas proveedoras de hormigón, además del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile, se desarrollaron las actividades necesarias para la implementación del método de madurez, la extracción de testigos a distintas edades y los ensayos de laboratorio correspondientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo del estudio es evaluar y validar el método de madurez en pavimentos urbanos de hormigón tipo SERVIU, como método complementario a los métodos de aceptación de este tipo de proyectos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener curvas características de Madurez-Resistencia para el hormigón a utilizar.
- Estimar in-situ y en tiempos reales el índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para un pavimento urbano de hormigón.
- Establecer si, por medio del método de Madurez del hormigón es posible determinar la resistencia óptima en el cual el hormigón está apto para la apertura rápida a tránsito en un proyecto de pavimentación urbano.

1.4 Metodología

El desarrollo de este trabajo de título contempla las siguientes etapas:

- a. Revisión bibliográfica orientada a la recopilación de antecedentes. Correspondiente a la revisión de normas nacionales e internacionales, papers sobre el método de madurez, y diversos textos referentes al tema.
- b. Caracterización de hormigones. Obtener las respectivas curvas de Madurez – Resistencia del proveedor de hormigón, de cada contratista involucrado en la experiencia.
- c. Instrumentación in-situ. Ubicación de los sensores en los distintos sectores de medición.

- d. Monitoreo de datos. Monitoreo de la resistencia desarrollada mediante el método de madurez en los distintos sectores que se encuentran ubicados los sensores.
- e. Extracción de testigos y ensayo en laboratorio. Extracción de dos testigos a distintas edades, en los distintos sectores que se encuentran ubicados los sensores. Ensayos de testigos en laboratorio.
- f. Análisis y validación de resultados
 - i. Evaluación de la resistencia a través de la madurez: Mediante los datos de temperatura obtenidos in situ, se determina la resistencia para cada uno de los sectores instrumentados, utilizando la curva de madurez correspondiente, realizando comparación con la resistencia especificada de cada hormigón.
 - ii. Evaluación de la resistencia a través de testigos: Mediante los resultados de ensayo de testigos, se analizan diferencias entre los métodos para verificar y validar el método de madurez.
- g. Comentarios y conclusiones.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Antecedentes

El hormigón es el material de construcción fundamental con el cual se diseñan y elaboran diversos proyectos de construcción para el desarrollo de ciudades y su infraestructura, como son edificios, carreteras, represas hidráulicas, etc. Es una mezcla heterogénea, compuesta por un material aglomerante (cemento), agregados inertes (áridos), agua y eventualmente aditivos y/o adiciones. Estos materiales, debidamente dosificados y mezclados, permiten al hormigón desarrollar sus propiedades por hidratación del cemento, proporcionando resistencia y durabilidad a las estructuras [7].

Se presentan dos estados esenciales de esta mezcla, el estado plástico o fresco (inicial), y el estado endurecido (final). El hormigón fresco posee propiedades relevantes como: trabajabilidad, consistencia, homogeneidad, masa específica o densidad; mientras que entre las propiedades más importantes en el hormigón endurecido se tiene: permeabilidad, dureza, retracción, velocidad de fraguado y resistencia a los esfuerzos de compresión, tracción, y flexión. [8]

2.1.1 Diseño de pavimentos

Para el diseño de pavimentos de hormigón o pavimentos rígidos, se utilizan teorías basadas en la resistencia a la flexo-tracción, debido a que, en el caso ideal, cuando una carga actúa sobre el centro de la losa, se produce una flexión de la misma de manera que los máximos esfuerzos se localizan en la cara inferior de ella.

2.1.2 Ensayos control de calidad

El ensayo de resistencia a la flexo-tracción de vigas o probetas prismáticas (150x150x530 mm) se utiliza como control de calidad, de acuerdo a las consideraciones de ensayo establecidas por NCH1038:77 Hormigón – Ensayo de tracción por flexión. Además, en el Manual de Pavimentación y Aguas Lluvias, del Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), del año 2008, se estipula que deberán ejecutarse la extracción de testigos para determinar el espesor de pavimento y la resistencia a compresión a los 28 días. Teniendo este último resultado, se obtiene la resistencia característica a flexo-tracción, utilizando el valor de conversión 7,8 indicado por el manual [9]. Adicionalmente, el SERVIU de la Región Metropolitana dio a conocer la versión actualizada del Manual de Pavimentación y Aguas Lluvias (año 2020), rectificando capítulos e introduciendo nuevos conceptos, debido a las modificaciones a la normativa vigente, estableciendo que la resistencia del hormigón para pavimentos se controlará a la compresión cilíndrica teniendo en cuenta que el Grado de Hormigón para vías del tipo Expresa, Troncal y Colectora es G35. [10]

2.1.3 Dificultades ensayo Flexo-tracción

En particular, existen una serie de dificultades en el momento de la evaluación para este ensayo, como por ejemplo:

- Son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimiento de curado.
- Las vigas son muy pesadas, llegan a pesar entre 26-30 kg (sin contar el peso del molde utilizado, el cual alcanza un valor entre 35-40 kg), lo que dificulta su transporte, y es necesario de una mayor cantidad de técnicos en obra, esto encarece los costos de control de calidad.
- Son susceptibles a ser dañadas cuando se manipulan y transportan desde el lugar de la obra hasta el laboratorio, donde serán ensayadas.
- Realizar el ensayo a la flexión, en condiciones secas arroja un resultado más bajo. Las vigas deben ser bien curadas y deben ser ensayadas en condiciones húmedas.
- Considerando los diversos inconvenientes experimentales, existe una elevada variabilidad de los resultados de los ensayos de resistencia a flexo-tracción.

En muchos proyectos viales con pavimentos de hormigón se recurre al ensayo de resistencia a la flexo-tracción, pero debido a las dificultades mencionadas y al hecho de que tanto la tipificación habitual para hormigones como el control de calidad en obra se basan en la resistencia a compresión, el cual es un ensayo más sencillo y menos costoso, la tendencia ahora es migrar hacia el ensayo de resistencia a compresión y así poder calificar la calidad de los pavimentos de hormigón, mediante la correlación entre compresión y flexo-tracción, o mediante la actualización de la normativa vigente que establece que la resistencia del hormigón para pavimentos se controlará a la compresión cilíndrica.

2.2 Resistencia a la compresión del hormigón

La resistencia a la compresión, es la característica mecánica principal del hormigón, utilizando sus valores como parámetro para diseño de diversas estructuras. La resistencia del hormigón se encuentra influenciada por muchos factores tanto internos como externos, como por ejemplo:

- a) Relación o razón agua-cemento (A/C): factor de gran influencia, tanto en la porosidad de la pasta de cemento. Por lo tanto, cuanto la relación agua/cemento es alta, hay mayor porosidad, lo que vuelve la matriz de la pasta de cemento más débil y se obtienen un hormigón menos resistente. En cambio a menor razón A/C, se obtiene un hormigón de mayor resistencia, siendo directamente relacionada con la calidad y la cantidad de cemento presente. [11]
- b) Contenido de cemento: La proporción y características del cemento dentro de la mezcla tienen una gran influencia en la resistencia del hormigón a cualquier edad. Es así como a mayor contenido de cemento se puede obtener una mayor resistencia y a menor contenido la resistencia del hormigón va a ser menor.
- c) Curado del hormigón: El proceso de curado tiene como función principal evitar la pérdida de agua necesaria para el fraguado de la mezcla de hormigón, brindándole condiciones adecuadas de humedad y temperatura, de manera que permita al hormigón desarrollar las propiedades de resistencia y durabilidad para las que ha sido diseñado
- d) Temperatura ambiente: influye aumentando la temperatura interna del hormigón, la cual puede generar diversos problemas de desarrollo de resistencia a edades tempranas y posteriores, si no se tienen los cuidados e inspecciones adecuadas.

Es así, que una vez realizada la mezcla de hormigón, el cemento y el agua entran en contacto produciendo varias reacciones químicas, lo cual provoca el fraguado y endurecimiento de la mezcla. Mientras ocurren estas reacciones dependen de muchos factores, entre ellos la temperatura que experimenta el hormigón debido a la hidratación del cemento, dado que la hidratación es un proceso exotérmico, provocando el aumento de temperatura interna del hormigón durante el fraguado y endurecimiento. La temperatura es una variable muy influyente no sólo sobre la tasa de evaporación del agua de mezclado, sino también, sobre las características físicas de los agregados y la velocidad de hidratación del cemento.

Dicha velocidad de hidratación del cemento aumenta de manera proporcional con la temperatura, por lo tanto, la resistencia del hormigón se ve afectada por la velocidad de hidratación, ya que aumenta con la edad, pero depende de las condiciones de humedad y temperatura dentro del mismo. He ahí la importancia del curado en forma continua desde que el hormigón es colocado hasta que alcance la resistencia requerida.

Con todo lo descrito se observa que la resistencia del hormigón no sólo depende de sus componentes sino también del entorno en el que se encuentra y es proporcional a la hidratación del cemento, la cual se ve influenciada por la relación agua/cemento de la mezcla, el tipo de curado y de las condiciones ambientales.

Al diseñar un hormigón, se espera obtener un desempeño mecánico deseado, tomando en cuenta varios aspectos, como los ya mencionados, relación agua/cemento, tamaño máximo del agregado, humedad, así también el asentamiento requerido, absorción de los agregados, etc., este diseño es empírico por lo cual en obra debe hacerse un seguimiento acabado, requiriendo cierto número de muestras que se ensayaran a edades establecidas.

Comúnmente, la resistencia a la compresión se evalúa a través de ensayos directos de probetas moldeadas. Estas probetas, que son sometidas a ensayo y control de calidad, se elaboran y curan cumpliendo los requerimientos y procedimientos indicados en la norma chilena NCh1037:2009 “Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”, es decir, son mantenidas en condiciones controladas hasta la edad de ensayo.

En los proyectos de construcción, se toman muestras cada cierta frecuencia de hormigonado, obteniendo los resultados, normalmente, a 7 y 28 días. Es decir, se debe esperar esta cantidad de días para obtener los resultados de ensayos de resistencia, de manera de asegurarse que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para continuar con las actividades de construcción en donde se encuentre el hormigón de la muestra ensayada.

También es posible obtener la resistencia del hormigón mediante la extracción de testigos, cuando sea necesario o se indique en las especificaciones del proyecto; este es un método destructivo, siendo muy importante determinar el lugar correcto de extracción de los testigos. Los requerimientos y procedimientos se encuentran en las normas: NCh1171/1:2012 “Hormigón – Testigos de hormigón endurecido – Parte 1: Extracción y ensayo” y NCh1171/2 “Hormigón – Testigos de hormigón endurecido – Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica”.

Pero al igual que las muestras de hormigón fresco, es necesario mantener a los testigos en condiciones ideales de laboratorio, además de realizar actividades previas (inspección visual, mediciones geométricas, corte, esbeltez, planeidad en sus caras) de modo prepararlos para ser ensayados entre los 5 y 7 días siguientes a la fecha de extracción, o en caso contrario a las edades establecidas entre las partes involucradas [3]. Es decir, se debe esperar un tiempo para obtener los resultados y luego evaluar la resistencia obtenida, determinando así, el proceso a seguir en el elemento que fue extraído el testigo, que en el caso más desfavorable puede ser la destrucción del mismo.

Es entonces que cabe recalcar la necesidad de determinar la resistencia real a compresión de hormigón en una estructura con mayor confiabilidad, es aquí donde entra el método de madurez. Este método, puede indicar directamente la resistencia en el lugar, se podrá conocer la resistencia en tiempo real, inclusive a una edad temprana, dado que la madurez puede leerse continuamente.

2.3 Método de madurez del hormigón

2.3.1 Antecedentes Históricos [12]

El método de la madurez es una técnica que se remonta a estudios realizados por investigadores ingleses a fines de la década de los años 40 y principios de los años 50; por McIntosh (1949) sobre los métodos de curado acelerado; Nurse, 1949 y Saul, 1951. Donde se identificó la gran influencia de la temperatura sobre la evolución de la resistencia del hormigón. Durante esa época se dedujo que la temperatura del hormigón estaba directamente relacionada con la cantidad de hidratos que se generan en la hidratación del cemento y estos, a su vez, con la resistencia del mismo. De esta forma aparece el concepto de madurez que se funda en el historial de temperaturas internas del hormigón; este concepto utiliza el principio de que la resistencia del hormigón está directamente relacionada con la edad y el desarrollo de su temperatura, desde el inicio de la medición hasta el tiempo para el cual se desea estimar dicha resistencia.

Posteriormente, en los años sesenta, investigadores daneses del Instituto de Tecnología de Dinamarca, P. Fresleben, Hansen y J. Pedersen, realizaron un modelo matemático y termodinámico en el que relacionaban la resistencia y la madurez del hormigón. Un modelo que resultaba más conveniente que los métodos que se utilizaban anteriormente, entendiéndose como madurez del hormigón la velocidad con la que se hidrata el cemento, proceso mediante el cual este componente se convierte en el agente aglomerante de la mezcla.

Luego, el método de madurez tomó mayor profundización a causa de un derrumbamiento progresivo en un segmento de un edificio de varios niveles en construcción, en el condado de Fairfax, Virginia, Estados Unidos, ocurrido el 2 de marzo de 1973. Producto de este suceso, fallecieron 14 obreros y 34 resultaron heridos. Fue entonces cuando el Departamento Nacional de Estándares (NBS, National Bureau of Standards) solicitó a la Administración Ocupacional de la Seguridad y Sanidad (OSHA, Occupational Safety and Health Administration) asistencia técnica para determinar la causa del colapso de la estructura.

El reporte concluyó, que la causa más probable del colapso fue el descimbre prematuro, presentando esfuerzos de corte que excedían la capacidad de soporte del hormigón, el cual se cree que tenía una edad de cuatro días. Durante este periodo, la temperatura promedio, era de aproximadamente 7 °C. Los investigadores se encontraron con dificultades para realizar una estimación confiable de la resistencia del hormigón en obra, a la hora del colapso, dado que a bajas temperaturas el hormigón adquiere resistencia lentamente. Esto, incrementó el interés sobre el concepto, en ese entonces innovador, de determinación de la resistencia del hormigón in-situ, por medio del método de madurez, sometido a condiciones de temperaturas variables.

Más tarde, ocurrió otro incidente, a causa de un desplome en la construcción de una torre de enfriamiento en la Isla de Willow, Virginia Occidental, Estados Unidos, el 27 de abril de 1978, En el incidente murieron 51 trabajadores, que se ubicaban en el sistema de andamio anclado al cascaron parcialmente terminado. El NBS nuevamente solicita asistencia a OSHA para determinar la causa técnica de la falla. Los investigadores concluyeron que una de las causas más probables era la poca resistencia del hormigón para soportar las cargas aplicadas durante la construcción. En el momento de la falla, el hormigón tan sólo tenía un día de edad y había sido expuesto a una temperatura ambiente promedio menor a los 10 °C.

Esta falla convenció los investigadores del NBS que era urgente la necesidad de estándares para estimar la resistencia del concreto in-situ durante las construcciones. Fue entonces que el equipo de NBS comenzó con el estudio profundo del método de madurez. Las investigaciones de NBS propusieron las bases para el desarrollo del primer estándar en el mundo en la aplicación del método de madurez. Como resultado, la NBS identificó el método de la madurez como una alternativa viable para estimar la resistencia del hormigón sometido a diferentes temperaturas de curado. Esto, a su vez, condujo a la creación de la primera norma en el mundo (American Society for Testing and Materials, ASTM C1074) en 1987 para estimar la resistencia del concreto a través del método de madurez.

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

En la actualidad, el método de madurez es muy utilizado en la industria de la construcción, en múltiples aplicaciones e investigaciones a nivel mundial entre las que destacan:

- El control de Pavimentos de hormigones en el Estado de Iowa, Michigan, Indiana, Texas, New York y Washington en los Estados Unidos desde 1989.

- Control del hormigón en construcción de líneas del metro de Kioto y la reconstrucción en Kobe, Japón desde 1990 (Aoki construction).

- Reconstrucción del puente Webbers Falls en Oklahoma. El Puente Webbers, sobre el río Arkansas, el cual se derrumbó el 26 de mayo de 2002 después de ser golpeado por una embarcación. El puente fue reconstruido y reabierto al tráfico el 29 julio, a sólo 47 días después del episodio. El método de madurez jugó un papel fundamental en medir el tiempo de remoción del encofrado para columnas de soporte y otros elementos de la subestructura. En algunos casos, el desencofrado era posible en un tiempo de tan sólo 13 horas.

2.3.2 Aplicación Técnica

El método de madurez tiene particulares ventajas frente a otros métodos para estimar la resistencia de hormigón en obra. Los demás métodos, tanto los destructivos como los no destructivos, presentan ciertos inconvenientes:

- En el caso de los métodos destructivos muchos de ellos no pueden ser usados en obra cuando el hormigón se encuentra a temprana edad, lo cual no es muy factible tomando en consideración que en una obra mientras más rápido se pueda estimar la resistencia de la estructura, más rápido se podrá poner en servicio.
- Para los métodos no destructivos, uno de los principales inconvenientes es que los especímenes recuperados por los laboratorios son mantenidos bajo condiciones ideales, a una temperatura y humedad constante, lo cual al final no será capaz de entregar datos cien por ciento reales, sino que por el contrario, estos resultados difieren a los que se obtienen realmente en obra y su objetivo es diferente.

Una interesante ventaja frente a los demás métodos, es que el método de madurez trabaja con el perfil de temperaturas real de la estructura de hormigón a la hora de estimar la resistencia, esto optimiza el proceso de construcción gracias a una información de resistencias más precisas en tiempo real, permitiendo mejorar la productividad en obra; de la misma manera es aplicable a nuevos métodos de sistemas constructivos y a la producción de elementos prefabricados. Sólo por dar un ejemplo, los resultados más precisos que ofrece el método de madurez permiten entre otras cosas programar con gran precisión el momento indicado para trabajos críticos tales como el desencofrado, pos-tensado, corte de juntas en el caso de pavimentos, apertura al tráfico, retiro de protecciones en clima frío, izaje, etc.

2.3.3 Experiencia en Chile

Se considera que el uso del método de madurez en Chile, fue realizado por primera vez en el año 1981 en la Central Antuco, debido a la necesidad de acelerar el desmolde del recubrimiento de túneles, reduciendo los costos de construcción en aproximadamente US\$2.000.000. [2][13]

Posteriormente se utilizó en la construcción de dovelas de la línea 5 del Metro de Santiago, desmoldando a 16 hr de colocado el hormigón. También es utilizado en proyectos de centrales hidroeléctricas y proyectos mineros [13].

La Dirección de Vialidad en conjunto con el Ministerio de Obras Públicas (MOP), detectaron la oportunidad del uso del método de madurez para agilizar la apertura a tránsito en los contratos de pavimentación de hormigón y es así que, a partir de agosto del año 2012, entra en vigencia el Instructivo de Nuevas Tecnologías y Especificaciones Técnicas de Pavimentos de Hormigón de la Dirección de Vialidad (ORD N° 9371), en el cual en el Anexo 3, define el concepto de madurez y el

procedimiento a seguir. Uno de los primeros proyectos donde se indica en sus bases, que el control de resistencias en los pavimentos de hormigón debe ser por el método de madurez es el contrato de Reposición Ruta 60-CH sector Juncal-Portillo, ubicado en la provincia de Los Andes, Región de Valparaíso del 2013 [14].

Luego, en la actualización de la Norma NCh170: “Hormigón requisitos generales” del año 2016, se incorpora el concepto de madurez, incorporando criterios para el desmolde y descimbre temprano de elementos estructurales de hormigón

Durante los años 2017 y 2018, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo se encontraba en revisión el anteproyecto de norma “Hormigón - Estimación de la Resistencia Mecánica Método de la Madurez”, que es una adaptación de la norma norteamericana ASTM 1074. Actualmente, la norma se encuentra aprobada y vigente con la nomenclatura NCh3565:2018.

A la fecha, se ha adoptado el uso del método de madurez por parte del MOP en sus contratos de pavimento de hormigón, con resultados satisfactorios, generando ahorro en los tiempos de puesta en marcha, y además otorgando una flexibilidad en la construcción [15].

CAPITULO 3: MARCO TEORICO

3.1 Concepto de Madurez del Hormigón

El concepto de madurez del hormigón está fundamentado, en que la resistencia del hormigón se encuentra directamente relacionada a la edad y temperatura que experimenta. El método de madurez, provee una aproximación relativamente simple para estimar la resistencia a compresión del hormigón a edad temprana in-situ, basado en el historial de temperatura del elemento hormigonado durante el tiempo de curado, para un determinado diseño de mezcla.

El supuesto en el método de madurez, asume que dos muestras de hormigón, de un mismo diseño de mezcla, que poseen la misma madurez, tendrán la misma resistencia, a pesar de que cada una puede haber sido expuesta a condiciones diferentes de curado. Lo anterior se expone en la figura 1, donde se puede observar dos muestras, en el caso de bajas temperaturas toma más tiempo que en el caso de altas temperaturas para alcanzar la madurez. En este caso $M1 = M2$ y, de acuerdo al principio que asume este método, en ese instante las dos muestras poseen la misma resistencia, aun cuando hayan sido sometidas a temperaturas de curado distintas en el tiempo.

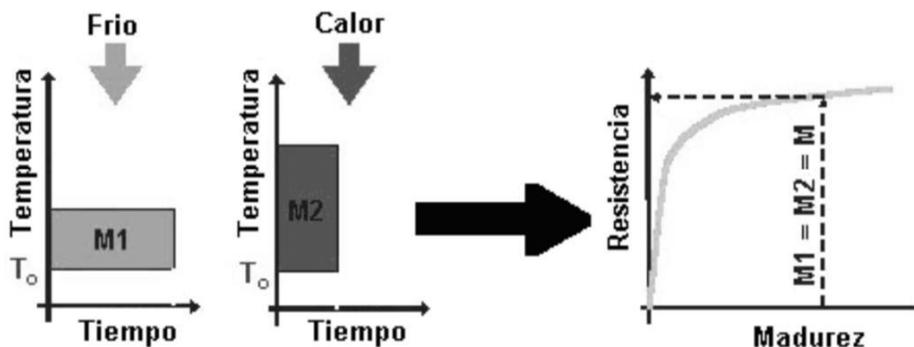


Figura 1: Concepto de Madurez. [165]

3.2 Modelos para determinar la madurez del hormigón

Desde las primeras investigaciones, realizadas a partir de la década de los 40, se han propuesto numerosas funciones de madurez. Estos estudios, partieron investigando un procedimiento que explicara los efectos combinados del tiempo y temperatura sobre el desarrollo de resistencia bajo temperaturas de curado elevadas

A continuación, se revisan algunos de los modelos propuestos para determinar la madurez del hormigón.

3.2.1 Modelo de Nurse-Saul

La función de madurez de Nurse-Saul fue desarrollada en 1951, y toma los conceptos propuestos por McIntosh, quien fue el primero en notar que el desarrollo de la resistencia a compresión del hormigón se encuentra relacionada con el tiempo de curado y su historial de temperatura, luego de realizar investigaciones sobre los efectos de curado de vapor en el desarrollo de la resistencia. Nurse y Saul proponen el siguiente modelo para calcular la madurez, que se basa en una sumatoria acumulada del producto de la temperatura y el tiempo, respecto a una temperatura datum T_0 :

$$M = \sum (T_a - T_0)\Delta t \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

M = Madurez del hormigón – Factor tiempo temperatura a la edad t ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$)

T_a = Temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo Δt ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = Temperatura Datum ($^{\circ}\text{C}$)

Δt = Intervalo de Tiempo

Este concepto de madurez, se basa en una función lineal entre la temperatura y la ganancia de resistencia, gráficamente se toma el área bajo la curva de temperatura como el índice de madurez basado en la Ecuación 1, y se puede expresar de la siguiente manera:

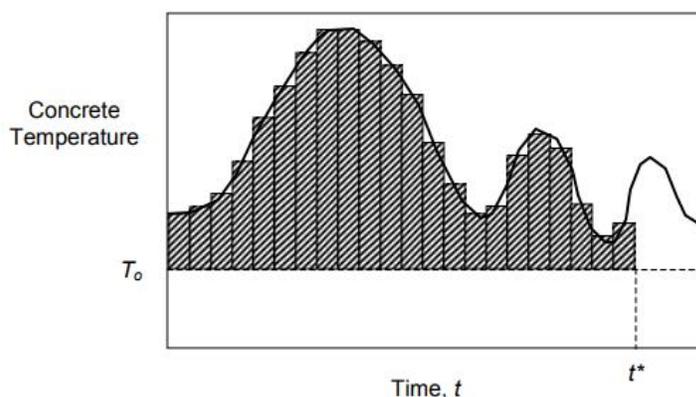


Figura 2: Modelo de Nurse-Saul. [16]

La temperatura datum T_0 corresponde a la temperatura por debajo de la cual ya no se produce desarrollo de la resistencia, o también la temperatura bajo la cual empieza el proceso de endurecimiento del hormigón.

3.2.2 Modelo de Rastrup

La ecuación 1, asume que la tasa de desarrollo de la resistencia es una función lineal de la temperatura, y se puede utilizar para relacionar un historial de curado de temperatura-tiempo dado a una edad equivalente de curado a una temperatura de referencia de la siguiente manera:

$$t_{eq} = \frac{\sum_0^t (T - T_0) \Delta t}{(T_r - T_0)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

t_{eq} : Edad equivalente (horas).

T : Temperatura promedio del hormigón en el intervalo Δt (°C).

T_0 : Temperatura datum (°C).

T_r : Temperatura de curado constante bajo la cual se espera alcanzar la misma madurez que el historial de temperatura del concreto bajo investigación (°C).

t : Tiempo del proceso de endurecimiento del hormigón (horas o días).

El concepto de edad equivalente, originalmente introducido por Rastrup en 1954, como una alternativa para representar los efectos combinados de temperatura y tiempo sobre el desarrollo de la resistencia, representa la duración del periodo de curado a una temperatura de referencia T_r que daría como resultado la misma madurez como el periodo de curado a otras temperaturas. Rastrup, utilizando este concepto y basado en un axioma de la fisicoquímica que establece que la velocidad de reacción es doble si la temperatura a la que ocurre es incrementada por 10°C [13], propuso la siguiente ecuación:

$$t_{eq} = \sum 2^{(T-T_r)/10} \Delta t \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

t_{eq} : Edad equivalente (horas).

T_r : Temperatura de referencia (°C).

3.2.3 Modelo de Arrhenius

En 1977, Freisleben Hansen y Pedersen propusieron un nuevo modelo, basado en el concepto de edad equivalente y en la ecuación de Arrhenius, la cual relaciona el efecto de la temperatura en el índice de una reacción química. Matemáticamente su expresión está dada por:

$$t_{eq} = \sum_0^t e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right)} \cdot \Delta t \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

t_{eq} : Edad equivalente (horas).

T : Temperatura promedio del hormigón en el intervalo Δt (°K).

T_r : Temperatura de referencia (°K)

e : Numero de Euler (2,718).

E_a : Energía de activación (J/mol)

R : Constante de los gases (8.314 J/mol K).

La energía de activación corresponde a la mínima energía que se requiere para empezar el proceso de endurecimiento del hormigón. Freisleben Hansen y Pedersen recomendaron usar los siguientes valores para poder determinarla:

- $T_c < 20^\circ\text{C}$: $E_a = 33500 + 1470(20 - T_c)$ (J/mol)
- $T_c \geq 20^\circ\text{C}$: $E_a = 33500$ (J/mol)

Donde T_c corresponde la a temperatura de curado del hormigón (°C) y E_a a la energía de activación (J/mol)

3.2.4 Modelo holandés madurez ponderada

En 1979, Papadakis y Bresson propusieron el método de la madurez ponderada, la cual puede ser expresada de la siguiente manera:

$$M_w = \sum_0^t t \cdot T \cdot C^n \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

M_w : Madurez ponderada (°C-hr)

t : Tiempo del proceso de endurecimiento del hormigón (horas o días).

T : Temperatura promedio del hormigón durante el intercalo de tiempo ©

C : Constante que depende del tipo de cemento

n : Parámetro dependiente de la temperatura

Como el modelo de Nurse-Saul, la madurez ponderada corresponde al área bajo la curva, la cual puede ser subdividida en franjas horizontales correspondientes a los intervalos de temperatura en el proceso de endurecimiento, pero la diferencia radica, en que este modelo toma en cuenta los factores C y n_k que corresponden a la influencia del cemento en la madurez y la influencia del tipo de cemento utilizado, respectivamente. Estos valores han sido estudiados y estandarizados por investigaciones holandesas. [17]

3.2.5 Modelo de Guo

En el año 1989, Guo Cheng propuso un modelo cuadrático para determinar la madurez del hormigón, mediante la siguiente expresión:

$$M = \sum_0^t (T + 10)(T + 20)\Delta t \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

M : Madurez propuesto por Guo.

t : Tiempo del proceso de endurecimiento del hormigón (horas o días).

T : Temperatura promedio del hormigón en el intervalo de tiempo Δt .

3.3 Estimación de la resistencia a la compresión del hormigón a partir del conocimiento de su madurez

Estudiados los diferentes modelos para poder determinar la madurez del hormigón, es necesario establecer una relación entre la resistencia del hormigón con su madurez.

Existen varias funciones que fueron propuestas para poder modelar la curva madurez versus resistencia, sin embargo, solamente 3 son típicamente usadas [16]:

i. Función exponencial

$$S = S_u e^{-(\tau/M)^a} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

S : Resistencia a compresión del hormigón (kg/cm²).

S_u : Resistencia a la compresión limite (kg/cm²).

M : Madurez o índice de madurez (°C-hr).

τ : Constante de tiempo característica (°C-hr).

a : Parámetro de forma.

ii. Función logarítmica

$$S = a + b \log(M) \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

S : Resistencia a compresión del hormigón (kg/cm²).

M : Madurez o índice de madurez (°C-hr).

a, b : Constantes dependientes del hormigón utilizado

iii. Función hiperbólica

$$S = S_u \frac{k(M - M_0)}{1 + k(M - M_0)} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

S : Resistencia a compresión del hormigón (kg/cm²).

S_u : Resistencia a la compresión limite (kg/cm²).

M : Madurez o índice de madurez (°C-hr).

M_0 : Índice de madurez cuando se asume que la resistencia empieza a desarrollarse (°C-hr)

k : Pendiente inicial de la curva madurez v/s resistencia (1/hr)

3.4 Normativa vigente para el uso del método de madurez del hormigón

La norma internacional que rige este método es ASTM C1074-19 “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”, y actualmente Chile cuenta con una norma nacional que regula la aplicación del método de madurez; NCh3565:2018 “Hormigón – Estimación de Resistencia Mecánica – Método de la Madurez”, que corresponde a una adaptación de la ASTM C1074-11.

Además, en la actualización de la norma NCh170:2016 se integró este concepto, permitiendo el uso del método de la madurez para la determinación de la resistencia en terreno del hormigón, basado en la norma ASTM C1074.

3.4.1 Consideraciones ASTM C1074

La norma ASTM C1074 considera el método de Nurse-Saul y el método de Arrhenius, descritos en 3.2.1 y 3.2.3 respectivamente, como métodos válidos para determinar la función de Madurez. La (Ecuación 1) y la (Ecuación 4) fueron incorporadas desde la primera versión de esta norma (ASTM, 1989). Recomendando valores para la Temperatura Datum T_0 y entregando procedimientos de laboratorio para determinar la Energía de Activación de un determinado cemento, de manera de aplicar adecuadamente la (Ecuación 4).

3.4.2 Consideraciones NCh3565

La actual norma chilena, NCh3565 incluyó el uso del método de Nurse-Saul, como método para determinar la función de Madurez, debido a la simpleza en su uso en comparación con el método de Arrhenius, que requiere de mediciones más complejas en laboratorio.

Otras consideraciones entregadas por esta norma, es la utilización de una Temperatura Datum T_0 recomendada igual a 0°C, y en casos muy especiales o con fines de estudio, se recomienda un valor distinto considerando la metodología de ASTM C1074.

Además, esta norma indica el modo en que se debe calcular la relación Resistencia-Madurez (Curva de calibración), para ello indica utilizar la función logarítmica (Ecuación 8). También entrega requisitos adicionales, como la exactitud de la curva de correlación ($r^2 > 0,95$), rango de edad de interés y procedimiento de verificación de la Curva de Calibración en el tiempo, según la desviación de la resistencia con respecto a los valores iniciales de calibración.

Entre sus alcances, se definen aquellos procesos donde puede utilizarse como un criterio válido de estimación de resistencia a la compresión, los cuales se enumeran a continuación:

- Aserrado de juntas
- Descimbre y desmolde
- Retiro de protecciones térmicas en tiempo frío
- Apertura a tránsito de pavimentos
- Pre y post tensado de elementos

3.5 Equipos para medición de la madurez del hormigón

Dado que la madurez depende solo del historial de temperatura durante el tiempo de curado del hormigón, los equipos para determinar estos parámetros pueden ser los básicos, simples y de fácil uso, como un termómetro y un reloj, registrando la temperatura y tiempo, para luego calcular manualmente el índice de madurez. Pero este método consume mucho tiempo y resulta inexacto

Actualmente, en el mercado existe una variabilidad de instrumentos para determinar madurez, que han evolucionado desde los sistemas manuales hasta sistemas electrónicos avanzados. Estos últimos, capaces de registrar simultáneamente la temperatura y el tiempo, almacenando todos los datos a través de una memoria interna, entregando el índice de madurez mediante el uso de un sensor de madurez, un lector y un software para la transferencia de datos desde el lector a un computador.

Los sensores utilizados, corresponden a termocuplas, las cuales son embebidas o incrustadas en el hormigón, y emplean cables (Figura 3) que se conectan al lector o dispositivo de registro de datos externa (Madurimetro). También existen los sensores inalámbricos (Figura 4), que actúan de la misma manera, excepto que tienen la capacidad de poder comunicarse con el lector de manera inalámbrica. Ambos pueden medir la madurez directamente del hormigón, en cualquier momento, ya que son capaces de almacenar estos datos por largos periodos de tiempo, gracias a que contienen baterías de larga duración con memoria interna. Estos, cumplen con los requerimientos de normas internacionales como nacionales.



Figura 3: Sensor de madurez (data logger).



Figura 4: Sensor de madurez inalámbrico.

Los lectores o madurímetros, se usan para establecer un traspaso de información con los sensores embebidos, el usuario sólo debe conectar los cables del sensor al dispositivo en el caso de cables, o conectarse por bluetooth en el caso de los sensores inalámbricos. Y utilizarlo tanto para ver y/o descargar la información de madurez y temperatura. El intervalo de tiempo será de 1 h o menos, y los datos pueden ser descargados en cualquier momento. Programados para calcular la madurez ya sea por la ecuación de Nurse-Saul o la ecuación de Arrhenius.

Algunos de estos dispositivos son:

- IntelliROCK II distribuido por Nomadics Construction Labs
- The System 4101 Concrete Maturity Meter distribuido por Humboldt Manufacture Company
- The Command Center distribuida por The Transtec Group



Figura 5: Dispositivo Intellirock, y conexión con sensor.

3.6 Procedimiento para desarrollar la curva madurez-resistencia

De acuerdo a lo establecido en la NCh3565, el modo práctico para establecer la relación Resistencia-Madurez, sigue los siguientes pasos:

- i. Para una dosificación determinada de hormigón, se confeccionan a lo menos 15 probetas cilíndricas, de acuerdo a lo establecido en NCh1017 y NCh1018.
- ii. Para obtener el registro de temperaturas del hormigón en el tiempo, se utilizarán 2 de estas probetas, ambas monitoreadas con sensores de temperatura ubicados, como mínimo, a ± 15 (mm) desde el centro de los ejemplares. Los sensores deben tener una precisión de ± 1 ($^{\circ}\text{C}$).
- iii. Curar las probetas según lo indicado en NCh1017 y NCh1018.
- iv. Realizar los ensayos de resistencia a compresión según NCh1037, a lo menos en cinco edades que incluyan el período en estudio, al día 1, 3, 7, 14 y 28. Ensayar dos probetas por cada edad y calcular el promedio. Si la diferencia entre resultados de resistencia a compresión de las dos probetas es superior a un 10% de su resistencia promedio, se debe ensayar otra probeta y calcular el promedio con las tres resistencias.
- v. Para cada edad de ensayo, se debe registrar el grado de madurez de cada probeta instrumentada. Calcular el grado de madurez a esa edad como el promedio de ambos resultados.
- vi. Graficar los valores promedio de resistencia a la compresión y el grado de madurez. Ajustar una curva por medio de análisis de regresión que represente dichos puntos y verificar su validez mediante métodos estadísticos (Ecuación 8).

3.7 Procedimiento para estimar la resistencia a la compresión del hormigón a partir de su madurez, in situ.

Para poder estimar la resistencia a la compresión del hormigón a partir del conocimiento de su madurez, se realizarán los siguientes pasos [18]:

- i. Colocar los sensores en el elemento estructural de modo que, al momento de hormigonar, quede embebido y su ubicación no se altere. En caso de no ser posible colocar el sensor previo al hormigonado, introducir éste, tan pronto como sea posible en el hormigón fresco.
- ii. Iniciar el registro de datos tan pronto como sea posible. Usar el mismo valor de Temperatura Datum considerado en la determinación de la curva Madurez-Resistencia.

- iii. Determinar el grado de madurez a través de lectura directa del instrumento (madurímetro) o calcular según la (Ecuación 2) considerando el registro de temperaturas.
- iv. Estimar la resistencia mecánica a la compresión utilizando la relación Madurez-Resistencia, determinada anteriormente.

3.8 Ventajas y limitaciones del método de madurez

3.8.1 Ventajas de usar la madurez del hormigón

- Este método puede ser usado, principalmente, para estimar la resistencia a la compresión del hormigón utilizado en obra, evaluada en tiempo real, de manera no destructiva. Lo cual permite supervisar continuamente la resistencia del hormigón mejorando el nivel de confiabilidad en la verificación del cumplimiento de especificaciones técnicas. Esto, resulta útil para tomar decisiones y dar inicio de actividades de construcción crítica.
- El número probetas para los ensayos destructivos puede disminuir, reduciendo así los costos de control de calidad y tiempo de preparación.
- La construcción expedita, puede resultar en optimización de tiempos de trabajo, agilizando la construcción y horas hombre, lo que resulta en bonificaciones al constructor.
- Se invierte menos tiempo esperando los resultados del laboratorio.

3.8.2 Limitaciones del método de madurez del hormigón

- El hormigón debe estar mantenido en condiciones que permita la hidratación del cemento.
- El método necesita ser apoyado por otros ensayos para la obtención de la resistencia del hormigón.
- El método, como cualquier otro, no toma en cuenta malas prácticas constructivas en el hormigón.
- No considera las fuentes que producen variabilidad para una determinada dosificación de hormigón, como son los materiales que lo componen, confección, temperatura al momento del hormigonado y tiempo de traslado a obra, entre otras.

Cabe resaltar que la calibración que se realiza para obtener los valores de madurez, es de uso exclusivo para elementos con el mismo diseño de mezcla de hormigón. Para cualquier variación, es necesario modificar también la calibración que se haya realizado.

3.9 Resumen de modelos a utilizar

De acuerdo a lo modelos descritos anteriormente, para la realización de este estudio se utilizará el modelo de Nurse-Saul (Ecuación 1), y la función exponencial (Ecuación 8) para estimar la resistencia a la compresión a partir del conocimiento del índice de madurez. Su aplicación y resultados se explican en detalle en el capítulo 4 y capítulo 5, respectivamente.

CAPITULO 4: METODOLOGÍAS Y EJECUCIÓN DE ENSAYOS

4.1 Metodología utilizada

Para la realización y desarrollo del presente trabajo, es necesario realizar una serie de actividades tanto previas como durante la colocación del hormigón, además de actividades posteriores y en dependencias de un laboratorio. Debido a que el estudio, así como el método de madurez, busca reflejar las condiciones reales en que se encuentran desarrollando en la obra para este tipo de trabajos, se requiere realizar las siguientes actividades:

1. Caracterización de hormigones
2. Instrumentación in-situ
3. Monitoreo de datos
4. Extracción de testigos
5. Ensayo en laboratorio

Los procedimientos habituales para las actividades 1, 2 y 3 son explicados en el capítulo 3 (subcapítulos 3.6 y 3.7), establecidos en la norma chilena NCh3564:2018. Sin embargo, las ejecuciones de estas actividades, para efecto de esta investigación, fueron realizadas durante el segundo semestre de 2017, año en que la norma antes mencionada aún se encontraba en estudio, por lo cual se utilizó la norma ASTM C1074 como referencia técnica.

4.1.1 Caracterización de hormigones

Como primer paso, es necesario establecer en laboratorio la relación resistencia-madurez de la dosificación de hormigón a utilizar en terreno, registrando la temperatura a las edades para las cuales se necesita determinar la resistencia del hormigón de manera de confeccionar una curva característica de la mezcla, que relaciona la resistencia con la madurez. Para ello, se realiza una toma de probetas cilíndricas, que se curan en condiciones estándar, a excepción de las primeras horas, en donde las probetas se curan en la obra, y posteriormente son ensayadas en laboratorio.

El procedimiento para establecer esta relación, para este estudio, se detalla a continuación:

- 1.- Tomar una muestra de 19 probetas de hormigón, según lo indicado NCh1017 y NCh1018.
- 2.- Instrumentar una de las probetas con un sensor de madurez, ubicado en el centro de la probeta, para monitorear su temperatura en el tiempo de manera inmediata.

3.- Curar las muestras según lo indicado en NCh1017 y NCh1018.

4.- Ensayar las 18 probetas restantes, para evaluar su resistencia a la compresión según NCh1037. Se ensayan dos probetas por cada edad, calculando el promedio de las resistencias obtenidas. Las edades de ensayo consideradas son: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14 y 28 días.

5.- Para cada edad de ensayo, se debe registrar el índice de madurez de cada probeta instrumentada.

6.- Graficar los valores promedio de resistencia a la compresión y el índice de madurez. Se debe ajustar una curva por medio de análisis de regresión que represente dichos puntos y verificar su validez mediante métodos estadísticos.

4.1.2 Instrumentación in-situ

Luego de obtener la curva de caracterización de la mezcla de hormigón a utilizar, es posible realizar las instrumentaciones in-situ en distintos sectores de interés, con sensores que son embebidos en el hormigón, capaces de monitorear y registrar la temperatura de éste.

Y una vez que los sensores son introducidos en el hormigón fresco tan pronto como éste fue colocado, se conectan a los instrumentos de medición de la madurez, y se activan los dispositivos de registro de temperatura. Se utiliza el mismo valor de temperatura de referencia o datum, que se usó para el cálculo del índice de madurez durante el desarrollo de la relación resistencia-índice de madurez, descrita anteriormente.

4.1.3 Monitoreo de datos

Cuando se desee estimar la resistencia en los sectores de colocación de los sensores, se debe leer el valor del índice de madurez indicado en el instrumento de medición, y utilizando la relación resistencia-madurez encontrada, es posible conocer el valor de la resistencia a la compresión correspondiente al índice de madurez medido. Y así, es posible monitorear en tiempo real la resistencia del hormigón a través de la correlación explicada anteriormente.

4.1.4 Extracción de testigos

Con el objetivo de analizar la resistencia obtenida a través del método de madurez, se realiza una comparación respecto a la resistencia obtenida por el ensayo de testigos.

La extracción de testigos se realiza mediante una broca diamantada de 4 pulgadas, que es lubricada con agua para generar la perforación y extracción de las muestras desde los sectores instrumentados. Para esto, el equipo se ancla al pavimento de

hormigón y se procede a realizar la extracción. Una vez obtenida la muestra, esta es llevada a laboratorio para ser cortada (de acuerdo a lo dispuesto en norma chilena NCh1171/1:2012 Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo). Para posteriormente proceder a preparar la superficie mediante el rectificado de esta, lo que genera una superficie lisa en las caras del testigo además de dejarlas paralelas y así no generar esfuerzos no deseados al momento de ensayar la muestra.

4.1.5 Ensayo en laboratorio

Previo a realizar el ensayo, se registra el peso y las dimensiones de cada testigo (diámetro y altura). El ensayo se realiza mediante una prensa de compresión, obteniéndose la carga máxima y la resistencia nominal. Luego, en base a las dimensiones del testigo se calcula la resistencia real a compresión, estos resultados son corregidos para ser expresados en probeta cilíndrica de 15x30 cm, de acuerdo a lo dispuesto en norma chilena NCh1171/1:2012 Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo

4.2. Ejecución de ensayos

4.2.1 Generalidades

Se explicarán las consideraciones utilizadas en la aplicación del método de madurez para la ejecución de los ensayos en un proyecto de pavimento urbano ubicado en la ciudad de Santiago, correspondiente a la pavimentación del Corredor Vicuña Mackenna, de acuerdo a la metodología anteriormente detallada. Además, se presentarán los datos y resultados obtenidos para la caracterización de la curva Madurez-Resistencia obtenida.

4.2.2 Contratistas

Para el estudio se acordó trabajar con dos contratistas independientes que tuvieran además un suministro de hormigón de proveedores y plantas de premezclado diferentes, de modo que se pudiera verificar si los resultados que cada contratista obtuviera eran consistentes en el tiempo respecto de quien les suministraba el hormigón.

El primer contratista corresponde a Icafal Ingeniería y Construcción S.A., con su proveedor de hormigón Ready Mix S.A., mientras que el segundo contratista corresponde a la empresa Ingeniería Y Servicios Con Pax S.A, con su proveedor de hormigón Hormigones Bicentenario S.A., a los cuales llamaremos de aquí en adelante Contratista 1 y Contratista 2 respectivamente.

4.2.3 Tipo de hormigón

Para el caso de pavimentos, los hormigones se clasifican principalmente por su resistencia a la flexión, ya que estos se encuentran sometidos al tránsito vehicular,

y someten al pavimento a estas solicitaciones. Se encuentran diseñados para tal efecto y en general la resistencia de estos se encuentra sobreestimada, se habla de hormigones potenciados, principalmente por dos razones: al ser pavimentos SERVIU son inspeccionados por una tercera parte y se debe garantizar que llegue a la resistencia operacional; por otro lado, son ensayados a través testigos, y todo lo que involucra extracción, preparación y ensayo tiene asociado un error, el cual se busca disminuir al potenciarlos. Además se debe considerar variables del tipo transporte desde la planta a la obra, que pueden afectar en la variabilidad del resultado.

El hormigón utilizado por cada contratista, con su respectiva nomenclatura, es:

- Contratista 1: HF50(80)40-06RMED
- Contratista 2: HF0.50(90)40+06CVM

La resistencia de diseño para los hormigones de cada contratista se encuentra dada por su resistencia a flexión HF5,0; es decir resistencia especificada f_t 5 MPa.

Para determinar la Resistencia a la Compresión cúbica normal (20x20 cm) a los 28 días de edad, se tomó la resistencia a la flexotracción del proyecto multiplicado por el factor de conversión SERVIU 7,8 [19]. Por lo que, la resistencia especificada es de 39 MPa para probeta cúbica normal, o de 34 MPa para probetas cilíndricas normales de 15x30 cm. De acuerdo a las consideraciones y metodología de trabajo para este estudio, es esta última la resistencia especificada del proyecto.

Como referencia, en el año 2019 se publicó una investigación que relaciona la resistencia a la compresión cilíndrica con la resistencia a la flexo-tracción, específicamente para hormigones de la región metropolitana, permitiendo especificar un hormigón para pavimentos directamente por compresión cilíndrica sin tener que utilizar un factor de correlación. De acuerdo a los resultados de dicha investigación, para el caso de este estudio, la resistencia equivalente a compresión cilíndrica para una resistencia a flexo-tracción de 5,0 MPa corresponde a G35, es decir 35 MPa. [20]. Adicionalmente, como se mencionó en 2.1.2, debido a las modificaciones de la normativa vigente, se ha establecido que la resistencia del hormigón para pavimentos como el utilizado en este estudio es G35. [10]

4.2.4 Modelo utilizado

4.2.4.1 Resistencia a compresión

De acuerdo a lo descrito en 3.4, las ecuaciones que se son consideradas en la norma ASTM C1074 – A.1, son las ecuaciones de Nurse-Saul, descrita en 3.2.1 y de Arrhenius descrita en 3.2.3.

Aun cuando la ecuación de Arrhenius es una mejor representación de la función temperatura-tiempo, sobre todo cuando se esperan grandes variaciones en la temperatura del hormigón y por ende, más precisa; la ecuación de Nurse-Saul ha

sido ampliamente utilizada, principalmente debido a su simplicidad con resultados favorables [17]. Como se mencionó anteriormente, la norma chilena NCh3565:2018, sólo considera la ecuación de Nurse-Saul para obtener el índice de madurez. Y es esta última, la que se utilizó en el estudio de este trabajo.

4.2.4.2 Temperatura datum o de referencia

La temperatura de datum o de referencia representa la temperatura a la cual el hormigón comienza a ganar resistencia y, es específica para cada diseño de mezcla. La norma ASTM C1074 – A.1 proporciona un procedimiento estándar para encontrar la temperatura de referencia.

Una estimación práctica de la temperatura de referencia, sugerida por estudios previos, está entre 0 °C y -10 °C. En Chile el valor para el datum de temperatura recomendado es 0° para las regiones con temperaturas cálidas la mayoría del año y de -10° para regiones del extremo sur.

Para la realización de las curvas de caracterización y las posteriores instrumentaciones in-situ de este estudio, se utilizó una Temperatura Datum, igual a 0°C, la cual también es la temperatura recomendada en la norma NCh3565.

4.2.4.3 Caracterización de hormigones

Para cada uno de los contratistas del proyecto, en conjunto con su respectivo proveedor de hormigón, se tomó una muestra de 19 probetas que fueron ensayadas e instrumentadas conforme a lo descrito en el punto 4.1.1.

A continuación, se muestran el resumen de los resultados de la resistencia en probeta cilíndrica obtenidos para cada contratista. Además se presentan las conversiones correspondientes para resistencia en probeta cúbica de 20 cm, y resistencia a la flexo-tracción, de manera ilustrativa de acuerdo al factor correspondiente.

Contratista 1:

Tabla 1: Resultados caracterización Contratista 1.

| Edad | | Madurez (°C x h) | Resistencia | Resistencia | Resistencia |
|------|-----------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Días | Horas (h) | | Promedio Cil (MPa) | Promedio Cub (MPa) | Promedio FT (MPa) |
| 1 | 24 | 315 | 8,8 | 11,0 | 1,4 |
| 2 | 48 | 790 | 24,8 | 29,8 | 3,8 |
| 3 | 72 | 1252 | 28,4 | 33,4 | 4,3 |
| 4 | 96 | 1684 | 32,0 | 37,0 | 4,7 |
| 5 | 120 | 2109 | 34,8 | 39,8 | 5,1 |
| 6 | 144 | 2517 | 35,5 | 40,5 | 5,2 |
| 7 | 168 | 2925 | 38,2 | 43,2 | 5,5 |
| 14 | 336 | 5787 | 40,9 | 45,9 | 5,9 |
| 28 | 672 | 11499 | 47,0 | 52,0 | 6,7 |

Contratista 2:

Tabla 2: Resultados caracterización Contratista 2.

| Edad | | Madurez (°C x h) | Resistencia | Resistencia | Resistencia |
|------|-----------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Días | Horas (h) | | Promedio Cil (MPa) | Promedio Cub (MPa) | Promedio FT (MPa) |
| 1 | 24 | 336 | 11,6 | 14,5 | 1,9 |
| 2 | 48 | 754 | 24,5 | 29,5 | 3,8 |
| 3 | 72 | 1194 | 29,6 | 34,6 | 4,4 |
| 4 | 96 | 1624 | 34,1 | 39,1 | 5,0 |
| 5 | 120 | 2083 | 39,4 | 44,4 | 5,7 |
| 6 | 144 | 2539 | 42,2 | 47,2 | 6,0 |
| 7 | 168 | 2995 | 44,2 | 49,2 | 6,3 |
| 14 | 336 | 5901 | 46,8 | 51,8 | 6,6 |
| 28 | 672 | 11613 | 47,4 | 52,4 | 6,7 |

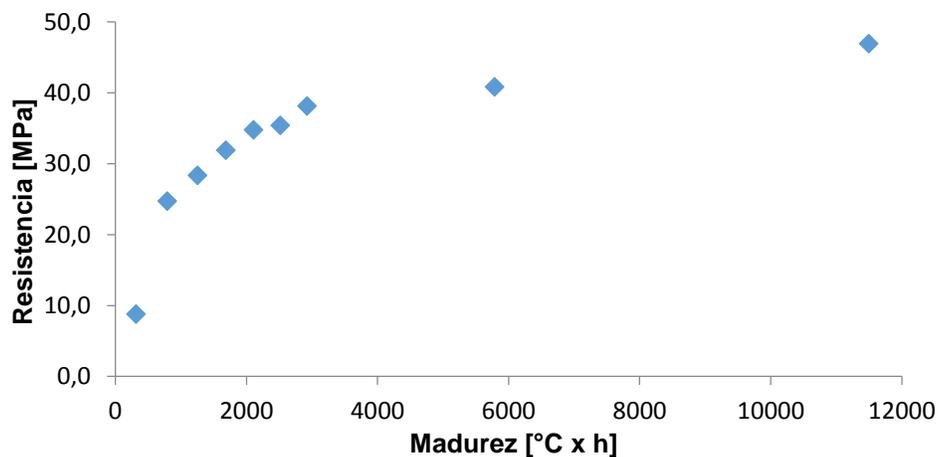
4.2.4.4 Estimación curva madurez-resistencia

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos a compresión y madurez, es posible trazar un gráfico entre la resistencia promedio en probeta cilíndrica y la madurez obtenida, y de esta manera conocer la relación madurez-resistencia.

Esta relación, es establecida mediante un análisis de regresión, como fue señalado en el punto 3.3. Al observar los gráficos 1 y 2, correspondientes al contratista 1 y contratista 2 respectivamente, es posible notar que el diagrama de dispersión muestra una clara tendencia logarítmica, por lo cual se utilizará una regresión no lineal de función logarítmica para determinar la ecuación del índice de madurez que se ajuste a los datos.

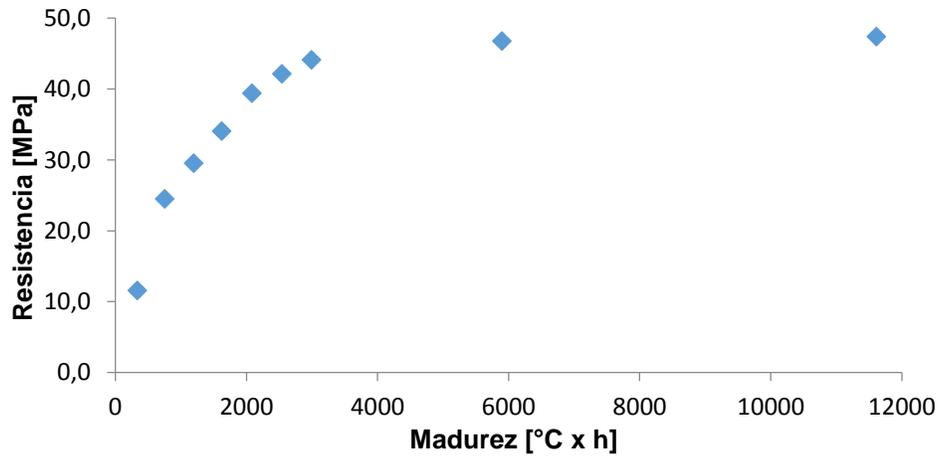
Contratista 1:

Gráfico 1: Dispersión de datos madurez-resistencia Contratista 1



Contratista 2:

Gráfico 2: Dispersión de datos madurez-resistencia Contratista 2



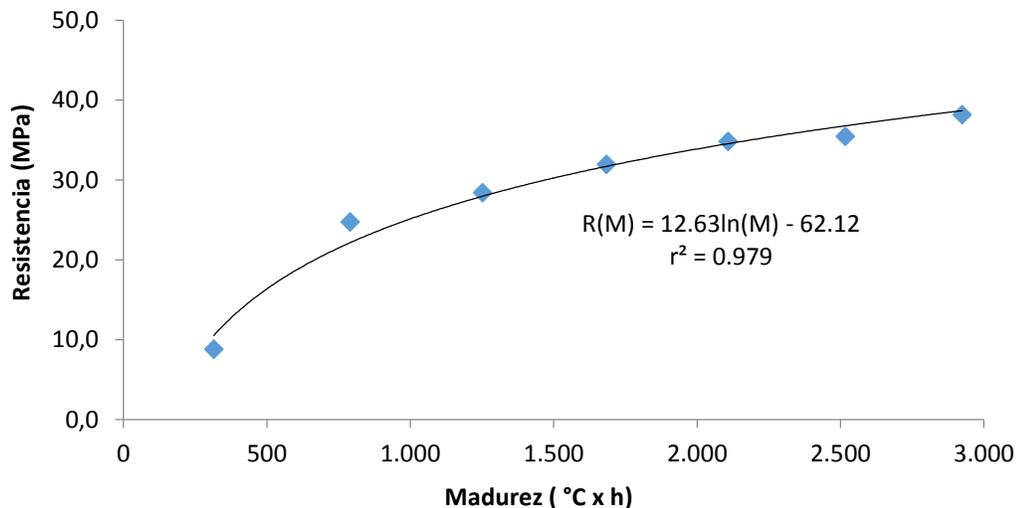
4.2.4.5 Curva Característica

Finalmente, mediante un análisis de los datos, la curva de caracterización se realizó con los resultados obtenidos hasta los 7 días, dado que durante este periodo de tiempo el hormigón presenta una gran generación de resistencia, incluso superando la resistencia de diseño para cada contratista, lo que permite trazar una mejor curva de tendencia.

A continuación, se muestra los gráficos con las curvas de madurez-resistencia obtenidas para cada contratista y su proveedor de hormigón correspondiente. Además se establece la ecuación característica para cada caso.

a. Contratista 1:

Gráfico 3: Curva de Madurez versus Resistencia para Contratista 1



Así se tiene que la ecuación con la que se estimará la resistencia a la compresión:

$$R(M) = 12,63 \ln M - 62,12 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Siendo:

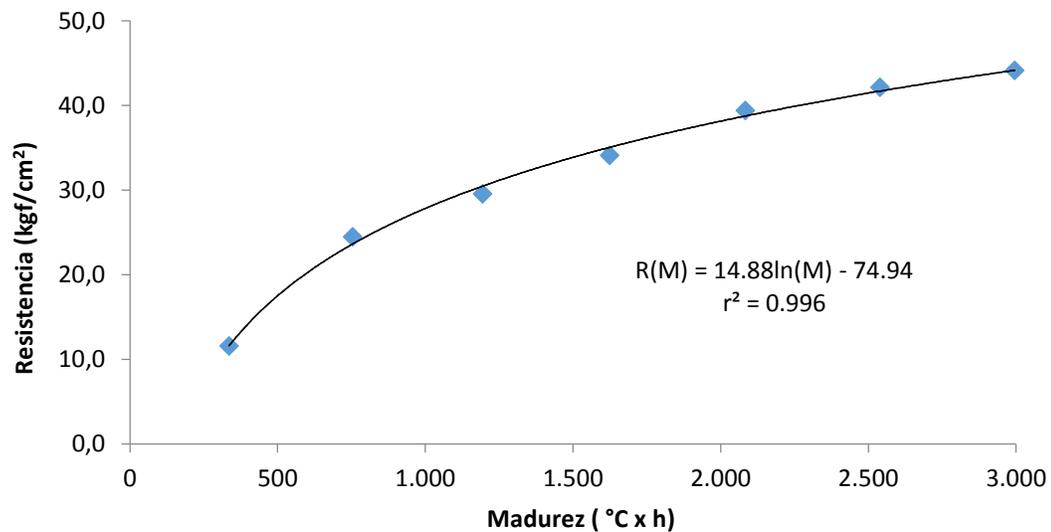
R : Resistencia a la compresión

M : Índice de Madurez

Y su factor de correlación r^2 igual a 0.979.

b. Contratista 2

Gráfico 4: Curva de Madurez versus Resistencia para Contratista 2



En este caso, la ecuación con la que se estimará la resistencia a la compresión es:

$$R(M) = 14,88 \ln M - 74,94 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Siendo:

R : Resistencia a la compresión

M : Índice de Madurez

Y su factor de correlación r^2 igual a 0.996.

4.2.5 Instrumentación in-situ

Se realizaron una serie de instrumentaciones a lo largo del Corredor Vicuña Mackenna; en el caso del contratista 1 se instrumentaron 5 sectores de interés, mientras que con el contratista 2 se instrumentaron 6 sectores de interés. Luego de instrumentarlos, se fueron visitando constantemente para recolectar los datos de cada sensor embebido.

En las figuras que se muestran a continuación, se señalan los lugares que fueron instrumentados para cada contratista, destacándose en círculo rojo el punto donde quedan los cables terminales del sensor que son utilizados para poder recolectar datos. Los sensores no pueden ser visualizados directamente dado que quedan embebidos en el hormigón, pero se encuentran ubicados aproximadamente 0,5 m de lejanía de los terminales hacia el interior del paño hormigonado.

4.2.5.1 Instrumentaciones Contratista 1

- Instrumentación I01: Sector Av. Vicuña Mackenna 1687



Figura 6: Posición terminales Sensor Instrumentación I01

- Instrumentación I02: Sector Av. Vicuña Mackenna Oriente con calle Prado



Figura 7: Posición terminales Sensor Instrumentación I02

- Instrumentación I03: Sector Av. Vicuña Mackenna Poniente con calle Prado



Figura 8: Posición terminales Sensor Instrumentación I03

- Instrumentación I04: Sector Av. Vicuña Mackenna Oriente con calle Rodrigo de Araya



Figura 9: Posición terminales Sensor Instrumentación I04

- Instrumentación I05: Sector Av. Vicuña Mackenna Poniente con calle Zañartu



Figura 10: Posición terminales Sensor Instrumentación I05

4.2.5.2 Instrumentaciones Contratista 2

- Instrumentación C01: Sector Av. Vicuña Mackenna con calle El Pinar



Figura 11: Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C01

- Instrumentación C02: Sector Av. Vicuña Mackenna Poniente salida metro frente a sede Universidad Santo Tomas



Figura 12: Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C02

- Instrumentación C03: Sector calle El Pinar con Av. Vicuña Mackenna, salida metro hacia el Oriente.



Figura 13: Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C03

- Instrumentación C04: Sector Av. Departamental con Av. Vicuña Mackenna



Figura 14: Posición terminales Sensor Instrumentación C04

- Instrumentación C05: Sector Av. Departamental detrás de bencinera



Figura 15: Posición terminales Sensor Instrumentación C05

- Instrumentación C06: Sector Av. Departamental con calle Sandino



Figura 16: Colocación y Posición terminales Sensor Instrumentación C06

4.2.6 Extracción de testigos

Para cada contratista, se extrajeron 2 testigos en cada sector instrumentado, a distintas edades por cada sector desde que comenzó el monitoreo de datos, de manera de analizar las diferencias que se obtienen entre el método de madurez y la evaluación directa a través de testigos. Dado esto, metodología que se siguió no considero los plazos indicados en la norma NCh1171-1, pues los testigos fueron extraídos en los plazos en que se llegaba a cierta madurez.



Figura 17: Extracción de testigos sensor instrumentación C01

4.2.7 Ensayo de testigos

Los ensayos de compresión de testigos, así como la preparación de estos, se realizaron de acuerdo a lo expresado en el punto 4.1.5 y 4.1.4 respectivamente, en las dependencias del Laboratorio de Hormigones del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales IDIEM dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, exceptuando por la fecha de ensayo de estos, los cuales se realizaron durante el mismo día de extracción, fuera de los plazos recomendados por norma NCh1171-1:2012 (ensayos 5 a 7 días después de la extracción).

4.2.8 Cronograma de instrumentaciones y ensayos

Tanto las instrumentaciones como las extracciones y ensayos de testigos, fueron realizados en distintos días, para tener una comparación más real de cada caso. A continuación, se presenta el cronograma de instrumentaciones y ensayos de testigos para cada contratista.

Contratista 1:

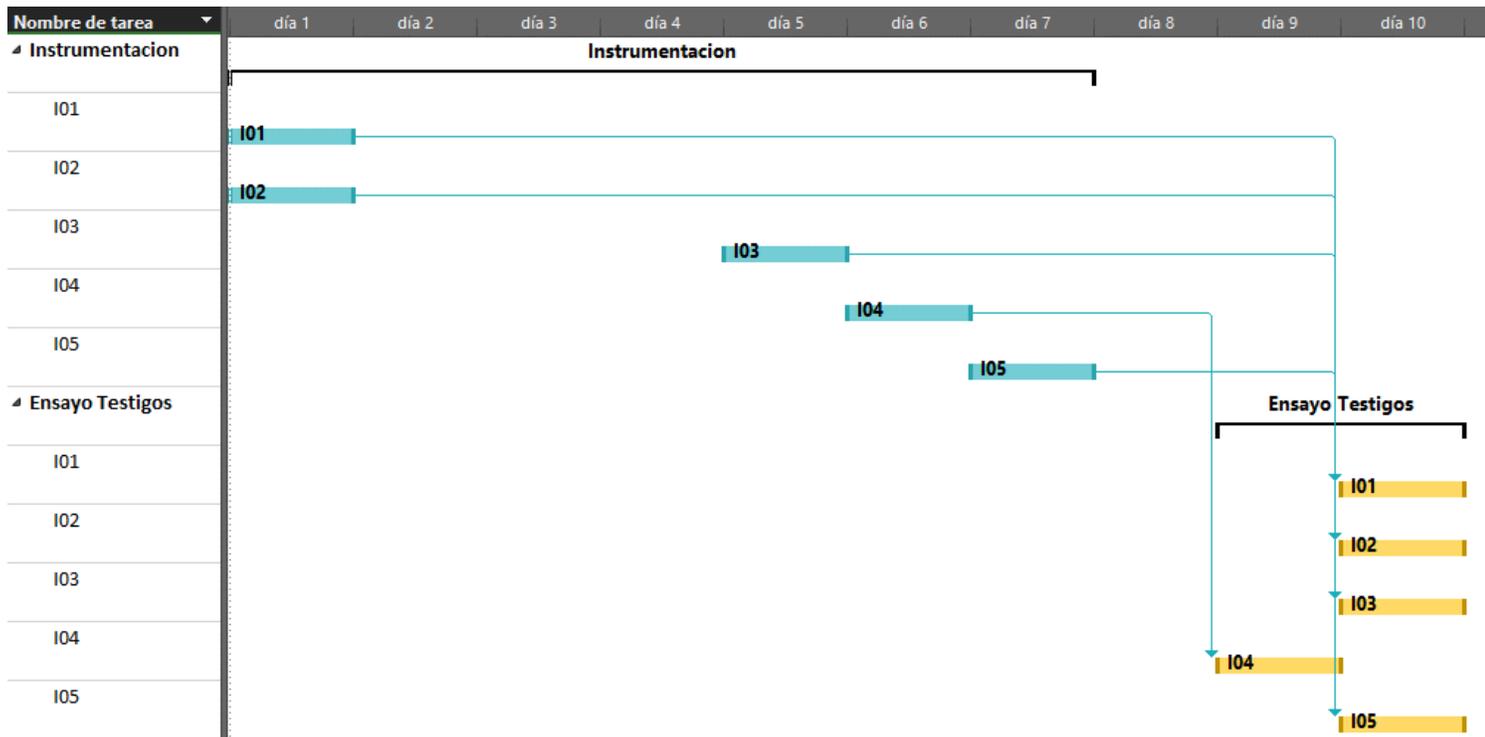


Figura 18: Cronograma de instrumentaciones y ensayos Contratista 1

Contratista 2:

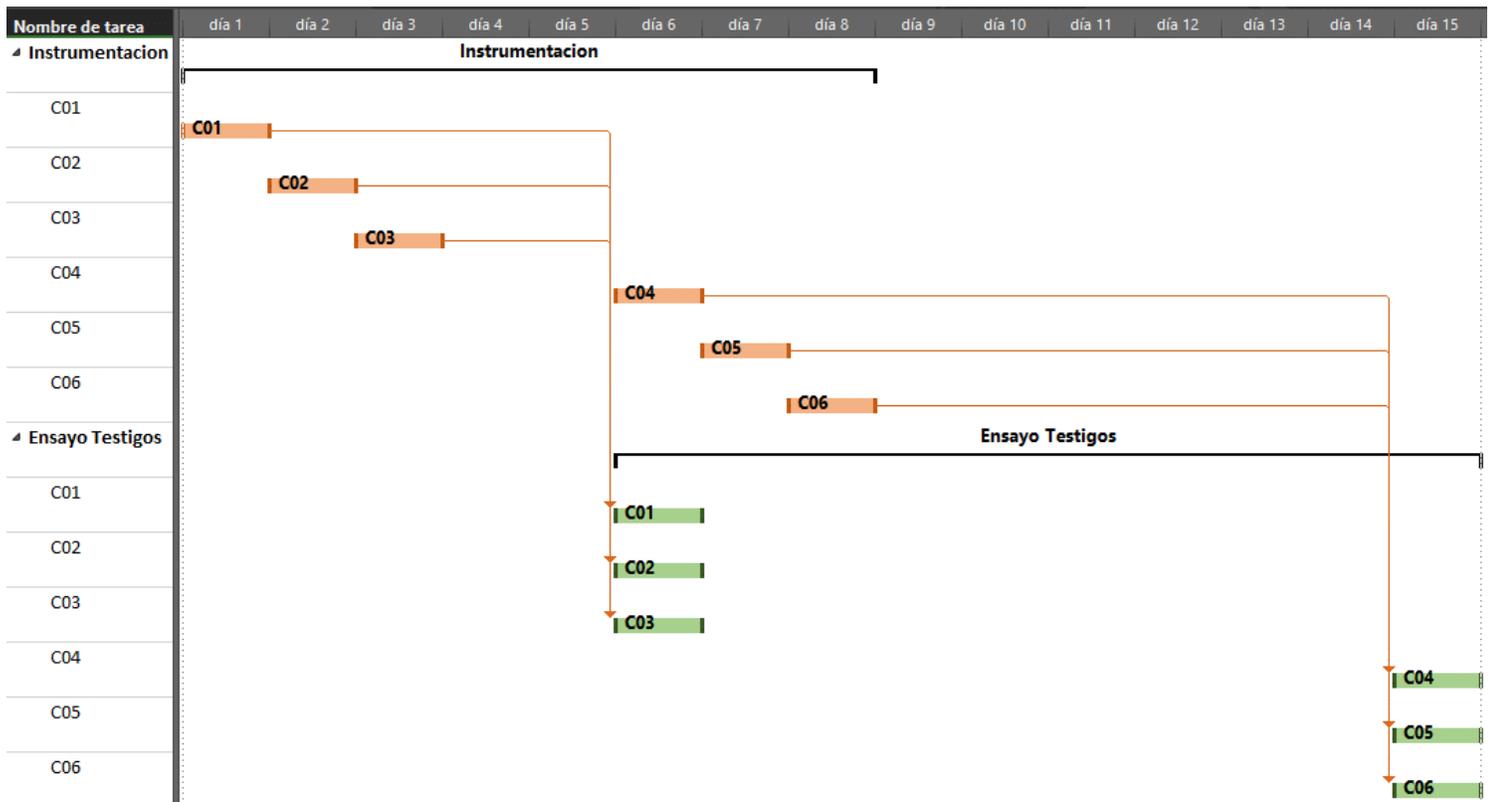


Figura 19: Cronograma de instrumentaciones y ensayos Contratista 2

CAPITULO 5: RESULTADOS

5.1 Instrumentaciones

Acorde a los monitoreos realizados, se obtienen los datos de temperatura en función del tiempo para cada sector instrumentado. Además del registro de madurez correspondiente.

A continuación, se presentan los gráficos de los resultados obtenidos para cada contratista. Primero se muestra el perfil de temperatura para cada sector instrumentado, y posteriormente se presenta la madurez obtenida.

Las tablas de los datos para la realización de estos gráficos se encuentran en el punto 2.1 y 2.2 de Anexo 2.

5.1.1 Perfil de temperaturas

Tanto para el contratista 1 como para el contratista 2, se observa que los perfiles de temperaturas oscilan de la misma manera; en la primera etapa de la curva, la temperatura se incrementa por efecto de la hidratación del cemento, debido a la reacción exotérmica producida por la adición de agua alcanzando en ese momento el máximo valor de temperatura. Luego de que este proceso ocurre, el hormigón presenta variaciones de temperatura, en gran medida por la temperatura ambiental entre otros factores. Las temperaturas máximas graficadas fluctúan entre los 24 °C y los 33 °C.

Importante destacar, que las mediciones se realizaron a mediados del periodo invernal, durante el mes de agosto, con valores de temperaturas mínimas variando entre 1 °C a 9 °C, y temperaturas máximas desde 8 °C a 21 °C en el tiempo que se registraron los valores con los sensores.

5.1.1.1 Contratista 1: Como se señaló anteriormente, para este contratista se instrumentaron 5 sectores.

Gráfico 5: Perfil de Temperaturas Instrumentación 01 Contratista 1

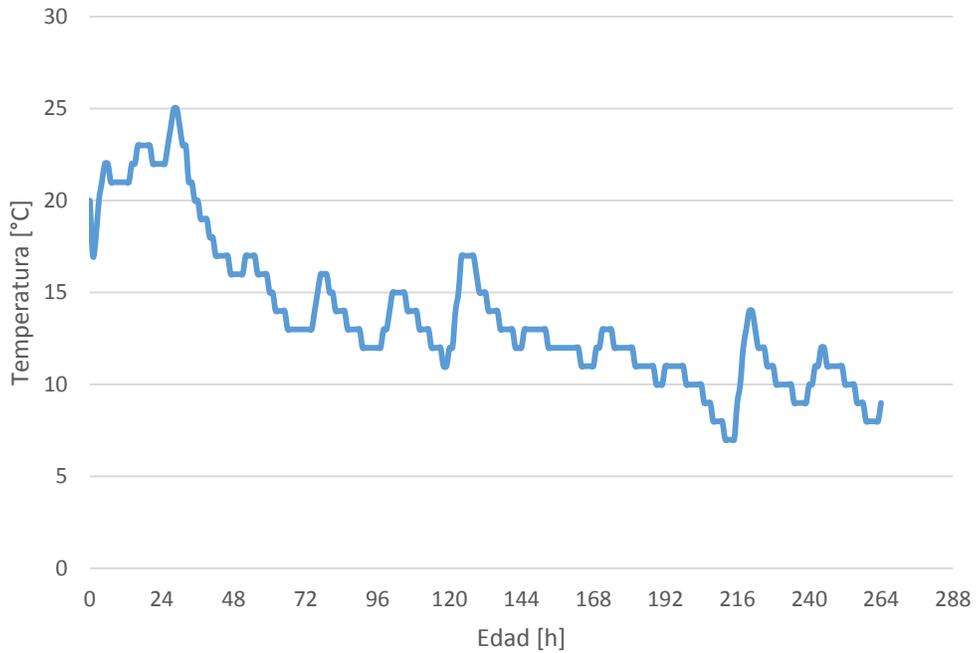


Gráfico 6: Perfil de Temperaturas Instrumentación 02 Contratista 1

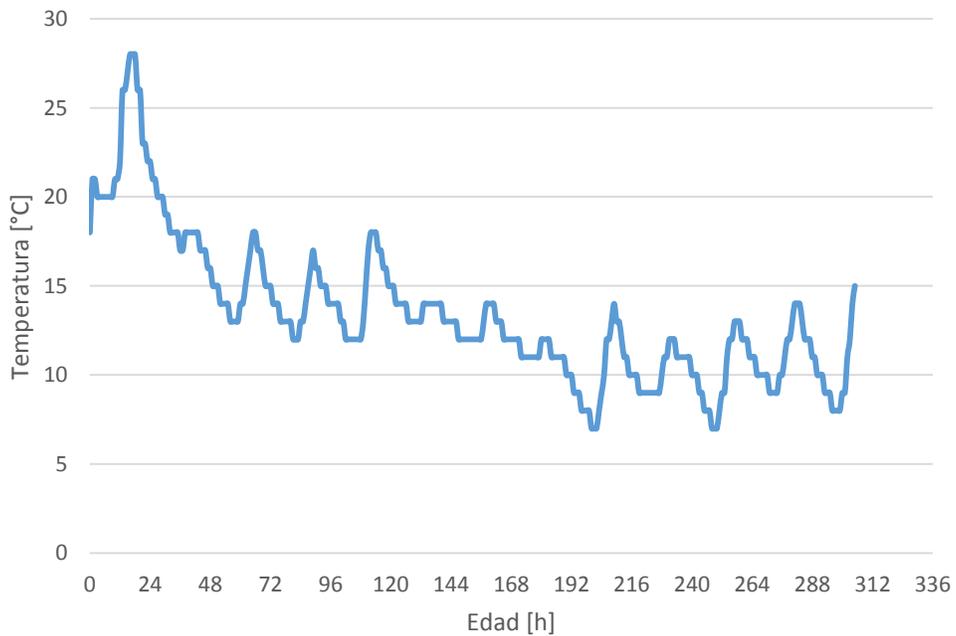


Gráfico 7: Perfil de Temperaturas Instrumentación 03 Contratista 1

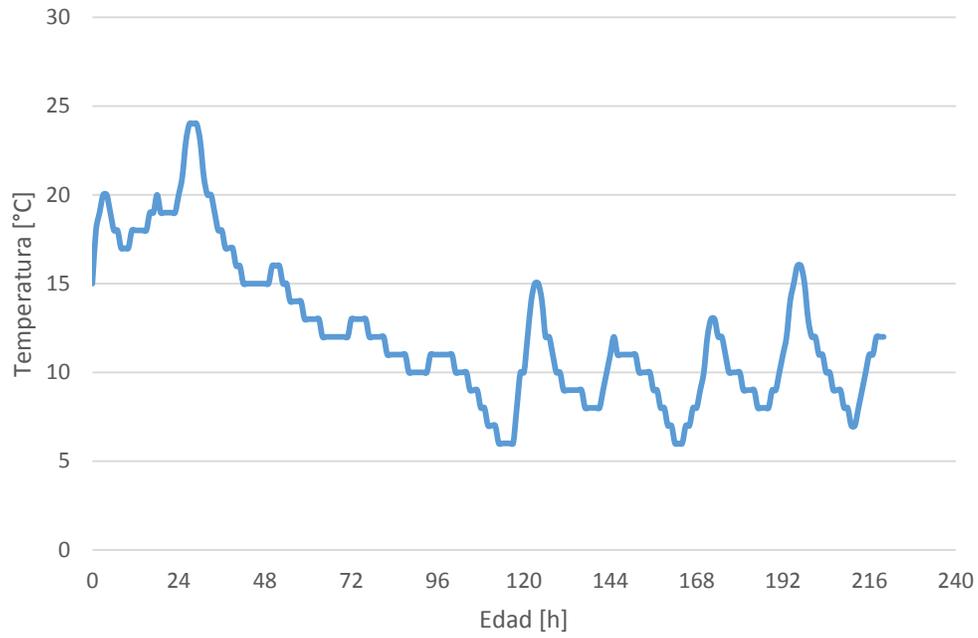


Gráfico 8: Perfil de Temperaturas Instrumentación 04 Contratista 1

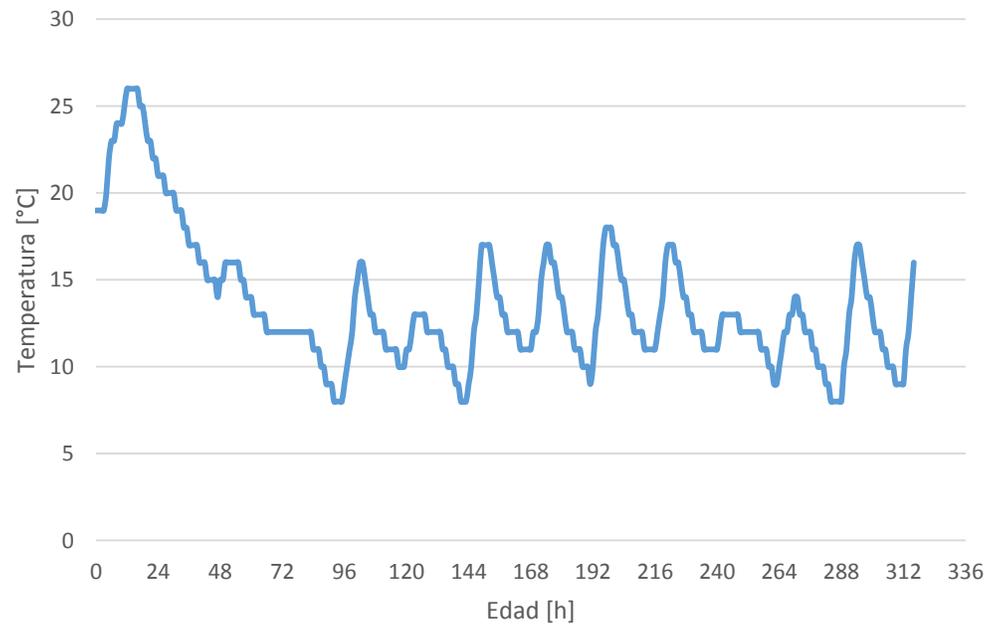
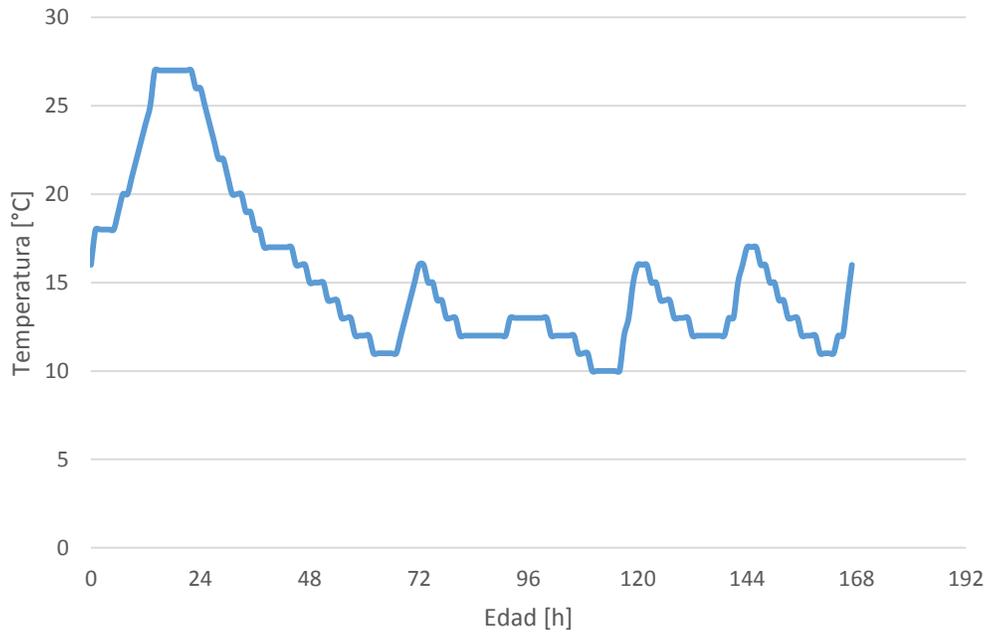


Gráfico 9: Perfil de Temperaturas Instrumentación 05 Contratista 1



5.1.1.2 Contratista 2: En este caso, se instrumentaron 6 sectores.

Gráfico 10: Perfil de Temperaturas Instrumentación 01 Contratista 2

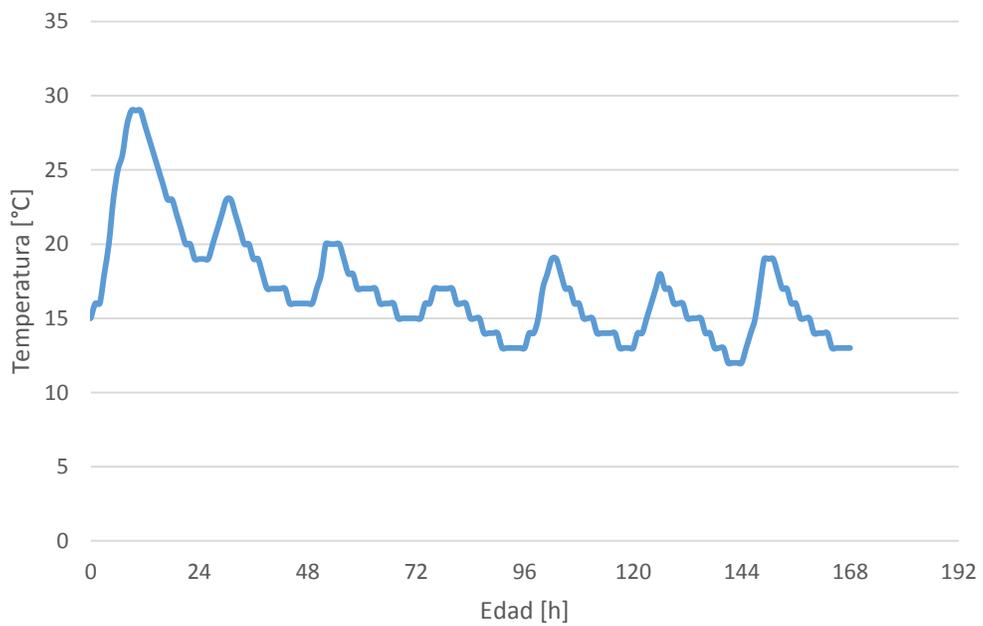


Gráfico 11: Perfil de Temperaturas Instrumentación 02 Contratista 2

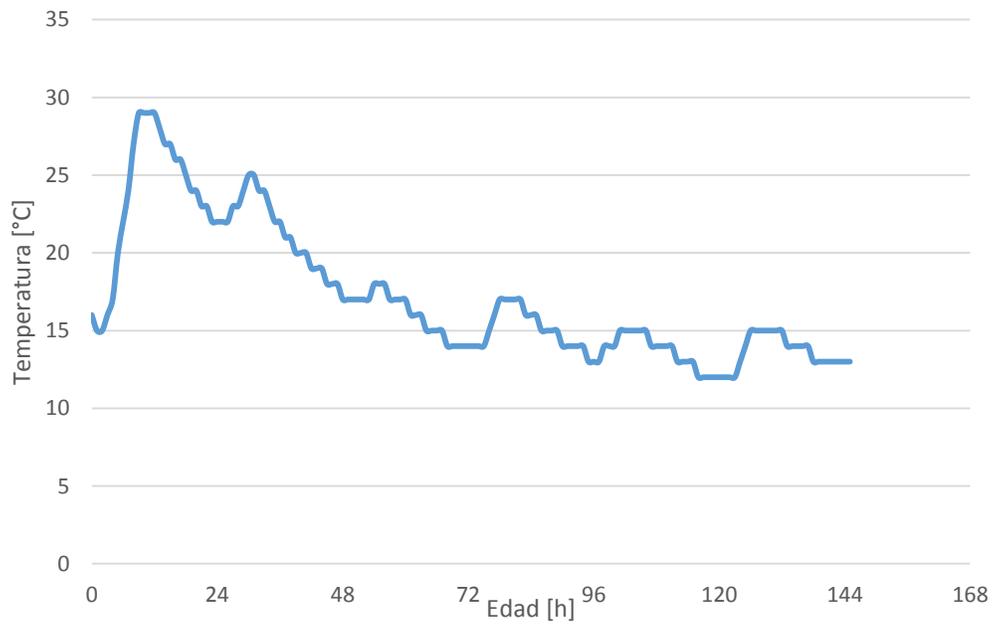


Gráfico 12: Perfil de Temperaturas Instrumentación 03 Contratista 2

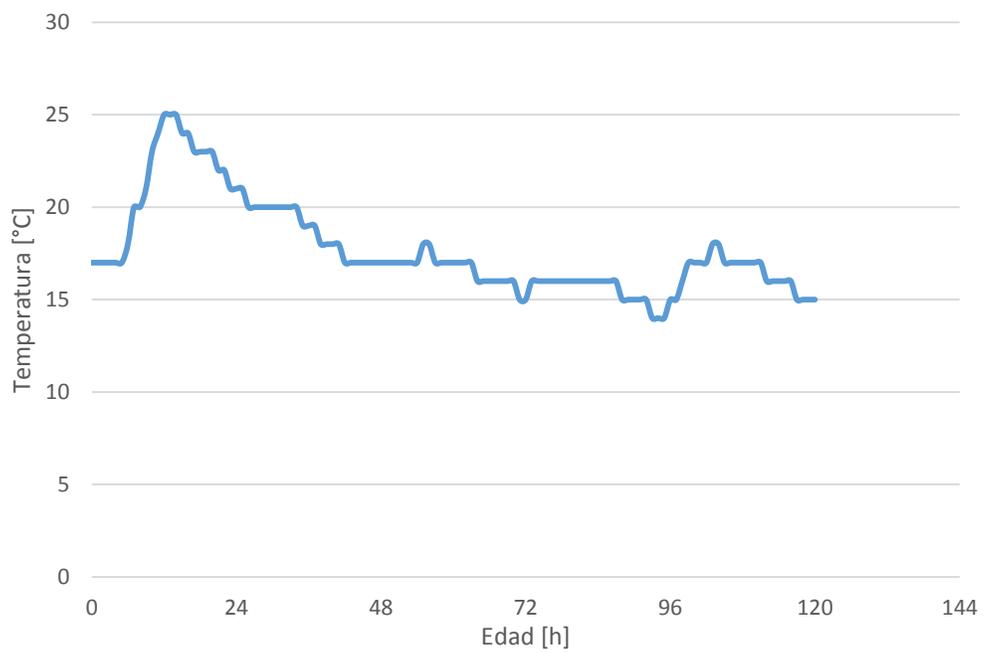


Gráfico 13: Perfil de Temperaturas Instrumentación 04 Contratista 2

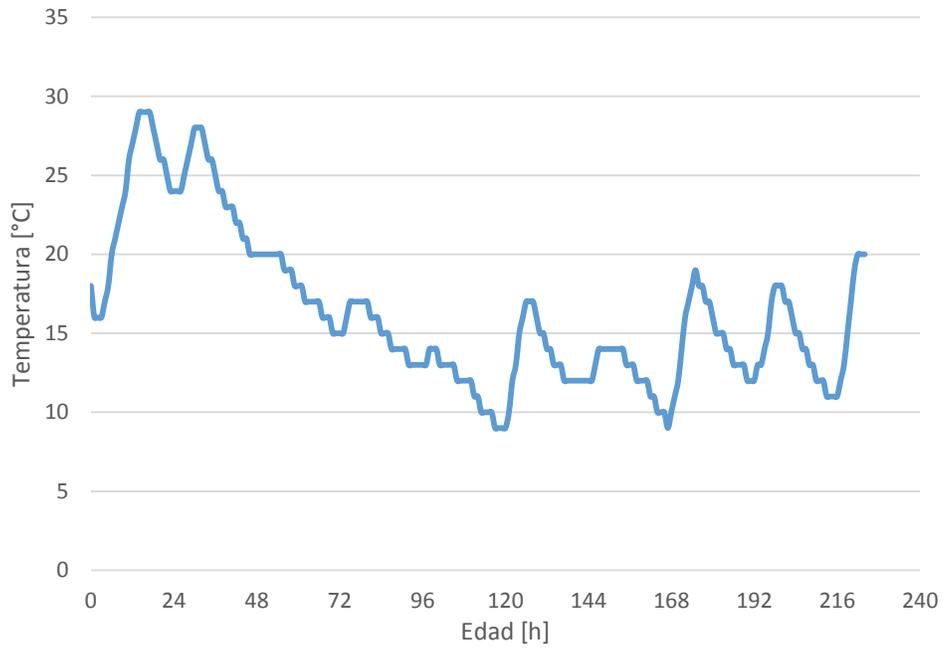


Gráfico 14: Perfil de Temperaturas Instrumentación 05 Contratista 2

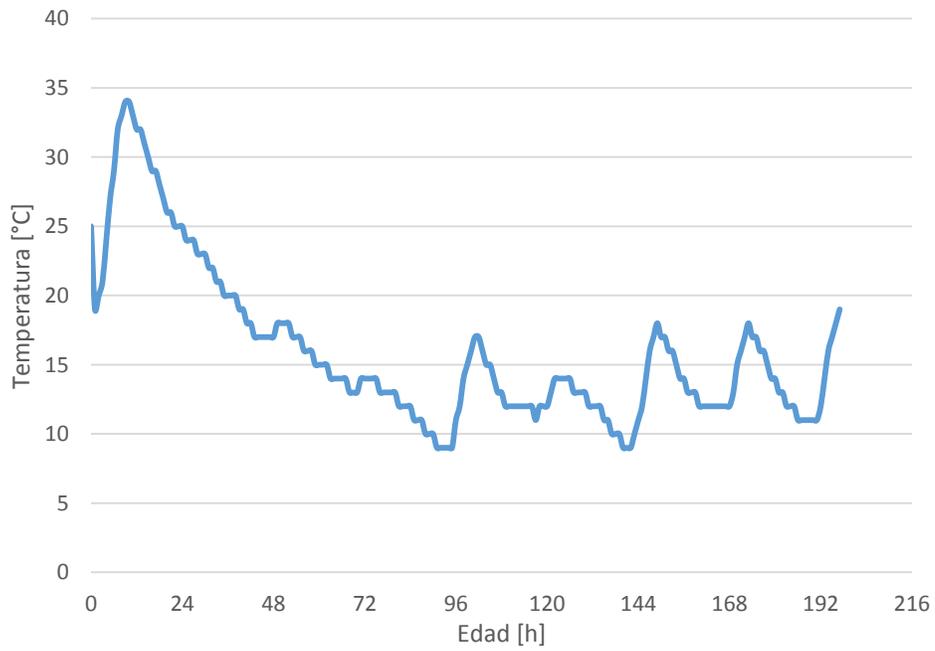
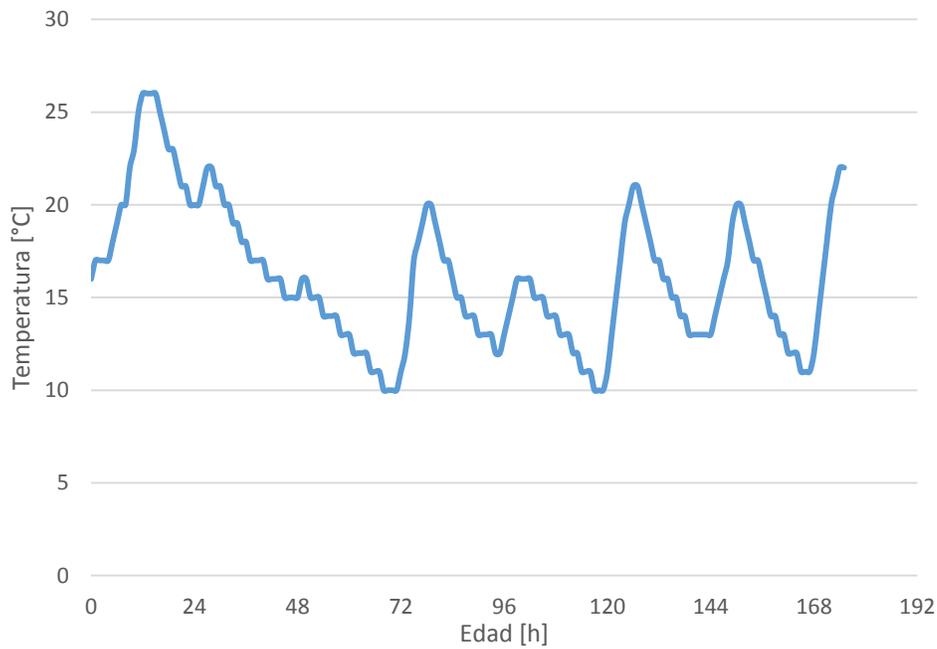


Gráfico 15: Perfil de Temperaturas Instrumentación 06 Contratista 2



5.1.2 Seguimiento Madurez

De acuerdo a los registros obtenidos, con las lecturas para ambos contratistas es posible calcular el índice de madurez para cada uno de acuerdo a la (Ecuación 1) o simplemente utilizar los resultados entregados por el madurimetro.

5.1.2.1 Contratista 1

Gráfico 16: Seguimiento Madurez Instrumentación 01 Contratista 1

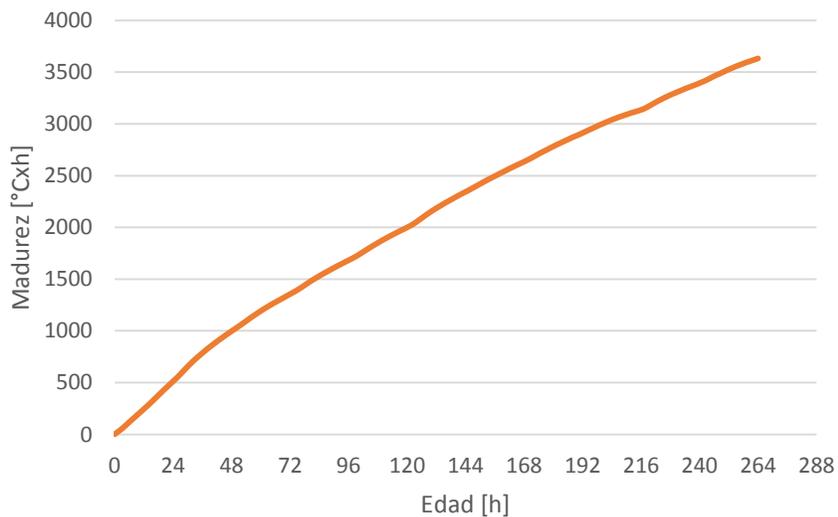


Gráfico 17: Seguimiento Madurez Instrumentación 02 Contratista 1

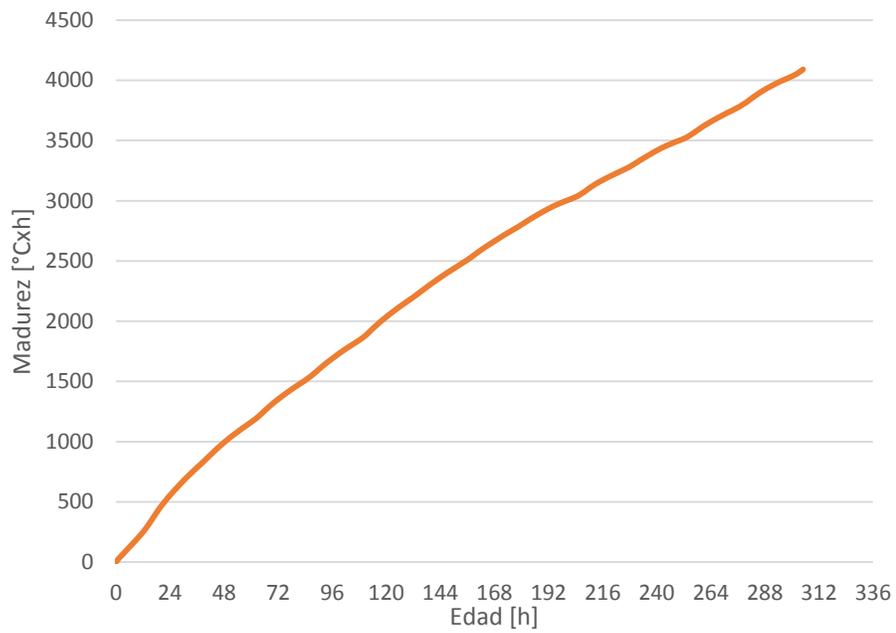


Gráfico 18: Seguimiento Madurez Instrumentación 03 Contratista 1

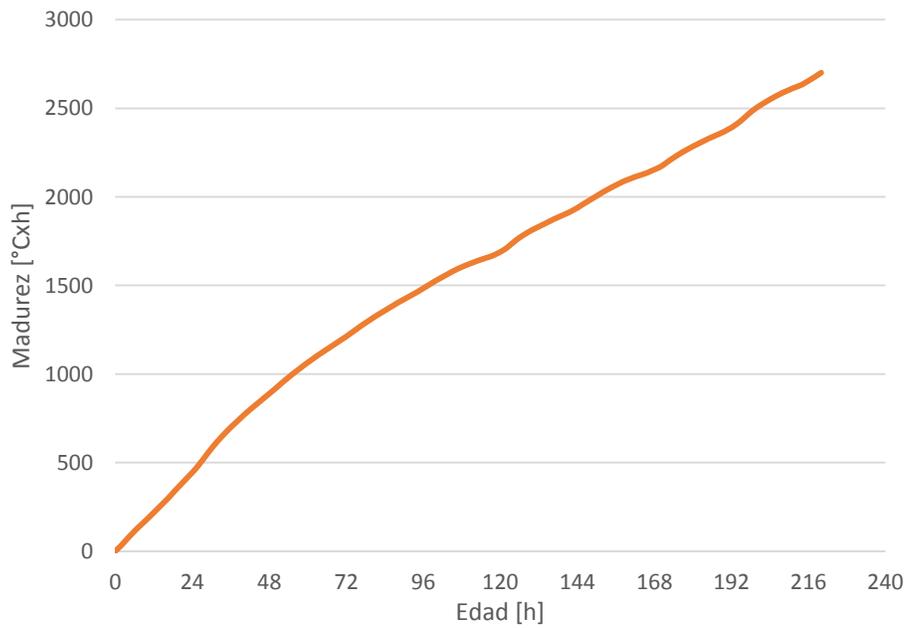


Gráfico 19: Seguimiento Madurez Instrumentación 04 Contratista 1

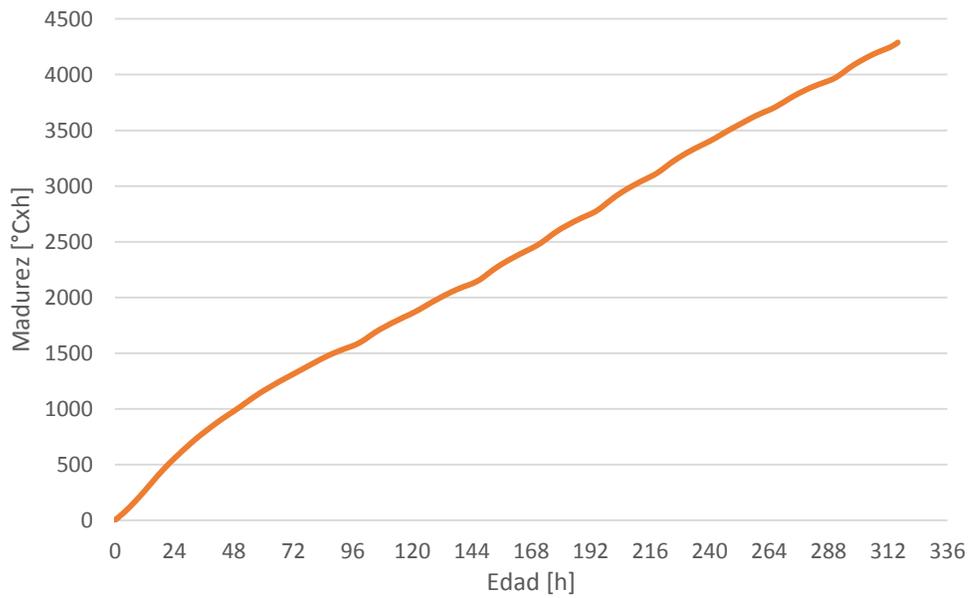
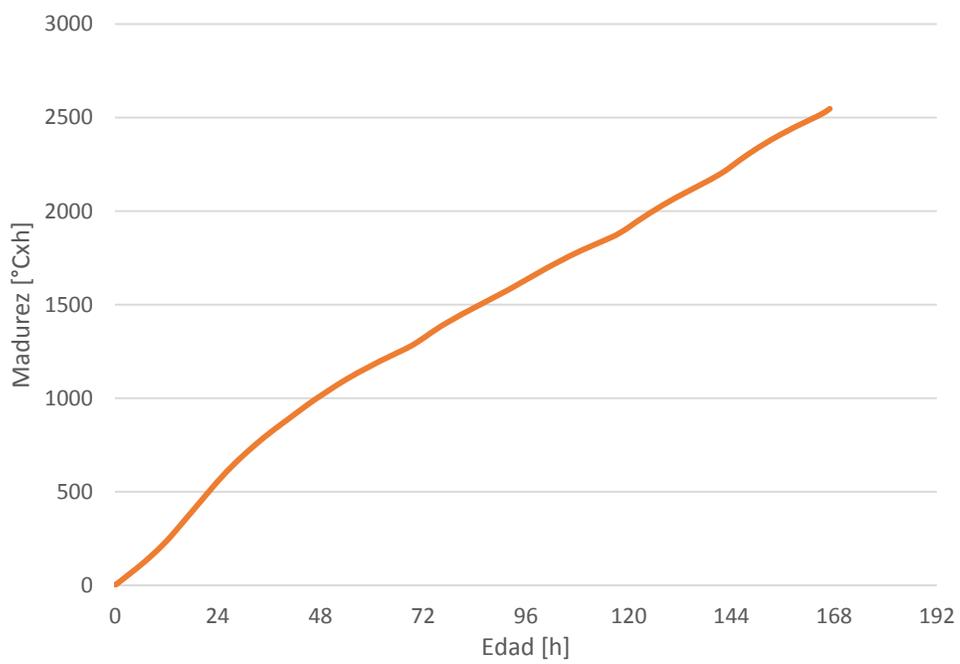


Gráfico 20: Seguimiento Madurez Instrumentación 05 Contratista 1



5.1.2.2 Contratista 2

Gráfico 21: Seguimiento Madurez Instrumentación 01 Contratista 2

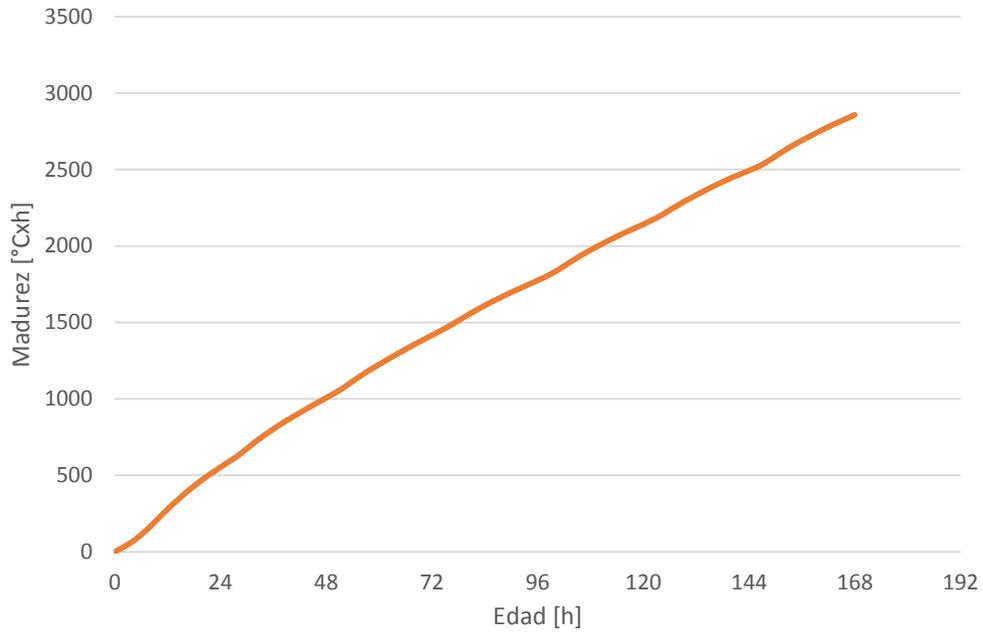


Gráfico 22: Seguimiento Madurez Instrumentación 02 Contratista 2

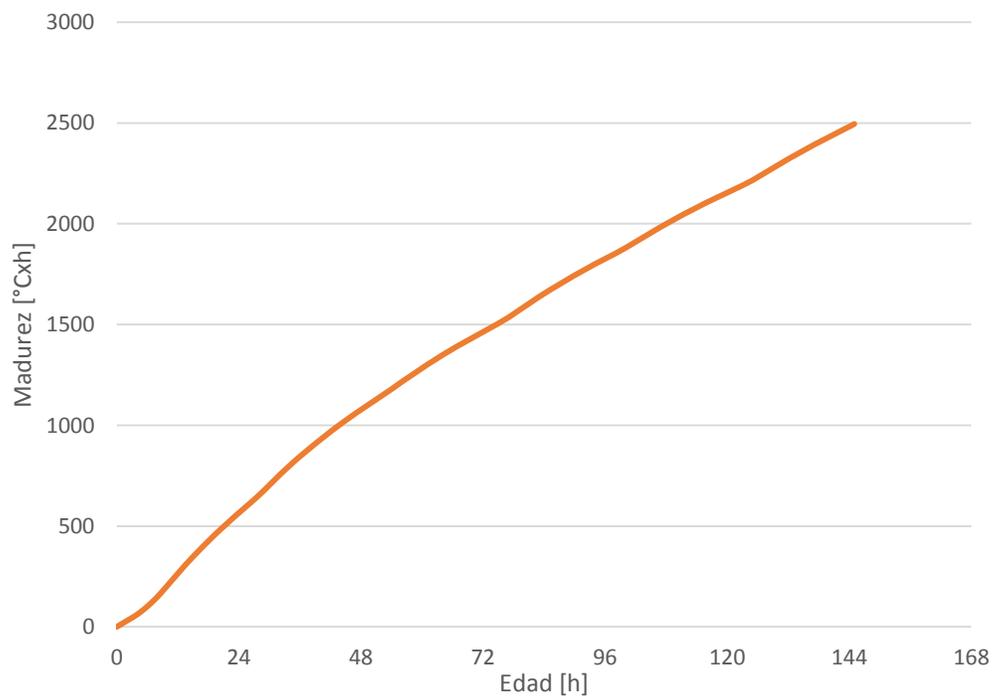


Gráfico 23: Seguimiento Madurez Instrumentación 03 Contratista 2

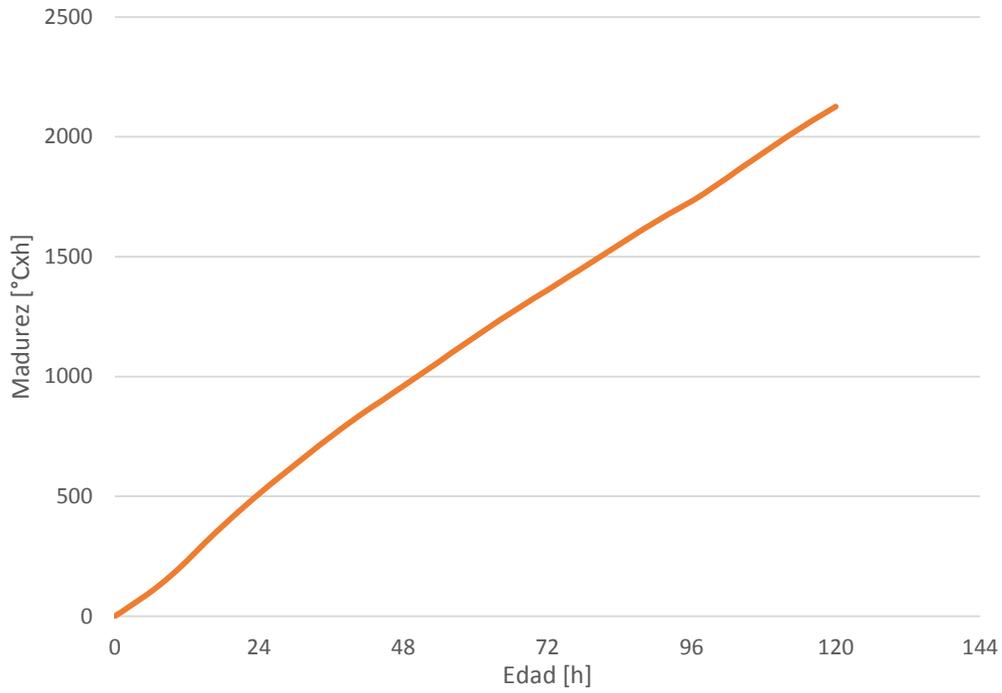


Gráfico 24: Seguimiento Madurez Instrumentación 04 Contratista 2

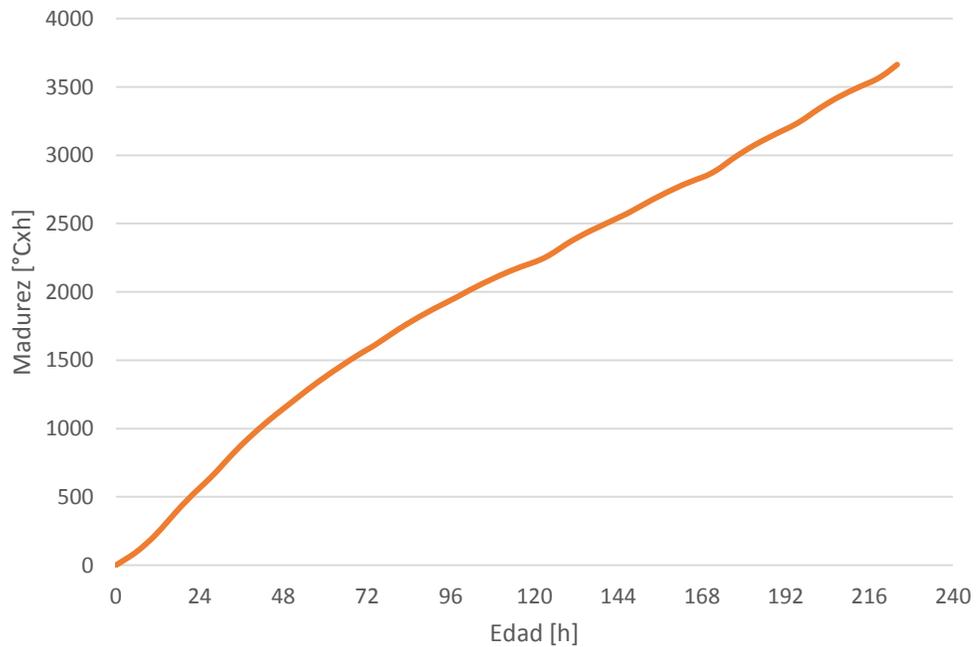


Gráfico 25: Seguimiento Madurez Instrumentación 05 Contratista 2

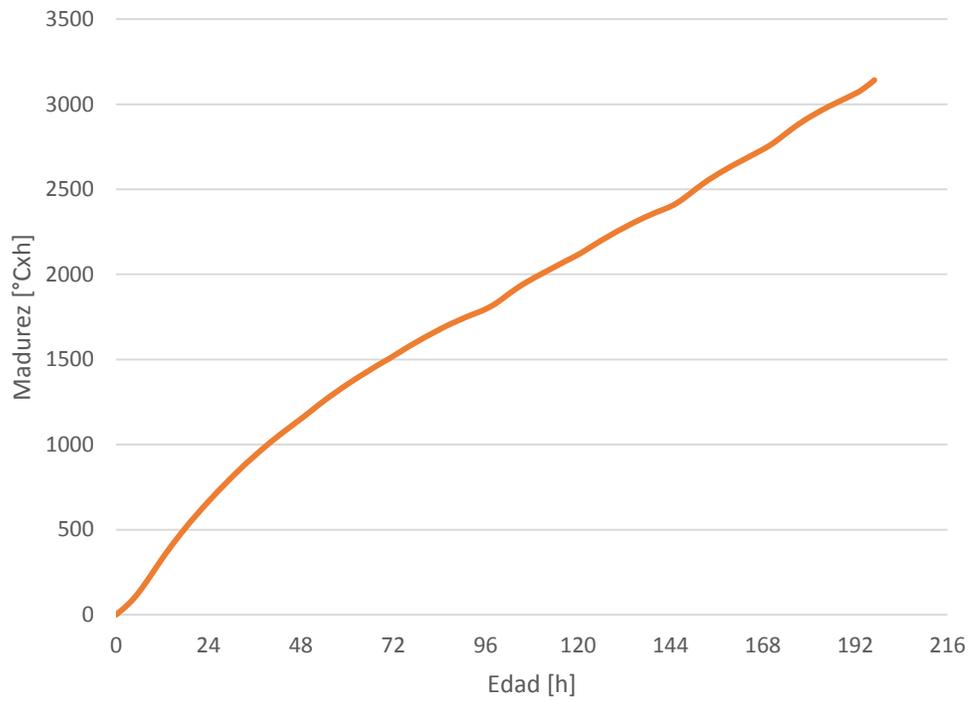
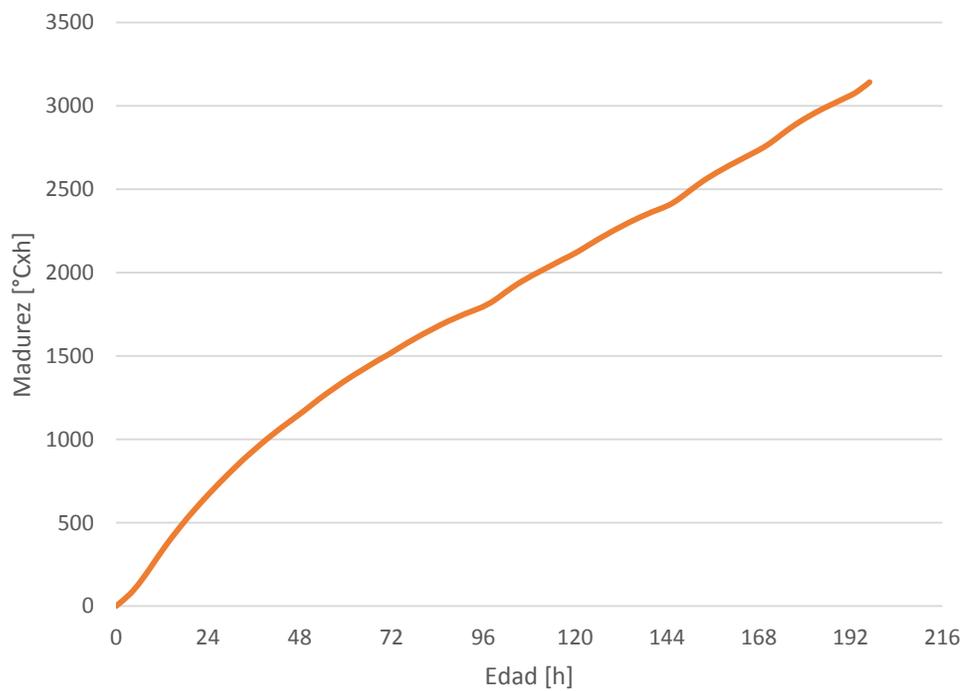


Gráfico 26: Seguimiento Madurez Instrumentación 06 Contratista 2



5.2 Evaluación de resistencia a través del método de madurez

Luego de obtener las curvas de Madurez-Resistencia para cada contratista, con su correspondiente proveedor de hormigón, es posible encontrar una madurez objetivo relacionada a la resistencia especificada de 34 MPa, señalada en 4.2.3, y además el tiempo en que se alcanzó dicha resistencia para cada instrumentación.

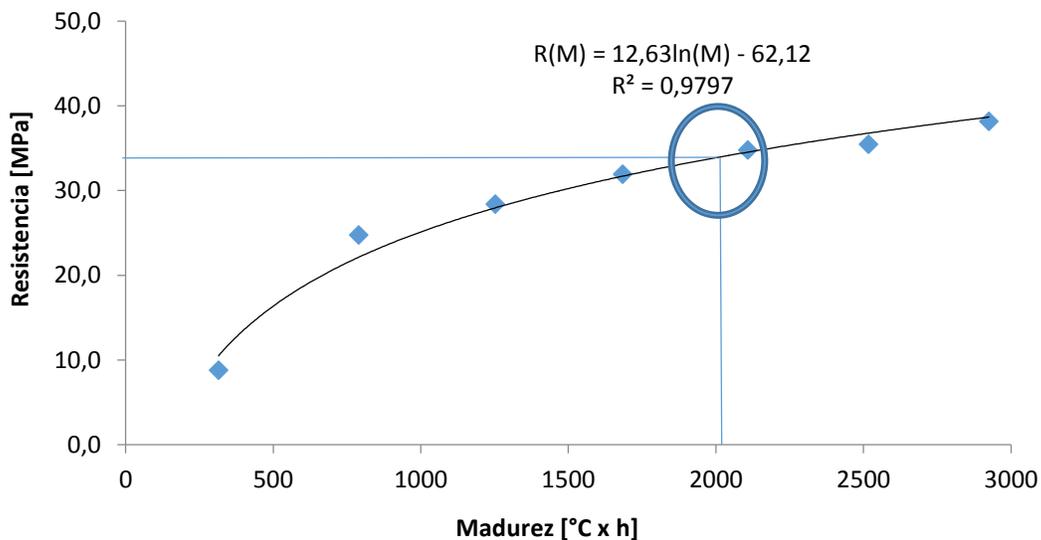
5.2.1 Madurez Objetivo

Realizando la evaluación en la curva característica de cada contratista encontrada en el punto 4.2.4.5 es posible encontrar la madurez objetivo en cada caso.

5.2.1.1 Contratista 1

De acuerdo a la (Ecuación 10), se aprecia que ésta alcanza la resistencia especificada en $M=2.019 \text{ } ^\circ\text{C}\times\text{h}$. Gráficamente:

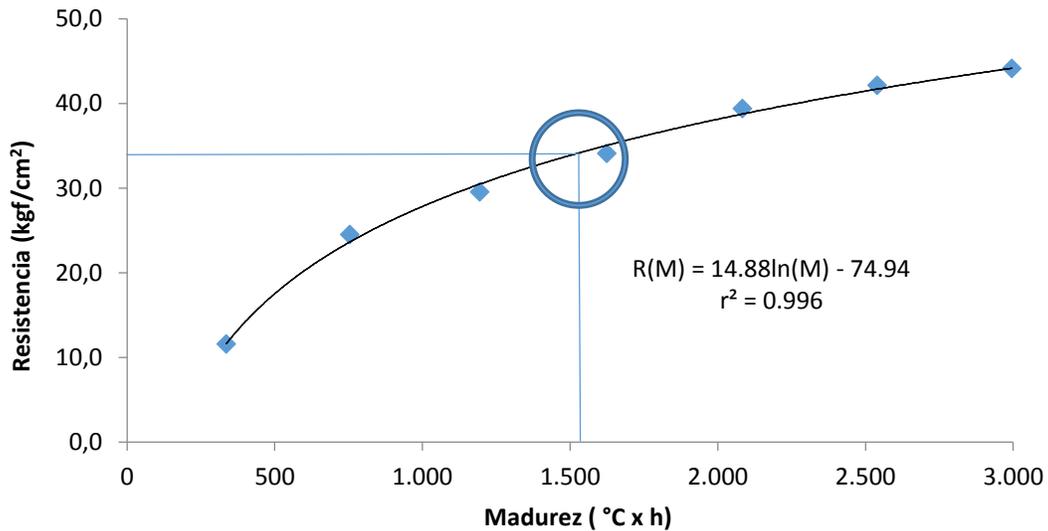
Gráfico 27: Madurez Objetivo Contratista 1



5.2.1.2 Contratista 2

Para la (Ecuación 11), se aprecia que ésta alcanza la resistencia especificada en $M=1.512 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{h}$. Gráficamente:

Gráfico 28: Madurez Objetivo Contratista 2



5.2.2 Tiempos medidos para alcanzar resistencia objetivo

Las tablas 3 y 4 muestran los tiempos en que se alcanzó la resistencia objetivo de 34 MPa para cada contratista. En ellas se puede observar que ambos contratistas alcanzan esta resistencia en menos de una semana desde la realización de la pavimentación. El contratista 1 alcanza la resistencia en promedio al quinto día, mientras que el contratista 2 la alcanza al tercer día.

5.2.2.1 Contratista 1

Tabla 3: Tiempo en que se alcanza resistencia objetivo Contratista 1

| Instrumentación | Tiempo alcance resistencia objetivo | |
|-----------------|-------------------------------------|------------|
| | horas | días |
| 1 | 122 | 5,1 |
| 2 | 119 | 5,0 |
| 3 | 152 | 6,3 |
| 4 | 134 | 5,6 |
| 5 | 128 | 5,3 |
| Promedio | 131 | 5,5 |

5.2.2.2 Contratista 2

Tabla 4: Tiempo en que se alcanza resistencia objetivo Contratista 2

| Instrumentación | Tiempo alcance resistencia objetivo | |
|-----------------|-------------------------------------|------------|
| | horas | días |
| 1 | 78 | 3,3 |
| 2 | 76 | 3,2 |
| 3 | 82 | 3,4 |
| 4 | 68 | 2,8 |
| 5 | 72 | 3,0 |
| 6 | 88 | 3,7 |
| Promedio | 77 | 3,2 |

5.3 Evaluación de resistencia a través de testigos

En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos de la extracción de 2 testigos por cada sector instrumentado para cada contratista, de acuerdo a las consideraciones de 4.2.6 y 4.2.7. Donde (a) representa la resistencia de la probeta a la edad de ensayo expresada como tensión de rotura, (b) representa la resistencia corregida por esbeltez expresada en cilindro normal de diámetro 15 cm y altura 30 cm, y (c) representa la resistencia transformada a cubo normal de arista 20 cm. El promedio fue calculado con los resultados de la resistencia expresada en cilindro, de acuerdo a las consideraciones y metodología de trabajo para este estudio.

5.3.1 Contratista 1

Tabla 5: Resultados ensayo de compresión testigos Contratista 1

| ID Testigo | Edad (días) | Diámetro Testigo (cm) | Altura Ensayo (cm) | Carga Máxima (kgf) | Resistencia a Compresión | | | Promedio (kgf / cm ²) |
|------------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | (a) (kgf / cm ²) | (b) (kgf / cm ²) | (c) (kgf / cm ²) | |
| 101 | 9 | 10,0 | 14,8 | 25.800 | 32,8 | 31,5 | 39,3 | 32,1 |
| 101 | 9 | 10,0 | 15,2 | 26.800 | 34,1 | 32,8 | 41,0 | |
| 102 | 9 | 10,0 | 13,9 | 24.500 | 31,2 | 29,6 | 37,0 | 29,5 |
| 102 | 9 | 10,0 | 14,3 | 24.200 | 30,8 | 29,4 | 36,7 | |
| 103 | 5 | 10,0 | 12,6 | 20.100 | 25,6 | 23,8 | 29,8 | 24,4 |
| 103 | 5 | 10,0 | 13,0 | 20.900 | 26,6 | 24,9 | 31,2 | |
| 104 | 2 | 10,0 | 16,3 | 15.600 | 19,9 | 19,3 | 24,1 | 19,5 |
| 104 | 2 | 10,0 | 17,7 | 15.800 | 20,1 | 19,7 | 24,7 | |
| 105 | 3 | 10,0 | 18,4 | 17.300 | 22,0 | 21,7 | 27,2 | 21,6 |
| 105 | 3 | 10,0 | 18,3 | 17.100 | 21,8 | 21,5 | 26,8 | |

5.3.2 Contratista 2

Tabla 6: Resultados ensayo de compresión testigos Contratista 2

| ID Testigo | Edad (días) | Diámetro Testigo (cm) | Altura Ensayo (cm) | Carga Máxima (kgf) | Resistencia a Compresión | | | Promedio (kgf / cm ²) |
|------------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | (a) (kgf / cm ²) | (b) (kgf / cm ²) | (c) (kgf / cm ²) | |
| C01 | 5 | 10,4 | 20,0 | 30.700 | 36,1 | 35,9 | 44,9 | 34,9 |
| C01 | 5 | 10,4 | 20,7 | 28.900 | 34,0 | 34,0 | 42,5 | |
| C02 | 4 | 10,4 | 20,4 | 28.600 | 33,7 | 33,5 | 41,9 | 33,0 |
| C02 | 4 | 10,4 | 20,6 | 27.700 | 32,6 | 32,5 | 40,7 | |
| C03 | 3 | 10,4 | 20,4 | 21.600 | 25,4 | 25,3 | 31,7 | 26,3 |
| C03 | 3 | 10,4 | 20,3 | 23.300 | 27,4 | 27,3 | 34,1 | |
| C04 | 7 | 10,4 | 14,7 | 36.700 | 43,2 | 41,1 | 51,4 | 41,4 |
| C04 | 7 | 10,4 | 14,4 | 37.400 | 44,0 | 41,8 | 52,2 | |
| C05 | 6 | 10,4 | 14,6 | 30.600 | 36,0 | 34,2 | 42,8 | 32,9 |
| C05 | 6 | 10,4 | 15,7 | 27.900 | 32,8 | 31,6 | 39,4 | |
| C06 | 7 | 10,4 | 14,6 | 35.100 | 41,3 | 39,3 | 49,1 | 38,9 |
| C06 | 7 | 10,4 | 12,5 | 35.600 | 41,9 | 38,6 | 48,3 | |

5.4 Evaluación comparativa con testigos de concreto

De acuerdo a los resultados obtenidos por el método de madurez como los resultados de extracción de testigos, es posible realizar un comparativo de estos valores, de manera de tener un rango de diferencias. Las Tablas 7 y 8 muestran estos datos para cada contratista.

5.4.1 Contratista 1

Tabla 7: Comparativo resistencias Contratista 1

| ID Testigo | Edad (días) | R Testigos (MPa) | Madurez (°CXh) | R Madurez (MPa) | R Testigos / R Madurez | (M-T)/T | M-T (MPa) |
|-----------------|-------------|------------------|----------------|-----------------|------------------------|------------|------------|
| I01 | 9 | 32,1 | 3135 | 39,6 | 0,81 | 23% | 7,5 |
| I02 | 9 | 29,5 | 3171 | 39,7 | 0,74 | 35% | 10,2 |
| I03 | 5 | 24,2 | 1689 | 31,7 | 0,76 | 31% | 7,5 |
| I04 | 2 | 19,5 | 979 | 24,9 | 0,78 | 27% | 5,4 |
| I05 | 3 | 21,6 | 1320 | 28,6 | 0,75 | 33% | 7,0 |
| Promedio | | | | | | 30% | 7,5 |

5.4.2 Contratista 2

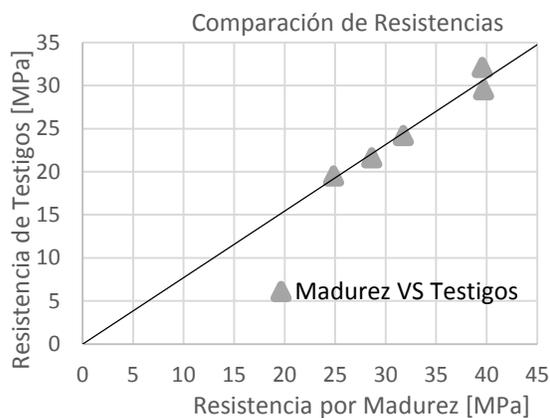
Tabla 8: Comparativo resistencias Contratista 2

| ID Testigo | Edad (días) | R Testigos (MPa) | Madurez (°Cxh) | R Madurez (MPa) | R Testigos / R Madurez | (M-T)/T | M-T |
|-----------------|-------------|------------------|----------------|-----------------|------------------------|------------|------------|
| C01 | 5 | 34,9 | 2142 | 39,2 | 0,89 | 12% | 4,3 |
| C02 | 4 | 33,0 | 1826 | 36,8 | 0,90 | 12% | 3,8 |
| C03 | 3 | 26,3 | 1360 | 32,4 | 0,81 | 23% | 6,1 |
| C04 | 7 | 41,4 | 2837 | 43,4 | 0,95 | 5% | 2,0 |
| C05 | 6 | 32,9 | 2399 | 40,9 | 0,81 | 24% | 8,0 |
| C06 | 7 | 38,9 | 2685 | 42,5 | 0,91 | 9% | 3,6 |
| Promedio | | | | | | 14% | 4,6 |

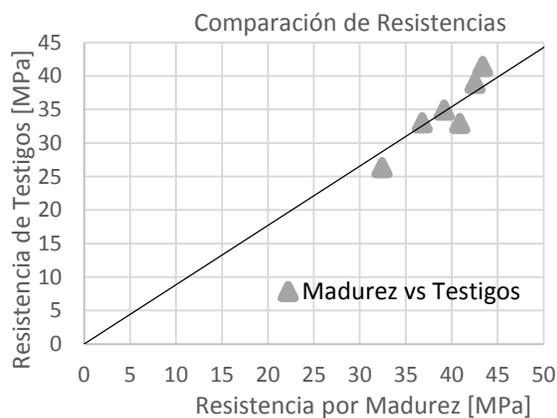
Se procedió a realizar la siguiente gráfica para observar la correlación existente entre ambas variables, por cada contratista.

Gráfico 29: Comparativo resistencias Madurez vs Testigos

(a) Contratista 1 - (b) Contratista 2



(a)



(b)

5.5 Análisis de resultados

Se observa que los perfiles térmicos desarrollados en los distintos puntos instrumentados, presentados en el punto 5.1.1, poseen un comportamiento típico alcanzando su valor máximo durante las primeras veinticuatro horas, y para los días siguientes puede apreciarse una distribución sinusoidal clásica, con valores máximos y mínimos congruentes con la temperatura ambiental durante el periodo.

Cabe mencionar que en algunos casos, como en la instrumentación C03 (Gráfico 12), se presentan anomalías respecto al comportamiento descrito anteriormente, dado que se observan tramos en que las temperaturas se mantienen constantes, lo que puede deberse a dificultades en el proceso de hidratación del cemento, donde por falta de homogeneidad en la mezcla esta se comporta de manera diferente. Otra explicación sería la posición en que se encuentra el sensor al interior del espesor de la losa de hormigón, por ejemplo si quedo en el fondo, existe un gran volumen de hormigón sobre dicho sensor, con lo cual es menos afectado en sus registros por la temperatura ambiente, y por ende los cambios de temperatura son menos abruptos.

Una vez determinada la curva característica Madurez-Resistencia correspondiente, fue posible estimar de manera sencilla y rápida la resistencia a compresión, mediante el uso del método de madurez, gracias a los datos de los sensores embebidos in-situ y registrados en el madurímetro, obteniéndose el índice de madurez y su posterior evaluación en la curva característica para cada contratista, estimando así la resistencia de acuerdo a la edad requerida.

Con lo anterior fue posible estimar la resistencia a distintas edades, acorde a las edades en que fueron ensayados los testigos desde que fue hormigonado el pavimento mediante el uso de la (Ecuación 10) para el contratista 1 y la (Ecuación 11) para el contratista 2, correlacionando el método de madurez con el ensayo de testigos.

Como se explicó anteriormente, los resultados obtenidos por la extracción y ensayo de testigos, son expresados en probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, mediante un factor corrector por esbeltez, el cual considera las correcciones geométricas necesarias. Dicho factor se establece en la norma NCh1171-1 y depende del cociente entre la altura y diámetro del testigo a ensayar.

En el caso del contratista 1, se obtuvieron diferenciales relativas de un 30%, en promedio, entre los métodos, con diferencias de resistencias de 7,5 MPa, en promedio. Para el contratista 2 las diferencias fueron más bajas, se pueden observar diferencias relativas del orden de un 14%, con diferencias de resistencia de 4,6 MPa, en promedio.

La resistencia objetivo, descrita en 5.2 corresponde a la resistencia última de diseño especificada para el proyecto, pero para el caso de un proyecto de pavimentación

la apertura a tránsito puede ser dada una vez que la resistencia sea igual o superior al 75% de la resistencia específica [22], esto es llegando a una resistencia de 26 MPa.

Evaluando en la curva característica Madurez-Resistencia para cada contratista, se obtiene que:

- Contratista 1: $M=1072$ °C·h. Esta madurez se alcanza, en promedio, a las 55 horas desde el inicio del monitoreo, o a los 2,3 días, para dar apertura a tránsito.
- Contratista 2: $M=883$ °C·h. Esta madurez se alcanza, en promedio, a las 44 horas desde el inicio del monitoreo, o a los 1,7 días, para dar apertura a tránsito.

Los resultados obtenidos por el contratista 1 y contratista 2 concuerdan con el tipo de hormigón utilizado en cada caso, donde a un nivel de confianza mayor se requiere una mayor resistencia, donde esta resistencia adicional es el resultado de una mezcla con mayor cantidad de cemento.

CAPITULO 6: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

6.1 Uso del método de madurez en pavimentos urbanos de hormigón

El presente trabajo estudia la aplicación del método de madurez como método complementario de control de calidad del hormigón para pavimentos urbanos. La metodología de este estudio fue realizada en época invernal, durante el mes de agosto, donde las temperaturas ambientales fluctuaban en un rango desde 1 °C a 21 °C. De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible utilizar el método de madurez para estimar la resistencia de pavimentos urbanos de hormigón, con la suficiente precisión, permitiendo su validación de acuerdo a los resultados que se tienen en 5.4, donde se observa la comparación entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez, y la resistencia de los testigos. Para el caso del contratista 1, se obtuvieron diferencias promedio de 30 % mientras que para el contratista 2, se tienen diferencias de 14%.

Estas diferencias no se deben a la ejecución del método de madurez y/o ensayos de laboratorio, en consideración a que el presente estudio no pretende realizar una comparación entre los hormigones utilizados, pero es posible indicar que se deben a los diferentes tipos de hormigones utilizados, en particular en lo que respecta a su nivel de confianza, en donde a mayores valores de éste nivel, se requieren dosificaciones de mayor resistencia a la compresión para elevar el promedio de las muestras y así cumplir con los requerimientos del proyecto. Por ende, en el caso de hormigón del contratista 2, corresponde a un hormigón con un diseño de mezcla mejorado o incluso más potenciado, respecto al hormigón de contratista 1, esto resulta en que el hormigón del contratista 2 llegue a la resistencia requerida en menor tiempo, pero también puede estar dado por el tipo de cemento que utiliza cada premezcladora donde el cemento del contratista 2 es más rápido que el del contratista 1, para lo cual debiese contarse con la información detallada de los materiales de cada dosificación, lo que no es considerado en profundidad en este estudio, pero es una variable importante de tener en cuenta para la ejecución de este tipo de proyectos.

Además como se ha mencionado, la resistencia de pavimentos se controla principalmente por el ensayo de vigas a flexo-tracción y el ensayo de testigos de hormigón endurecido, siendo este último el utilizado frecuentemente dado los inconvenientes que presenta la implementación del ensayo de flexo-tracción y la dispersión de sus resultados. La resistencia de testigo corresponde a la resistencia real de lo que ocurre en la estructura, en este caso el pavimento, por ende está sometido a lo que está ocurriendo insitu y no a condiciones ideales o de laboratorio, como ocurre con la resistencia potencial. Esto implica que se tenga una mayor dispersión en sus resultados, lo que frecuentemente en este tipo de proyectos, se traduce en un ajuste de la dosificación, como por ejemplo, aumentando la dosis de cemento de manera de asegurar la resistencia especificada, y así evitar caer en incumplimientos, siendo esta dosificación superior a lo que realmente se necesita.

Mediante la metodología basada en normas internacionales descritas en el capítulo 4, fue posible obtener las curvas características de madurez-resistencia para cada contratista. La validación de estas fue exitosa, respecto al cálculo de la resistencia obtenida por el método de madurez versus la resistencia determinada por medio de ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas. Esto se puede apreciar tanto en la dispersión de los puntos como en la correlación de las variables (4.2.4.5). Si bien es cierto que el presente estudio fue realizado previo a la publicación de la norma chilena de madurez NCh3565, tanto los procedimientos como los modelos utilizados corresponden a lo indicado en la norma, lo que valida aún más la metodología de desarrollo de este estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en 5.2.2, la madurez objetivo relacionada a la resistencia específica del proyecto de 34 MPa, es de $M=2.019 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ para el contratista 1, y $M=1.512 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ para el contratista 2. Con estos valores fue posible obtener los tiempos necesarios para alcanzar dicha madurez y/o resistencia objetivo, y por ende en este caso a una apertura a tránsito. Se observa que el contratista 1, en promedio, demora 5 días en alcanzar dicha resistencia, mientras que el contratista 2 demora 3 días. Considerando como requisito un 75% de resistencia final, como límite de aceptación, se podría realizar la apertura a tránsito al tercer día para contratista 1 y al segundo día para el contratista 2. Lo cual es una considerable disminución respecto al periodo habitual, de 28 días, para este efecto.

Se concluye que el método de madurez en pavimentos urbanos de hormigón es adecuado para la estimación de la resistencia del hormigón in-situ, con este método es posible obtener la resistencia de manera rápida y sencilla, a edad temprana requerida, una vez obtenida la curva característica. De acuerdo a los resultados de comparación con los resultados de los ensayos a testigos, es posible validar el método, a pesar de que para un contratista las diferencias son mayores, se obtienen en promedio valores congruentes de acuerdo a la metodología aplicada, a pesar de no seguir los tiempos recomendados por la norma de testigos. Es posible utilizar un factor de mayoración que contemple este tipo de errores para el ensayo de testigos, con lo cual las diferencias en los resultados de comparación disminuirían notablemente. Por lo que su implementación ayudará a tomar decisiones en etapas tempranas, proporcionando un método relativamente rápido y no destructivo para monitorear continuamente la resistencia del hormigón, que se puede utilizar para determinar la apertura a tránsito, sin esperar los resultados de laboratorio.

6.2 Consideraciones para la implementación del método

En terreno, fue posible instrumentar cada sector señalado, lo cual es una actividad relativamente simple, pero se deben tener ciertas consideraciones o resguardos a la hora de realizarlos. Los sensores en pavimentos tienen que ser colocados de tal manera que la sección de los cables que quedan expuestos, estén bajo resguardo para que no resulten dañados o sean cortados, ya sea por ejecución de la etapa siguiente en el desarrollo del proyecto, o por desconocimiento del personal

involucrado en la construcción. El cuidado de estos permitirá un correcto y detallado registro y toma de datos.

Es importante que el personal se encuentre capacitado, tanto de la metodología del método, como de la implementación de este, y así incluirlos en el aseguramiento de la correcta realización. Tener en cuenta la posición del sensor, y que sea instalado de la misma manera en todos los sectores instrumentados, evitando generar algún error o inconsistencia en la toma de datos, como puede ser el caso de la instrumentación C03 (Gráfico 12), en donde se observa que el perfil de temperaturas tiene en algunos puntos un comportamiento anómalo a lo que ocurre en el resto de los perfiles del estudio.

Por otro lado, es necesario verificar para cada instrumentación realizada, que la dosificación de hormigón corresponda a la misma con la cual fue realizada la curva característica Madurez-Resistencia. Si esto no es así, se debe estudiar si esta tendría efectos en la relación o en caso contrario desarrollar una nueva curva para la nueva dosificación utilizada.

Además, el hormigón al ser elaborado a partir de una serie de materias primas, es susceptible a presentar variabilidad asociada a dichas materias, donde el cemento cumple un rol principal en la resistencia de la mezcla, presentando variaciones de resistencia en las distintas partidas, desde que es producido en una planta, aun si sus materias primas son extraídas de un mismo origen. También existe la variabilidad debido a la conformación de la mezcla y a los ensayos de laboratorio.

Debido a la variabilidad del cemento en cuanto a su resistencia y cómo influye en la resistencia del hormigón, sería prudente considerar un factor de seguridad para el uso del método de madurez, y conforme a lo estudiado se considera un coeficiente de minoración de la resistencia obtenida por el método. Podría considerarse que este factor de seguridad se encuentre en un rango entre 1,10 y 1,25 que debe ser estudiado con una mayor cantidad de datos, pero si se usa y evalúa comparativamente con el ensayo de testigos, se obtendría que las diferencias entre los dos métodos disminuyen considerablemente respecto a los valores que se obtienen sin esta minoración.

En el uso de esta metodología se requiere la adquisición de sensores de monitoreo continuo que son embebidos en el hormigón, ya sean con cables o inalámbricos, y que en su condición de irrecuperables corresponden a un costo por la pérdida de estos. Se debe considerar además, que la caracterización de la curva de Madurez-Resistencia para una mezcla específica tiene costos asociados; uso de sensores, uso de probetas cilíndricas, ensayo a compresión y mano de obra para estos efectos. Sin embargo los datos entregados por esta correlación, y su posterior utilización en la obtención de resistencia a edades tempranas, resulta en un ahorro significativo de costos para el proyecto, ya sea por contar con un menor número de personal para el control de calidad, por la reducción en la cantidad de probetas utilizadas, y/o por la optimización en los tiempos de construcción. Además, realizar un seguimiento de toma de datos in-situ, de manera continua tiene como

externalidad tener el conocimiento de las temperaturas del hormigón colocado, lo que podría permitir mejorar las temperaturas y cuidados en el curado, frente a alguna anomalía. Incluso existen investigaciones donde los sensores son ubicados en lugares estratégicos o críticos y con esto, por ejemplo, determinar los tiempos de aserrado de juntas siendo una alternativa de uso además de la relacionada con la apertura a tránsito.

6.3 Continuidad de estudios

Un aspecto que no fue abordado en esta investigación y que se plantea como tema importante para investigaciones futuras, es la realización de un estudio similar en verano, donde se espera que la resistencia se alcance más rápido, pero podrían existir otros factores a analizar y que se deban tener en cuenta para este tipo de proyectos.

También resulta interesante para nuevos estudios, establecer estas relaciones para temperaturas en climas más extremos, por ejemplo en el Sur de Chile, y verificar el uso de la temperatura datum para este tipo de climas más fríos.

Además de las consideraciones climáticas, se propone realizar el estudio para hormigones de distintas premezcladoras con el mismo nivel de confianza, ya sea de sólo 80% o sólo 90%, que son los más utilizados en este tipo de proyectos, de manera de evaluar a igual desempeño el comportamiento a diferentes temperaturas ambientales.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Altura original:** altura del testigo antes de ser preparado para el ensayo correspondiente.
- **Altura de corte:** altura del testigo después de cortado o rectificado.
- **Curado:** proceso consistente en mantener un contenido de humedad y temperatura en un hormigón recién colocado de modo que pueda desarrollar sus propiedades.
- **Desmolde:** proceso destinado a retirar el moldaje de una estructura de hormigón.
- **Descimbre:** proceso destinado a retirar los elementos de sustención de las estructuras de hormigón (puntales, alzaprimas, entre otros).
- **Dosificación:** proporción de los distintos materiales componentes del hormigón expresada en masa o volumen, que constituyen un volumen determinado de hormigón, generalmente 1 m³.
- **Esbeltez del testigo:** cociente entre la altura de ensayo y su diámetro.
- **Fraguado:** cambio de estado físico que sufre la pasta de cemento desde el estado fresco hasta el endurecimiento, coincide con una elevación de temperatura.
- **Hidratación del cemento:** proceso mediante el cual este material, al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante, generando propiedades mecánicas útiles en las aplicaciones estructurales.
- **Resistencia del hormigón a la edad de ensayo del testigo:** valor expresado como resistencia cubica o cilíndrica a la fecha de ensayo, aplicando solamente la corrección por esbeltez de se establece en la norma NCh1171-1.
- **Resistencia potencial:** resistencia de una muestra de hormigón extraída según NCh171, confeccionada según NCh1017, ensayada según NCh1037 y expresada como resistencia a los 28 días, cuyas condiciones de curado, edad y grado de compactación están normalizadas según NCh170, siendo diferentes de las aplicadas en obra.
- **Resistencia real:** resistencia de un testigo de hormigón extraído de un elemento y ensayado según NCh1171-1 y expresado como resistencia según NCh170,

que corresponde a una estimación de la resistencia del hormigón en lugar de extracción sin corregir por efecto del curado, la edad o el grado de compactación.

- **Testigo:** probeta extraída de un elemento de hormigón endurecido, de acuerdo al procedimiento establecido en NCh1171-1.
- **Velocidad de hidratación del cemento:** corresponde a la variación de la concentración de los componentes del cemento hasta transformarse en la pasta de cemento aglutinante, el tiempo en el que ocurra dependerá además del tipo de cemento utilizado y su composición; de la finura del molido, la cantidad de agua agregada y las temperaturas de los componentes al momento de mezclarlos.

BIBLIOGRAFIA

1. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. 2020. Dimensionamiento y Características de la Red Vial Nacional 2019. [En línea] <<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/RedVialNacional2019.pdf>> [Consulta: 13/04/2020].
2. 2018. Desarrollo de los pavimentos en Chile: Alta tecnología. [En línea] Revista EBM Construcción. Noviembre 2018. <<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=4208&ni=desarrollo-de-los-pavimentos-en-chile-alta-tecnologia>> [Consulta: 13/04/2020].
3. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2012. Hormigón – Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo). NCh1171/1:2012.
4. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2012. Hormigón – Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica. NCh1171/1:2012.
5. Kraljevich F. 2020. Maquinarias: Madurímetros. Revista Hormigón al día (76):10-15.
6. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. 2014. Anuncian inicio de obras del Corredor Vicuña Mackenna. [En línea] <<https://mtt.gob.cl/archivos/8943>> [Consulta: 22/03/2020].
7. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2016. Hormigón – Requisitos generales. NCh170:2016.
8. Neville, Adam. M. “Properties of concrete”. Londres, Pitman Publishing, 1975. 532p.
9. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2018. Manual Obras viales, Pavimentación y Aguas Lluvias. [En línea] <http://pavimentacion.metropolitana.minvu.cl/doc/MPALL/MOV_SERVIU_2018v1.pdf>
10. Servicio de Vivienda y Urbanismo Región Metropolitana. 2020. Manual de Obras de Vialidad, Pavimentación y Aguas Lluvias [En línea] <http://pavimentacion.metropolitana.minvu.cl/mpall3.asp>
11. Chauveic J. Estudio Experimental de Propiedades Mecánicas de Hormigones con Árido Reciclado Mediante la Modificación del Método de Mezclado del Hormigón. Memoria. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2011.
12. Carino, N. and Lew, H., “The Maturity Method: From Theory to Application,” National Institute of Standards and technology, Washington, DC, 2001.
13. Jeria. R. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. Presentación Madurez. [En línea] <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorio_nacional/MaterialCursos/Madurez%20RJ.pdf> [Consulta: 25/03/2020].
14. Brante G. 2016. Seguimiento y evaluación del control de resistencia en pavimentos de hormigón mediante la aplicación de la metodología de madurez. Revista Obras Públicas (43): 36-39.
15. Holmberg A. 2017. El valor de la madurez. Revista Hormigón al día (67): 4.

16. Carino, N. J. "Chapter 5: The Maturity Method." Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, 2nd ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2004.
17. Soutsos, M., Kanavaris, F., & Hatzitheodorou, A. 2018. Critical analysis of strength estimates from maturity functions. Case Studies in Construction Materials. Queen's University Belfast. [En línea] <<https://core.ac.uk/download/pdf/160110784.pdf>> [Consulta: 15/03/2020].
18. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2018. Hormigón – Estimación de la Resistencia Mecánica – Método de la Madurez. NCh3565:2018.
19. American Society for testing and Material: ASTM. 2011. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM 1074:2011.
20. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2009. Hormigón – Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento NCh1017:2009.
21. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2009. Hormigón – Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio NCh1018:2009.
22. Instituto Nacional de Normalización: INN. 2009. Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas. NCh1037:2009.
23. Instituto Chileno del Hormigón. 2019. Análisis comparativos de resultados de ensayos de resistencia a la compresión cilíndrica y resistencia a la flexotracción de hormigones en la Región Metropolitana de Santiago de Chile. [En línea] <<https://ich.cl/pavimentando/documentos-pavimentando/analisis-comparativos-de-resultados-de-ensayos-de-resistencia-a-la-compresion-cilindrica-y-resistencia-a-la-flexotraccion-de-hormigones-en-la-region-metropolitana-de-santiago-de-chile/>> [Consulta: 13/07/2020].
24. Instituto Chileno del Hormigón. 2018. Oportunidades y Aplicación del concepto de la Madurez en pavimentos de concreto. [En línea] <<https://ich.cl/pavimentando/documentos-pavimentando/oportunidades-y-aplicacion-del-concepto-de-la-madurez-en-pavimentos-de-concreto/>> [Consulta 08/08/2019].

ANEXO 1

DATOS CONFECCION CURVA MADUREZ-RESISTENCIA

1.1 Contratista 1

1.1.1 Datos Madurez

Tabla 9: Datos madurez Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 0 | 22 | 0 |
| 1 | 18 | 18 |
| 2 | 17 | 35 |
| 3 | 15 | 52 |
| 4 | 14 | 67 |
| 5 | 14 | 81 |
| 6 | 13 | 94 |
| 7 | 13 | 107 |
| 8 | 13 | 120 |
| 9 | 12 | 132 |
| 10 | 12 | 144 |
| 11 | 12 | 156 |
| 12 | 12 | 168 |
| 13 | 12 | 180 |
| 14 | 12 | 192 |
| 15 | 12 | 204 |
| 16 | 12 | 216 |
| 17 | 11 | 228 |
| 18 | 11 | 239 |
| 19 | 10 | 250 |
| 20 | 11 | 261 |
| 21 | 12 | 272 |
| 22 | 13 | 284 |
| 23 | 14 | 297 |
| 24 | 17 | 313 |
| 25 | 18 | 330 |
| 26 | 19 | 349 |
| 27 | 20 | 369 |
| 28 | 20 | 389 |
| 29 | 20 | 409 |
| 30 | 20 | 429 |
| 31 | 20 | 449 |
| 32 | 20 | 469 |
| 33 | 20 | 489 |
| 34 | 20 | 509 |
| 35 | 20 | 529 |
| 36 | 20 | 549 |
| 37 | 20 | 569 |
| 38 | 20 | 589 |
| 39 | 20 | 609 |
| 40 | 20 | 629 |
| 41 | 20 | 649 |
| 42 | 20 | 669 |
| 43 | 20 | 689 |
| 44 | 20 | 709 |
| 45 | 20 | 729 |
| 46 | 20 | 749 |
| 47 | 20 | 769 |
| 48 | 20 | 789 |
| 49 | 20 | 809 |
| 50 | 20 | 829 |
| 51 | 20 | 849 |
| 52 | 20 | 869 |
| 53 | 20 | 889 |
| 54 | 20 | 909 |
| 55 | 20 | 929 |
| 56 | 20 | 949 |
| 57 | 20 | 969 |
| 58 | 20 | 989 |
| 59 | 20 | 1009 |
| 60 | 20 | 1029 |
| 61 | 20 | 1049 |
| 62 | 20 | 1069 |
| 63 | 19 | 1088 |
| 64 | 19 | 1107 |
| 65 | 19 | 1126 |
| 66 | 19 | 1145 |
| 67 | 19 | 1164 |
| 68 | 17 | 1182 |
| 69 | 16 | 1199 |
| 70 | 17 | 1216 |
| 71 | 18 | 1234 |
| 72 | 18 | 1252 |
| 73 | 18 | 1270 |
| 74 | 18 | 1288 |
| 75 | 18 | 1306 |
| 76 | 18 | 1324 |
| 77 | 18 | 1342 |
| 78 | 18 | 1360 |
| 79 | 18 | 1377 |
| 80 | 18 | 1395 |
| 81 | 18 | 1413 |
| 82 | 18 | 1431 |
| 83 | 18 | 1449 |
| 84 | 18 | 1467 |
| 85 | 18 | 1485 |
| 86 | 18 | 1503 |
| 87 | 18 | 1521 |
| 88 | 18 | 1539 |
| 89 | 18 | 1557 |
| 90 | 18 | 1575 |
| 91 | 18 | 1593 |
| 92 | 18 | 1611 |
| 93 | 18 | 1629 |
| 94 | 18 | 1647 |
| 95 | 18 | 1665 |
| 96 | 18 | 1683 |
| 97 | 18 | 1701 |
| 98 | 18 | 1719 |
| 99 | 18 | 1737 |
| 100 | 18 | 1755 |
| 101 | 18 | 1773 |
| 102 | 18 | 1791 |
| 103 | 18 | 1809 |
| 104 | 18 | 1827 |
| 105 | 18 | 1845 |
| 106 | 18 | 1863 |
| 107 | 18 | 1881 |
| 108 | 18 | 1899 |
| 109 | 18 | 1917 |
| 110 | 18 | 1935 |
| 111 | 18 | 1953 |
| 112 | 18 | 1971 |
| 113 | 17 | 1988 |

Tabla 9: Datos madurez Contratista 1(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 114 | 17 | 2005 | 166 | 17 | 2889 | 218 | 17 | 3779 |
| 115 | 17 | 2022 | 167 | 17 | 2906 | 219 | 17 | 3796 |
| 116 | 17 | 2039 | 168 | 17 | 2923 | 220 | 17 | 3813 |
| 117 | 17 | 2056 | 169 | 17 | 2940 | 221 | 17 | 3830 |
| 118 | 17 | 2073 | 170 | 17 | 2957 | 222 | 17 | 3847 |
| 119 | 17 | 2090 | 171 | 17 | 2974 | 223 | 17 | 3864 |
| 120 | 17 | 2107 | 172 | 17 | 2991 | 224 | 17 | 3881 |
| 121 | 17 | 2124 | 173 | 17 | 3008 | 225 | 17 | 3898 |
| 122 | 17 | 2141 | 174 | 17 | 3025 | 226 | 17 | 3915 |
| 123 | 17 | 2158 | 175 | 17 | 3042 | 227 | 17 | 3932 |
| 124 | 17 | 2175 | 176 | 17 | 3059 | 228 | 17 | 3949 |
| 125 | 17 | 2192 | 177 | 17 | 3076 | 229 | 17 | 3966 |
| 126 | 17 | 2209 | 178 | 17 | 3093 | 230 | 17 | 3983 |
| 127 | 17 | 2226 | 179 | 17 | 3110 | 231 | 17 | 4000 |
| 128 | 17 | 2243 | 180 | 17 | 3127 | 232 | 17 | 4017 |
| 129 | 17 | 2260 | 181 | 17 | 3144 | 233 | 17 | 4034 |
| 130 | 17 | 2277 | 182 | 18 | 3161 | 234 | 17 | 4051 |
| 131 | 17 | 2294 | 183 | 18 | 3179 | 235 | 17 | 4068 |
| 132 | 17 | 2311 | 184 | 18 | 3197 | 236 | 17 | 4085 |
| 133 | 17 | 2328 | 185 | 18 | 3215 | 237 | 17 | 4102 |
| 134 | 17 | 2345 | 186 | 18 | 3233 | 238 | 17 | 4119 |
| 135 | 17 | 2362 | 187 | 18 | 3251 | 239 | 17 | 4136 |
| 136 | 17 | 2379 | 188 | 17 | 3269 | 240 | 17 | 4153 |
| 137 | 17 | 2396 | 189 | 17 | 3286 | 241 | 17 | 4170 |
| 138 | 17 | 2413 | 190 | 17 | 3303 | 242 | 17 | 4187 |
| 139 | 17 | 2430 | 191 | 17 | 3320 | 243 | 17 | 4204 |
| 140 | 17 | 2447 | 192 | 17 | 3337 | 244 | 17 | 4221 |
| 141 | 17 | 2464 | 193 | 17 | 3354 | 245 | 17 | 4238 |
| 142 | 17 | 2481 | 194 | 17 | 3371 | 246 | 17 | 4255 |
| 143 | 17 | 2498 | 195 | 17 | 3388 | 247 | 17 | 4272 |
| 144 | 17 | 2515 | 196 | 17 | 3405 | 248 | 17 | 4289 |
| 145 | 17 | 2532 | 197 | 17 | 3422 | 249 | 17 | 4306 |
| 146 | 17 | 2549 | 198 | 17 | 3439 | 250 | 17 | 4323 |
| 147 | 17 | 2566 | 199 | 17 | 3456 | 251 | 17 | 4340 |
| 148 | 17 | 2583 | 200 | 17 | 3473 | 252 | 17 | 4357 |
| 149 | 17 | 2600 | 201 | 17 | 3490 | 253 | 17 | 4374 |
| 150 | 17 | 2617 | 202 | 17 | 3507 | 254 | 17 | 4391 |
| 151 | 17 | 2634 | 203 | 17 | 3524 | 255 | 17 | 4408 |
| 152 | 17 | 2651 | 204 | 17 | 3541 | 256 | 17 | 4425 |
| 153 | 17 | 2668 | 205 | 17 | 3558 | 257 | 17 | 4442 |
| 154 | 17 | 2685 | 206 | 17 | 3575 | 258 | 17 | 4459 |
| 155 | 17 | 2702 | 207 | 17 | 3592 | 259 | 17 | 4476 |
| 156 | 17 | 2719 | 208 | 17 | 3609 | 260 | 17 | 4493 |
| 157 | 17 | 2736 | 209 | 17 | 3626 | 261 | 17 | 4510 |
| 158 | 17 | 2753 | 210 | 17 | 3643 | 262 | 17 | 4527 |
| 159 | 17 | 2770 | 211 | 17 | 3660 | 263 | 17 | 4544 |
| 160 | 17 | 2787 | 212 | 17 | 3677 | 264 | 17 | 4561 |
| 161 | 17 | 2804 | 213 | 17 | 3694 | 265 | 17 | 4578 |
| 162 | 17 | 2821 | 214 | 17 | 3711 | 266 | 17 | 4595 |
| 163 | 17 | 2838 | 215 | 17 | 3728 | 267 | 17 | 4612 |
| 164 | 17 | 2855 | 216 | 17 | 3745 | 268 | 17 | 4629 |
| 165 | 17 | 2872 | 217 | 17 | 3762 | 269 | 17 | 4646 |

Tabla 9: Datos madurez Contratista 1(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 270 | 17 | 4663 | 322 | 17 | 5546 | 374 | 17 | 6430 |
| 271 | 17 | 4680 | 323 | 17 | 5563 | 375 | 17 | 6447 |
| 272 | 17 | 4697 | 324 | 17 | 5580 | 376 | 17 | 6464 |
| 273 | 17 | 4714 | 325 | 17 | 5597 | 377 | 17 | 6481 |
| 274 | 17 | 4731 | 326 | 17 | 5614 | 378 | 17 | 6498 |
| 275 | 17 | 4748 | 327 | 17 | 5631 | 379 | 17 | 6515 |
| 276 | 17 | 4765 | 328 | 17 | 5648 | 380 | 17 | 6532 |
| 277 | 17 | 4782 | 329 | 17 | 5665 | 381 | 17 | 6549 |
| 278 | 17 | 4799 | 330 | 17 | 5682 | 382 | 17 | 6566 |
| 279 | 17 | 4816 | 331 | 17 | 5699 | 383 | 17 | 6583 |
| 280 | 17 | 4833 | 332 | 17 | 5716 | 384 | 17 | 6600 |
| 281 | 17 | 4850 | 333 | 17 | 5733 | 385 | 17 | 6617 |
| 282 | 17 | 4867 | 334 | 17 | 5750 | 386 | 17 | 6634 |
| 283 | 17 | 4884 | 335 | 17 | 5767 | 387 | 17 | 6651 |
| 284 | 17 | 4901 | 336 | 17 | 5784 | 388 | 17 | 6668 |
| 285 | 17 | 4918 | 337 | 17 | 5801 | 389 | 17 | 6685 |
| 286 | 17 | 4935 | 338 | 17 | 5818 | 390 | 17 | 6702 |
| 287 | 17 | 4952 | 339 | 17 | 5835 | 391 | 17 | 6719 |
| 288 | 17 | 4969 | 340 | 17 | 5852 | 392 | 17 | 6736 |
| 289 | 17 | 4986 | 341 | 17 | 5869 | 393 | 17 | 6753 |
| 290 | 17 | 5003 | 342 | 17 | 5886 | 394 | 17 | 6770 |
| 291 | 17 | 5020 | 343 | 17 | 5903 | 395 | 17 | 6787 |
| 292 | 17 | 5037 | 344 | 17 | 5920 | 396 | 17 | 6804 |
| 293 | 17 | 5054 | 345 | 17 | 5937 | 397 | 17 | 6821 |
| 294 | 17 | 5071 | 346 | 17 | 5954 | 398 | 17 | 6838 |
| 295 | 17 | 5088 | 347 | 17 | 5971 | 399 | 17 | 6855 |
| 296 | 17 | 5105 | 348 | 17 | 5988 | 400 | 17 | 6872 |
| 297 | 17 | 5122 | 349 | 17 | 6005 | 401 | 17 | 6889 |
| 298 | 17 | 5139 | 350 | 17 | 6022 | 402 | 17 | 6906 |
| 299 | 17 | 5156 | 351 | 17 | 6039 | 403 | 17 | 6923 |
| 300 | 17 | 5173 | 352 | 17 | 6056 | 404 | 17 | 6940 |
| 301 | 17 | 5190 | 353 | 17 | 6073 | 405 | 17 | 6957 |
| 302 | 17 | 5207 | 354 | 17 | 6090 | 406 | 17 | 6974 |
| 303 | 17 | 5224 | 355 | 17 | 6107 | 407 | 17 | 6991 |
| 304 | 17 | 5241 | 356 | 17 | 6124 | 408 | 17 | 7008 |
| 305 | 17 | 5258 | 357 | 17 | 6141 | 409 | 17 | 7025 |
| 306 | 17 | 5275 | 358 | 17 | 6158 | 410 | 17 | 7042 |
| 307 | 17 | 5292 | 359 | 17 | 6175 | 411 | 17 | 7059 |
| 308 | 17 | 5309 | 360 | 17 | 6192 | 412 | 17 | 7076 |
| 309 | 17 | 5325 | 361 | 17 | 6209 | 413 | 17 | 7093 |
| 310 | 17 | 5342 | 362 | 17 | 6226 | 414 | 17 | 7110 |
| 311 | 17 | 5359 | 363 | 17 | 6243 | 415 | 17 | 7127 |
| 312 | 17 | 5376 | 364 | 17 | 6260 | 416 | 17 | 7144 |
| 313 | 17 | 5393 | 365 | 17 | 6277 | 417 | 17 | 7161 |
| 314 | 17 | 5410 | 366 | 17 | 6294 | 418 | 17 | 7178 |
| 315 | 17 | 5427 | 367 | 17 | 6311 | 419 | 17 | 7195 |
| 316 | 17 | 5444 | 368 | 17 | 6328 | 420 | 17 | 7212 |
| 317 | 17 | 5461 | 369 | 17 | 6345 | 421 | 17 | 7229 |
| 318 | 17 | 5478 | 370 | 17 | 6362 | 422 | 17 | 7246 |
| 319 | 17 | 5495 | 371 | 17 | 6379 | 423 | 17 | 7263 |
| 320 | 17 | 5512 | 372 | 17 | 6396 | 424 | 17 | 7280 |
| 321 | 17 | 5529 | 373 | 17 | 6413 | 425 | 17 | 7297 |

Tabla 9: Datos madurez Contratista 1(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 426 | 17 | 7314 | 478 | 17 | 8198 | 530 | 17 | 9082 |
| 427 | 17 | 7331 | 479 | 17 | 8215 | 531 | 17 | 9099 |
| 428 | 17 | 7348 | 480 | 17 | 8232 | 532 | 17 | 9116 |
| 429 | 17 | 7365 | 481 | 17 | 8249 | 533 | 17 | 9133 |
| 430 | 17 | 7382 | 482 | 17 | 8266 | 534 | 17 | 9150 |
| 431 | 17 | 7399 | 483 | 17 | 8283 | 535 | 17 | 9167 |
| 432 | 17 | 7416 | 484 | 17 | 8300 | 536 | 17 | 9184 |
| 433 | 17 | 7433 | 485 | 17 | 8317 | 537 | 17 | 9201 |
| 434 | 17 | 7450 | 486 | 17 | 8334 | 538 | 17 | 9218 |
| 435 | 17 | 7467 | 487 | 17 | 8351 | 539 | 17 | 9235 |
| 436 | 17 | 7484 | 488 | 17 | 8368 | 540 | 17 | 9252 |
| 437 | 17 | 7501 | 489 | 17 | 8385 | 541 | 17 | 9269 |
| 438 | 17 | 7518 | 490 | 17 | 8402 | 542 | 17 | 9286 |
| 439 | 17 | 7535 | 491 | 17 | 8419 | 543 | 17 | 9303 |
| 440 | 17 | 7552 | 492 | 17 | 8436 | 544 | 17 | 9320 |
| 441 | 17 | 7569 | 493 | 17 | 8453 | 545 | 17 | 9337 |
| 442 | 17 | 7586 | 494 | 17 | 8470 | 546 | 17 | 9354 |
| 443 | 17 | 7603 | 495 | 17 | 8487 | 547 | 17 | 9371 |
| 444 | 17 | 7620 | 496 | 17 | 8504 | 548 | 17 | 9388 |
| 445 | 17 | 7637 | 497 | 17 | 8521 | 549 | 17 | 9405 |
| 446 | 17 | 7654 | 498 | 17 | 8538 | 550 | 17 | 9421 |
| 447 | 17 | 7671 | 499 | 17 | 8555 | 551 | 17 | 9438 |
| 448 | 17 | 7688 | 500 | 17 | 8572 | 552 | 17 | 9455 |
| 449 | 17 | 7705 | 501 | 17 | 8589 | 553 | 17 | 9472 |
| 450 | 17 | 7722 | 502 | 17 | 8606 | 554 | 17 | 9489 |
| 451 | 17 | 7739 | 503 | 17 | 8623 | 555 | 17 | 9506 |
| 452 | 17 | 7756 | 504 | 17 | 8640 | 556 | 17 | 9523 |
| 453 | 17 | 7773 | 505 | 17 | 8657 | 557 | 17 | 9540 |
| 454 | 17 | 7790 | 506 | 17 | 8674 | 558 | 17 | 9557 |
| 455 | 17 | 7807 | 507 | 17 | 8691 | 559 | 17 | 9574 |
| 456 | 17 | 7824 | 508 | 17 | 8708 | 560 | 17 | 9591 |
| 457 | 17 | 7841 | 509 | 17 | 8725 | 561 | 17 | 9608 |
| 458 | 17 | 7858 | 510 | 17 | 8742 | 562 | 17 | 9625 |
| 459 | 17 | 7875 | 511 | 17 | 8759 | 563 | 17 | 9642 |
| 460 | 17 | 7892 | 512 | 17 | 8776 | 564 | 17 | 9659 |
| 461 | 17 | 7909 | 513 | 17 | 8793 | 565 | 17 | 9676 |
| 462 | 17 | 7926 | 514 | 17 | 8810 | 566 | 17 | 9693 |
| 463 | 17 | 7943 | 515 | 17 | 8827 | 567 | 17 | 9710 |
| 464 | 17 | 7960 | 516 | 17 | 8844 | 568 | 17 | 9727 |
| 465 | 17 | 7977 | 517 | 17 | 8861 | 569 | 17 | 9744 |
| 466 | 17 | 7994 | 518 | 17 | 8878 | 570 | 17 | 9761 |
| 467 | 17 | 8011 | 519 | 17 | 8895 | 571 | 17 | 9778 |
| 468 | 17 | 8028 | 520 | 17 | 8912 | 572 | 17 | 9795 |
| 469 | 17 | 8045 | 521 | 17 | 8929 | 573 | 17 | 9812 |
| 470 | 17 | 8062 | 522 | 17 | 8946 | 574 | 17 | 9829 |
| 471 | 17 | 8079 | 523 | 17 | 8963 | 575 | 17 | 9846 |
| 472 | 17 | 8096 | 524 | 17 | 8980 | 576 | 17 | 9863 |
| 473 | 17 | 8113 | 525 | 17 | 8997 | 577 | 17 | 9880 |
| 474 | 17 | 8130 | 526 | 17 | 9014 | 578 | 17 | 9897 |
| 475 | 17 | 8147 | 527 | 17 | 9031 | 579 | 17 | 9914 |
| 476 | 17 | 8164 | 528 | 17 | 9048 | 580 | 17 | 9931 |
| 477 | 17 | 8181 | 529 | 17 | 9065 | 581 | 17 | 9948 |

Tabla 9: Datos madurez Contratista 1(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 582 | 17 | 9965 | 613 | 17 | 10492 | 644 | 17 | 11019 |
| 583 | 17 | 9982 | 614 | 17 | 10509 | 645 | 17 | 11036 |
| 584 | 17 | 9999 | 615 | 17 | 10526 | 646 | 17 | 11053 |
| 585 | 17 | 10016 | 616 | 17 | 10543 | 647 | 17 | 11070 |
| 586 | 17 | 10033 | 617 | 17 | 10560 | 648 | 17 | 11087 |
| 587 | 17 | 10050 | 618 | 17 | 10577 | 649 | 17 | 11104 |
| 588 | 17 | 10067 | 619 | 17 | 10594 | 650 | 17 | 11121 |
| 589 | 17 | 10084 | 620 | 17 | 10611 | 651 | 17 | 11138 |
| 590 | 17 | 10101 | 621 | 17 | 10628 | 652 | 17 | 11155 |
| 591 | 17 | 10118 | 622 | 17 | 10645 | 653 | 17 | 11172 |
| 592 | 17 | 10135 | 623 | 17 | 10662 | 654 | 17 | 11189 |
| 593 | 17 | 10152 | 624 | 17 | 10679 | 655 | 17 | 11206 |
| 594 | 17 | 10169 | 625 | 17 | 10696 | 656 | 17 | 11223 |
| 595 | 17 | 10186 | 626 | 17 | 10713 | 657 | 17 | 11240 |
| 596 | 17 | 10203 | 627 | 17 | 10730 | 658 | 17 | 11257 |
| 597 | 17 | 10220 | 628 | 17 | 10747 | 659 | 17 | 11274 |
| 598 | 17 | 10237 | 629 | 17 | 10764 | 660 | 17 | 11291 |
| 599 | 17 | 10254 | 630 | 17 | 10781 | 661 | 17 | 11308 |
| 600 | 17 | 10271 | 631 | 17 | 10798 | 662 | 17 | 11325 |
| 601 | 17 | 10288 | 632 | 17 | 10815 | 663 | 17 | 11342 |
| 602 | 17 | 10305 | 633 | 17 | 10832 | 664 | 17 | 11359 |
| 603 | 17 | 10322 | 634 | 17 | 10849 | 665 | 17 | 11376 |
| 604 | 17 | 10339 | 635 | 17 | 10866 | 666 | 17 | 11393 |
| 605 | 17 | 10356 | 636 | 17 | 10883 | 667 | 17 | 11410 |
| 606 | 17 | 10373 | 637 | 17 | 10900 | 668 | 17 | 11427 |
| 607 | 17 | 10390 | 638 | 17 | 10917 | 669 | 17 | 11444 |
| 608 | 17 | 10407 | 639 | 17 | 10934 | 670 | 17 | 11461 |
| 609 | 17 | 10424 | 640 | 17 | 10951 | 671 | 17 | 11478 |
| 610 | 17 | 10441 | 641 | 17 | 10968 | 672 | 17 | 11495 |
| 611 | 17 | 10458 | 642 | 17 | 10985 | | | |
| 612 | 17 | 10475 | 643 | 17 | 11002 | | | |

1.1.2 Datos Resistencia a compresión

Tabla 10: Resultados Compresión Cilindros Contratista 1

| Edad (días) | Edad (h) | Densidad (kg/m ³) | Res. Cil. 15 cm. (Mpa) | Res. Cúb. 20 cm. (MPa) | FlexoTracción (Mpa) |
|-------------|----------|-------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 24 | 2430 | 8,9 | 11,1 | 1,4 |
| 1 | 24 | 2420 | 8,7 | 10,9 | 1,4 |
| 2 | 48 | 2430 | 24,6 | 29,6 | 3,8 |
| 2 | 48 | 2430 | 24,9 | 29,9 | 3,8 |
| 3 | 72 | 2420 | 28,5 | 33,5 | 4,3 |
| 3 | 72 | 2400 | 28,3 | 33,3 | 4,3 |
| 4 | 96 | 2420 | 32,5 | 37,5 | 4,8 |
| 4 | 96 | 2420 | 31,4 | 36,4 | 4,7 |
| 5 | 120 | 2430 | 34,8 | 39,8 | 5,1 |
| 5 | 120 | 2430 | 34,8 | 39,8 | 5,1 |
| 6 | 144 | 2430 | 35,3 | 40,3 | 5,2 |
| 6 | 144 | 2420 | 35,6 | 40,6 | 5,2 |
| 7 | 168 | 2430 | 37,9 | 42,9 | 5,5 |
| 7 | 168 | 2420 | 38,4 | 43,4 | 5,6 |
| 14 | 336 | 2410 | 40,0 | 45,0 | 5,8 |
| 14 | 336 | 2430 | 41,7 | 46,7 | 6,0 |
| 28 | 672 | 2410 | 46,9 | 51,9 | 6,7 |
| 28 | 672 | 2410 | 47,0 | 52,0 | 6,7 |

1.2 Contratista 2

1.2.1 Datos Madurez

Tabla 11: Datos madurez Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 13 | 0 | 16 | 13 | 239 | 32 | 17 | 445 |
| 1 | 13 | 13 | 17 | 13 | 252 | 33 | 18 | 463 |
| 2 | 12 | 25 | 18 | 13 | 265 | 34 | 18 | 481 |
| 3 | 13 | 38 | 19 | 12 | 277 | 35 | 19 | 500 |
| 4 | 14 | 51 | 20 | 12 | 289 | 36 | 19 | 519 |
| 5 | 16 | 66 | 21 | 12 | 301 | 37 | 19 | 538 |
| 6 | 17 | 82 | 22 | 12 | 313 | 38 | 20 | 558 |
| 7 | 17 | 99 | 23 | 11 | 325 | 39 | 20 | 578 |
| 8 | 17 | 116 | 24 | 11 | 336 | 40 | 20 | 598 |
| 9 | 17 | 133 | 25 | 11 | 347 | 41 | 20 | 618 |
| 10 | 16 | 150 | 26 | 12 | 358 | 42 | 20 | 638 |
| 11 | 16 | 166 | 27 | 12 | 370 | 43 | 20 | 658 |
| 12 | 15 | 182 | 28 | 14 | 383 | 44 | 19 | 677 |
| 13 | 15 | 197 | 29 | 15 | 397 | 45 | 19 | 696 |
| 14 | 14 | 211 | 30 | 16 | 412 | 46 | 19 | 715 |
| 15 | 14 | 225 | 31 | 17 | 428 | 47 | 19 | 734 |

Tabla 11: Datos madurez Contratista 2(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 48 | 19 | 753 | 100 | 18 | 1694 | 152 | 19 | 2690 |
| 49 | 18 | 771 | 101 | 19 | 1712 | 153 | 19 | 2709 |
| 50 | 18 | 789 | 102 | 19 | 1732 | 154 | 19 | 2728 |
| 51 | 18 | 807 | 103 | 18 | 1750 | 155 | 19 | 2747 |
| 52 | 18 | 825 | 104 | 18 | 1768 | 156 | 19 | 2766 |
| 53 | 18 | 843 | 105 | 18 | 1786 | 157 | 19 | 2785 |
| 54 | 18 | 861 | 106 | 20 | 1806 | 158 | 19 | 2804 |
| 55 | 19 | 879 | 107 | 20 | 1826 | 159 | 19 | 2823 |
| 56 | 19 | 898 | 108 | 20 | 1846 | 160 | 19 | 2842 |
| 57 | 19 | 917 | 109 | 20 | 1866 | 161 | 19 | 2861 |
| 58 | 19 | 936 | 110 | 20 | 1886 | 162 | 19 | 2880 |
| 59 | 19 | 955 | 111 | 20 | 1906 | 163 | 19 | 2899 |
| 60 | 19 | 974 | 112 | 20 | 1926 | 164 | 19 | 2918 |
| 61 | 19 | 993 | 113 | 20 | 1946 | 165 | 19 | 2937 |
| 62 | 19 | 1012 | 114 | 20 | 1966 | 166 | 19 | 2956 |
| 63 | 18 | 1031 | 115 | 20 | 1986 | 167 | 19 | 2975 |
| 64 | 18 | 1049 | 116 | 20 | 2006 | 168 | 19 | 2994 |
| 65 | 18 | 1067 | 117 | 19 | 2025 | 169 | 19 | 3013 |
| 66 | 18 | 1085 | 118 | 19 | 2044 | 170 | 19 | 3032 |
| 67 | 18 | 1103 | 119 | 19 | 2063 | 171 | 19 | 3051 |
| 68 | 18 | 1121 | 120 | 19 | 2082 | 172 | 19 | 3070 |
| 69 | 18 | 1139 | 121 | 19 | 2101 | 173 | 19 | 3089 |
| 70 | 18 | 1157 | 122 | 19 | 2120 | 174 | 19 | 3108 |
| 71 | 18 | 1175 | 123 | 19 | 2139 | 175 | 19 | 3127 |
| 72 | 17 | 1193 | 124 | 19 | 2158 | 176 | 19 | 3146 |
| 73 | 17 | 1210 | 125 | 19 | 2177 | 177 | 19 | 3165 |
| 74 | 17 | 1227 | 126 | 19 | 2196 | 178 | 19 | 3184 |
| 75 | 18 | 1244 | 127 | 19 | 2215 | 179 | 19 | 3203 |
| 76 | 18 | 1262 | 128 | 19 | 2234 | 180 | 19 | 3222 |
| 77 | 18 | 1280 | 129 | 19 | 2253 | 181 | 19 | 3241 |
| 78 | 18 | 1298 | 130 | 19 | 2272 | 182 | 19 | 3260 |
| 79 | 18 | 1316 | 131 | 19 | 2291 | 183 | 19 | 3279 |
| 80 | 18 | 1334 | 132 | 19 | 2310 | 184 | 19 | 3298 |
| 81 | 18 | 1352 | 133 | 19 | 2329 | 185 | 19 | 3317 |
| 82 | 18 | 1370 | 134 | 19 | 2348 | 186 | 19 | 3336 |
| 83 | 18 | 1388 | 135 | 19 | 2367 | 187 | 19 | 3355 |
| 84 | 18 | 1406 | 136 | 19 | 2386 | 188 | 19 | 3374 |
| 85 | 18 | 1424 | 137 | 19 | 2405 | 189 | 19 | 3393 |
| 86 | 18 | 1442 | 138 | 19 | 2424 | 190 | 19 | 3412 |
| 87 | 18 | 1460 | 139 | 19 | 2443 | 191 | 19 | 3431 |
| 88 | 18 | 1478 | 140 | 19 | 2462 | 192 | 19 | 3450 |
| 89 | 18 | 1496 | 141 | 19 | 2481 | 193 | 19 | 3469 |
| 90 | 18 | 1514 | 142 | 19 | 2500 | 194 | 19 | 3488 |
| 91 | 18 | 1532 | 143 | 19 | 2519 | 195 | 18 | 3506 |
| 92 | 18 | 1550 | 144 | 19 | 2538 | 196 | 18 | 3524 |
| 93 | 18 | 1568 | 145 | 19 | 2557 | 197 | 18 | 3542 |
| 94 | 18 | 1586 | 146 | 19 | 2576 | 198 | 16 | 3559 |
| 95 | 18 | 1604 | 147 | 19 | 2595 | 199 | 16 | 3575 |
| 96 | 18 | 1622 | 148 | 19 | 2614 | 200 | 16 | 3591 |
| 97 | 18 | 1640 | 149 | 19 | 2633 | 201 | 16 | 3607 |
| 98 | 18 | 1658 | 150 | 19 | 2652 | 202 | 16 | 3623 |
| 99 | 18 | 1676 | 151 | 19 | 2671 | 203 | 16 | 3639 |

Tabla 11: Datos madurez Contratista 2(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 204 | 17 | 3656 | 256 | 17 | 4540 | 308 | 17 | 5423 |
| 205 | 17 | 3673 | 257 | 17 | 4557 | 309 | 17 | 5440 |
| 206 | 17 | 3690 | 258 | 17 | 4574 | 310 | 17 | 5457 |
| 207 | 17 | 3707 | 259 | 17 | 4591 | 311 | 17 | 5474 |
| 208 | 17 | 3724 | 260 | 17 | 4608 | 312 | 17 | 5491 |
| 209 | 17 | 3741 | 261 | 17 | 4625 | 313 | 17 | 5508 |
| 210 | 17 | 3758 | 262 | 17 | 4642 | 314 | 17 | 5525 |
| 211 | 17 | 3775 | 263 | 17 | 4659 | 315 | 17 | 5542 |
| 212 | 17 | 3792 | 264 | 17 | 4676 | 316 | 17 | 5559 |
| 213 | 17 | 3809 | 265 | 17 | 4693 | 317 | 17 | 5576 |
| 214 | 17 | 3826 | 266 | 17 | 4710 | 318 | 17 | 5593 |
| 215 | 17 | 3843 | 267 | 17 | 4727 | 319 | 17 | 5610 |
| 216 | 17 | 3860 | 268 | 17 | 4744 | 320 | 17 | 5627 |
| 217 | 17 | 3877 | 269 | 17 | 4761 | 321 | 17 | 5644 |
| 218 | 17 | 3894 | 270 | 17 | 4778 | 322 | 17 | 5661 |
| 219 | 17 | 3911 | 271 | 17 | 4795 | 323 | 17 | 5678 |
| 220 | 17 | 3928 | 272 | 17 | 4812 | 324 | 17 | 5695 |
| 221 | 17 | 3945 | 273 | 17 | 4829 | 325 | 17 | 5712 |
| 222 | 17 | 3962 | 274 | 17 | 4846 | 326 | 17 | 5729 |
| 223 | 17 | 3979 | 275 | 17 | 4863 | 327 | 17 | 5746 |
| 224 | 17 | 3996 | 276 | 17 | 4880 | 328 | 17 | 5763 |
| 225 | 17 | 4013 | 277 | 17 | 4897 | 329 | 17 | 5780 |
| 226 | 17 | 4030 | 278 | 17 | 4914 | 330 | 17 | 5797 |
| 227 | 17 | 4047 | 279 | 17 | 4931 | 331 | 17 | 5814 |
| 228 | 17 | 4064 | 280 | 17 | 4948 | 332 | 17 | 5831 |
| 229 | 17 | 4081 | 281 | 17 | 4965 | 333 | 17 | 5848 |
| 230 | 17 | 4098 | 282 | 17 | 4982 | 334 | 17 | 5865 |
| 231 | 17 | 4115 | 283 | 17 | 4999 | 335 | 17 | 5882 |
| 232 | 17 | 4132 | 284 | 17 | 5016 | 336 | 17 | 5899 |
| 233 | 17 | 4149 | 285 | 17 | 5033 | 337 | 17 | 5916 |
| 234 | 17 | 4166 | 286 | 17 | 5050 | 338 | 17 | 5933 |
| 235 | 17 | 4183 | 287 | 17 | 5067 | 339 | 17 | 5950 |
| 236 | 17 | 4200 | 288 | 17 | 5084 | 340 | 17 | 5967 |
| 237 | 17 | 4217 | 289 | 17 | 5101 | 341 | 17 | 5984 |
| 238 | 17 | 4234 | 290 | 17 | 5118 | 342 | 17 | 6001 |
| 239 | 17 | 4251 | 291 | 17 | 5135 | 343 | 17 | 6018 |
| 240 | 17 | 4268 | 292 | 17 | 5152 | 344 | 17 | 6035 |
| 241 | 17 | 4285 | 293 | 17 | 5169 | 345 | 17 | 6052 |
| 242 | 17 | 4302 | 294 | 17 | 5186 | 346 | 17 | 6069 |
| 243 | 17 | 4319 | 295 | 17 | 5202 | 347 | 17 | 6086 |
| 244 | 17 | 4336 | 296 | 17 | 5219 | 348 | 17 | 6103 |
| 245 | 17 | 4353 | 297 | 17 | 5236 | 349 | 17 | 6120 |
| 246 | 17 | 4370 | 298 | 17 | 5253 | 350 | 17 | 6137 |
| 247 | 17 | 4387 | 299 | 17 | 5270 | 351 | 17 | 6154 |
| 248 | 17 | 4404 | 300 | 17 | 5287 | 352 | 17 | 6171 |
| 249 | 17 | 4421 | 301 | 17 | 5304 | 353 | 17 | 6188 |
| 250 | 17 | 4438 | 302 | 17 | 5321 | 354 | 17 | 6205 |
| 251 | 17 | 4455 | 303 | 17 | 5338 | 355 | 17 | 6222 |
| 252 | 17 | 4472 | 304 | 17 | 5355 | 356 | 17 | 6239 |
| 253 | 17 | 4489 | 305 | 17 | 5372 | 357 | 17 | 6256 |
| 254 | 17 | 4506 | 306 | 17 | 5389 | 358 | 17 | 6273 |
| 255 | 17 | 4523 | 307 | 17 | 5406 | 359 | 17 | 6290 |

Tabla 11: Datos madurez Contratista 2(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 360 | 17 | 6307 | 412 | 17 | 7191 | 464 | 17 | 8075 |
| 361 | 17 | 6324 | 413 | 17 | 7208 | 465 | 17 | 8092 |
| 362 | 17 | 6341 | 414 | 17 | 7225 | 466 | 17 | 8109 |
| 363 | 17 | 6358 | 415 | 17 | 7242 | 467 | 17 | 8126 |
| 364 | 17 | 6375 | 416 | 17 | 7259 | 468 | 17 | 8143 |
| 365 | 17 | 6392 | 417 | 17 | 7276 | 469 | 17 | 8160 |
| 366 | 17 | 6409 | 418 | 17 | 7293 | 470 | 17 | 8177 |
| 367 | 17 | 6426 | 419 | 17 | 7310 | 471 | 17 | 8194 |
| 368 | 17 | 6443 | 420 | 17 | 7327 | 472 | 17 | 8211 |
| 369 | 17 | 6460 | 421 | 17 | 7344 | 473 | 17 | 8228 |
| 370 | 17 | 6477 | 422 | 17 | 7361 | 474 | 17 | 8245 |
| 371 | 17 | 6494 | 423 | 17 | 7378 | 475 | 17 | 8262 |
| 372 | 17 | 6511 | 424 | 17 | 7395 | 476 | 17 | 8279 |
| 373 | 17 | 6528 | 425 | 17 | 7412 | 477 | 17 | 8296 |
| 374 | 17 | 6545 | 426 | 17 | 7429 | 478 | 17 | 8313 |
| 375 | 17 | 6562 | 427 | 17 | 7446 | 479 | 17 | 8330 |
| 376 | 17 | 6579 | 428 | 17 | 7463 | 480 | 17 | 8347 |
| 377 | 17 | 6596 | 429 | 17 | 7480 | 481 | 17 | 8364 |
| 378 | 17 | 6613 | 430 | 17 | 7497 | 482 | 17 | 8381 |
| 379 | 17 | 6630 | 431 | 17 | 7514 | 483 | 17 | 8398 |
| 380 | 17 | 6647 | 432 | 17 | 7531 | 484 | 17 | 8415 |
| 381 | 17 | 6664 | 433 | 17 | 7548 | 485 | 17 | 8432 |
| 382 | 17 | 6681 | 434 | 17 | 7565 | 486 | 17 | 8449 |
| 383 | 17 | 6698 | 435 | 17 | 7582 | 487 | 17 | 8466 |
| 384 | 17 | 6715 | 436 | 17 | 7599 | 488 | 17 | 8483 |
| 385 | 17 | 6732 | 437 | 17 | 7616 | 489 | 17 | 8500 |
| 386 | 17 | 6749 | 438 | 17 | 7633 | 490 | 17 | 8517 |
| 387 | 17 | 6766 | 439 | 17 | 7650 | 491 | 17 | 8534 |
| 388 | 17 | 6783 | 440 | 17 | 7667 | 492 | 17 | 8551 |
| 389 | 17 | 6800 | 441 | 17 | 7684 | 493 | 17 | 8568 |
| 390 | 17 | 6817 | 442 | 17 | 7701 | 494 | 17 | 8585 |
| 391 | 17 | 6834 | 443 | 17 | 7718 | 495 | 17 | 8602 |
| 392 | 17 | 6851 | 444 | 17 | 7735 | 496 | 17 | 8619 |
| 393 | 17 | 6868 | 445 | 17 | 7752 | 497 | 17 | 8636 |
| 394 | 17 | 6885 | 446 | 17 | 7769 | 498 | 17 | 8653 |
| 395 | 17 | 6902 | 447 | 17 | 7786 | 499 | 17 | 8670 |
| 396 | 17 | 6919 | 448 | 17 | 7803 | 500 | 17 | 8687 |
| 397 | 17 | 6936 | 449 | 17 | 7820 | 501 | 17 | 8704 |
| 398 | 17 | 6953 | 450 | 17 | 7837 | 502 | 17 | 8721 |
| 399 | 17 | 6970 | 451 | 17 | 7854 | 503 | 17 | 8738 |
| 400 | 17 | 6987 | 452 | 17 | 7871 | 504 | 17 | 8755 |
| 401 | 17 | 7004 | 453 | 17 | 7888 | 505 | 17 | 8772 |
| 402 | 17 | 7021 | 454 | 17 | 7905 | 506 | 17 | 8789 |
| 403 | 17 | 7038 | 455 | 17 | 7922 | 507 | 17 | 8806 |
| 404 | 17 | 7055 | 456 | 17 | 7939 | 508 | 17 | 8823 |
| 405 | 17 | 7072 | 457 | 17 | 7956 | 509 | 17 | 8840 |
| 406 | 17 | 7089 | 458 | 17 | 7973 | 510 | 17 | 8857 |
| 407 | 17 | 7106 | 459 | 17 | 7990 | 511 | 17 | 8874 |
| 408 | 17 | 7123 | 460 | 17 | 8007 | 512 | 17 | 8891 |
| 409 | 17 | 7140 | 461 | 17 | 8024 | 513 | 17 | 8908 |
| 410 | 17 | 7157 | 462 | 17 | 8041 | 514 | 17 | 8925 |
| 411 | 17 | 7174 | 463 | 17 | 8058 | 515 | 17 | 8942 |

Tabla 11: Datos madurez Contratista 2(continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 516 | 17 | 8959 | 568 | 17 | 9842 | 620 | 17 | 10726 |
| 517 | 17 | 8976 | 569 | 17 | 9859 | 621 | 17 | 10743 |
| 518 | 17 | 8993 | 570 | 17 | 9876 | 622 | 17 | 10760 |
| 519 | 17 | 9010 | 571 | 17 | 9893 | 623 | 17 | 10777 |
| 520 | 17 | 9027 | 572 | 17 | 9910 | 624 | 17 | 10794 |
| 521 | 17 | 9044 | 573 | 17 | 9927 | 625 | 17 | 10811 |
| 522 | 17 | 9061 | 574 | 17 | 9944 | 626 | 17 | 10828 |
| 523 | 17 | 9078 | 575 | 17 | 9961 | 627 | 17 | 10845 |
| 524 | 17 | 9095 | 576 | 17 | 9978 | 628 | 17 | 10862 |
| 525 | 17 | 9112 | 577 | 17 | 9995 | 629 | 17 | 10879 |
| 526 | 17 | 9129 | 578 | 17 | 10012 | 630 | 17 | 10896 |
| 527 | 17 | 9146 | 579 | 17 | 10029 | 631 | 17 | 10913 |
| 528 | 17 | 9163 | 580 | 17 | 10046 | 632 | 17 | 10930 |
| 529 | 17 | 9180 | 581 | 17 | 10063 | 633 | 17 | 10947 |
| 530 | 17 | 9197 | 582 | 17 | 10080 | 634 | 17 | 10964 |
| 531 | 17 | 9214 | 583 | 17 | 10097 | 635 | 17 | 10981 |
| 532 | 17 | 9231 | 584 | 17 | 10114 | 636 | 17 | 10998 |
| 533 | 17 | 9248 | 585 | 17 | 10131 | 637 | 17 | 11015 |
| 534 | 17 | 9265 | 586 | 17 | 10148 | 638 | 17 | 11032 |
| 535 | 17 | 9282 | 587 | 17 | 10165 | 639 | 17 | 11049 |
| 536 | 17 | 9298 | 588 | 17 | 10182 | 640 | 17 | 11066 |
| 537 | 17 | 9315 | 589 | 17 | 10199 | 641 | 17 | 11083 |
| 538 | 17 | 9332 | 590 | 17 | 10216 | 642 | 17 | 11100 |
| 539 | 17 | 9349 | 591 | 17 | 10233 | 643 | 17 | 11117 |
| 540 | 17 | 9366 | 592 | 17 | 10250 | 644 | 17 | 11134 |
| 541 | 17 | 9383 | 593 | 17 | 10267 | 645 | 17 | 11151 |
| 542 | 17 | 9400 | 594 | 17 | 10284 | 646 | 17 | 11168 |
| 543 | 17 | 9417 | 595 | 17 | 10301 | 647 | 17 | 11185 |
| 544 | 17 | 9434 | 596 | 17 | 10318 | 648 | 17 | 11202 |
| 545 | 17 | 9451 | 597 | 17 | 10335 | 649 | 17 | 11219 |
| 546 | 17 | 9468 | 598 | 17 | 10352 | 650 | 17 | 11236 |
| 547 | 17 | 9485 | 599 | 17 | 10369 | 651 | 17 | 11253 |
| 548 | 17 | 9502 | 600 | 17 | 10386 | 652 | 17 | 11270 |
| 549 | 17 | 9519 | 601 | 17 | 10403 | 653 | 17 | 11287 |
| 550 | 17 | 9536 | 602 | 17 | 10420 | 654 | 17 | 11304 |
| 551 | 17 | 9553 | 603 | 17 | 10437 | 655 | 17 | 11321 |
| 552 | 17 | 9570 | 604 | 17 | 10454 | 656 | 17 | 11338 |
| 553 | 17 | 9587 | 605 | 17 | 10471 | 657 | 17 | 11355 |
| 554 | 17 | 9604 | 606 | 17 | 10488 | 658 | 17 | 11372 |
| 555 | 17 | 9621 | 607 | 17 | 10505 | 659 | 17 | 11389 |
| 556 | 17 | 9638 | 608 | 17 | 10522 | 660 | 17 | 11406 |
| 557 | 17 | 9655 | 609 | 17 | 10539 | 661 | 17 | 11423 |
| 558 | 17 | 9672 | 610 | 17 | 10556 | 662 | 17 | 11440 |
| 559 | 17 | 9689 | 611 | 17 | 10573 | 663 | 17 | 11457 |
| 560 | 17 | 9706 | 612 | 17 | 10590 | 664 | 17 | 11474 |
| 561 | 17 | 9723 | 613 | 17 | 10607 | 665 | 17 | 11491 |
| 562 | 17 | 9740 | 614 | 17 | 10624 | 666 | 17 | 11508 |
| 563 | 17 | 9757 | 615 | 17 | 10641 | 667 | 17 | 11525 |
| 564 | 17 | 9774 | 616 | 17 | 10658 | 668 | 17 | 11542 |
| 565 | 17 | 9791 | 617 | 17 | 10675 | 669 | 17 | 11559 |
| 566 | 17 | 9808 | 618 | 17 | 10692 | 670 | 17 | 11576 |
| 567 | 17 | 9825 | 619 | 17 | 10709 | 671 | 17 | 11593 |

1.2.2 Datos Resistencia a compresión

Tabla 12: Resultados Compresión Cilindros Contratista 2

| Edad (días) | Edad (h) | Densidad (kg/m ³) | Res. Cil. 15 cm. (Mpa) | Res. Cúb. 20 cm. (MPa) | FlexoTracción (Mpa) |
|-------------|----------|-------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 24 | 2430 | 11,6 | 14,5 | 1,9 |
| 1 | 24 | 2420 | 11,6 | 14,5 | 1,9 |
| 2 | 48 | 2430 | 24,6 | 29,6 | 3,8 |
| 2 | 48 | 2430 | 24,4 | 29,4 | 3,8 |
| 3 | 72 | 2420 | 29,8 | 34,8 | 4,5 |
| 3 | 72 | 2400 | 29,3 | 34,3 | 4,4 |
| 4 | 96 | 2420 | 34,2 | 39,2 | 5,0 |
| 4 | 96 | 2420 | 34,0 | 39,0 | 5,0 |
| 5 | 120 | 2430 | 39,9 | 44,9 | 5,8 |
| 5 | 120 | 2430 | 38,9 | 43,9 | 5,6 |
| 6 | 144 | 2430 | 42,0 | 47,0 | 6,0 |
| 6 | 144 | 2420 | 42,3 | 47,3 | 6,1 |
| 7 | 168 | 2430 | 44,3 | 49,3 | 6,3 |
| 7 | 168 | 2420 | 44,0 | 49,0 | 6,3 |
| 14 | 336 | 2410 | 46,9 | 51,9 | 6,7 |
| 14 | 336 | 2430 | 46,7 | 51,7 | 6,6 |
| 28 | 672 | 2410 | 48,1 | 53,1 | 6,8 |
| 28 | 672 | 2410 | 46,7 | 51,7 | 6,6 |

ANEXO 2

DATOS INSTRUMENTACIONES

2.1 Contratista 1

2.1.1 Datos Madurez

2.1.1.1 Instrumentación 1

Tabla 13: Datos Instrumentación I01 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·xh) |
|----------|--------|-----------|
| 0 | 20 | 0 |
| 1 | 17 | 18 |
| 2 | 18 | 36 |
| 3 | 20 | 54 |
| 4 | 21 | 75 |
| 5 | 22 | 96 |
| 6 | 22 | 118 |
| 7 | 21 | 139 |
| 8 | 21 | 160 |
| 9 | 21 | 181 |
| 10 | 21 | 202 |
| 11 | 21 | 223 |
| 12 | 21 | 244 |
| 13 | 21 | 265 |
| 14 | 22 | 287 |
| 15 | 22 | 309 |
| 16 | 23 | 332 |
| 17 | 23 | 355 |
| 18 | 23 | 378 |
| 19 | 23 | 401 |
| 20 | 23 | 424 |
| 21 | 22 | 446 |
| 22 | 22 | 468 |
| 23 | 22 | 490 |
| 24 | 22 | 512 |
| 25 | 22 | 534 |
| 26 | 23 | 557 |
| 27 | 24 | 581 |
| 28 | 25 | 606 |
| 29 | 25 | 631 |
| 30 | 24 | 655 |
| 31 | 23 | 679 |
| 32 | 23 | 702 |
| 33 | 21 | 724 |
| 34 | 21 | 745 |
| 35 | 20 | 765 |
| 36 | 20 | 785 |
| 37 | 19 | 805 |
| 38 | 19 | 824 |
| 39 | 19 | 843 |
| 40 | 18 | 861 |
| 41 | 18 | 879 |
| 42 | 17 | 897 |
| 43 | 17 | 914 |
| 44 | 17 | 931 |
| 45 | 17 | 948 |
| 46 | 17 | 965 |
| 47 | 16 | 981 |
| 48 | 16 | 997 |
| 49 | 16 | 1013 |
| 50 | 16 | 1029 |
| 51 | 16 | 1045 |
| 52 | 17 | 1061 |
| 53 | 17 | 1078 |
| 54 | 17 | 1095 |
| 55 | 17 | 1112 |
| 56 | 16 | 1129 |
| 57 | 16 | 1145 |
| 58 | 16 | 1161 |
| 59 | 16 | 1177 |
| 60 | 15 | 1192 |
| 61 | 15 | 1207 |
| 62 | 14 | 1222 |
| 63 | 14 | 1236 |
| 64 | 14 | 1250 |
| 65 | 14 | 1264 |
| 66 | 13 | 1277 |
| 67 | 13 | 1290 |
| 68 | 13 | 1303 |
| 69 | 13 | 1316 |
| 70 | 13 | 1329 |
| 71 | 13 | 1342 |
| 72 | 13 | 1355 |
| 73 | 13 | 1368 |
| 74 | 13 | 1381 |
| 75 | 14 | 1395 |
| 76 | 15 | 1410 |
| 77 | 16 | 1425 |
| 78 | 16 | 1441 |
| 79 | 16 | 1457 |
| 80 | 15 | 1473 |
| 81 | 15 | 1488 |
| 82 | 14 | 1502 |
| 83 | 14 | 1516 |
| 84 | 14 | 1530 |
| 85 | 14 | 1544 |
| 86 | 13 | 1557 |
| 87 | 13 | 1570 |
| 88 | 13 | 1583 |
| 89 | 13 | 1596 |
| 90 | 13 | 1609 |
| 91 | 12 | 1622 |
| 92 | 12 | 1634 |
| 93 | 12 | 1646 |
| 94 | 12 | 1658 |
| 95 | 12 | 1670 |
| 96 | 12 | 1682 |
| 97 | 12 | 1694 |
| 98 | 13 | 1706 |
| 99 | 13 | 1719 |
| 100 | 14 | 1733 |
| 101 | 15 | 1748 |
| 102 | 15 | 1763 |
| 103 | 15 | 1778 |
| 104 | 15 | 1793 |
| 105 | 15 | 1808 |
| 106 | 14 | 1822 |
| 107 | 14 | 1836 |

Tabla 13: Datos Instrumentación I01 Contratista 1 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 108 | 14 | 1850 | 160 | 12 | 2543 | 212 | 7 | 3106 |
| 109 | 14 | 1864 | 161 | 12 | 2555 | 213 | 7 | 3113 |
| 110 | 13 | 1877 | 162 | 12 | 2567 | 214 | 7 | 3120 |
| 111 | 13 | 1890 | 163 | 12 | 2579 | 215 | 7 | 3127 |
| 112 | 13 | 1903 | 164 | 11 | 2590 | 216 | 9 | 3135 |
| 113 | 13 | 1916 | 165 | 11 | 2601 | 217 | 10 | 3144 |
| 114 | 12 | 1928 | 166 | 11 | 2612 | 218 | 12 | 3155 |
| 115 | 12 | 1940 | 167 | 11 | 2623 | 219 | 13 | 3168 |
| 116 | 12 | 1952 | 168 | 11 | 2634 | 220 | 14 | 3181 |
| 117 | 12 | 1964 | 169 | 12 | 2646 | 221 | 14 | 3195 |
| 118 | 11 | 1976 | 170 | 12 | 2658 | 222 | 13 | 3208 |
| 119 | 11 | 1987 | 171 | 13 | 2670 | 223 | 12 | 3221 |
| 120 | 12 | 1999 | 172 | 13 | 2683 | 224 | 12 | 3233 |
| 121 | 12 | 2011 | 173 | 13 | 2696 | 225 | 12 | 3245 |
| 122 | 14 | 2024 | 174 | 13 | 2709 | 226 | 11 | 3257 |
| 123 | 15 | 2039 | 175 | 12 | 2722 | 227 | 11 | 3268 |
| 124 | 17 | 2055 | 176 | 12 | 2734 | 228 | 11 | 3279 |
| 125 | 17 | 2072 | 177 | 12 | 2746 | 229 | 10 | 3289 |
| 126 | 17 | 2089 | 178 | 12 | 2758 | 230 | 10 | 3299 |
| 127 | 17 | 2106 | 179 | 12 | 2770 | 231 | 10 | 3309 |
| 128 | 17 | 2123 | 180 | 12 | 2782 | 232 | 10 | 3319 |
| 129 | 16 | 2139 | 181 | 12 | 2794 | 233 | 10 | 3329 |
| 130 | 15 | 2155 | 182 | 11 | 2805 | 234 | 10 | 3339 |
| 131 | 15 | 2170 | 183 | 11 | 2816 | 235 | 9 | 3348 |
| 132 | 15 | 2185 | 184 | 11 | 2827 | 236 | 9 | 3357 |
| 133 | 14 | 2199 | 185 | 11 | 2838 | 237 | 9 | 3366 |
| 134 | 14 | 2213 | 186 | 11 | 2849 | 238 | 9 | 3375 |
| 135 | 14 | 2227 | 187 | 11 | 2860 | 239 | 9 | 3384 |
| 136 | 14 | 2241 | 188 | 11 | 2871 | 240 | 10 | 3394 |
| 137 | 13 | 2254 | 189 | 10 | 2881 | 241 | 10 | 3404 |
| 138 | 13 | 2267 | 190 | 10 | 2891 | 242 | 11 | 3414 |
| 139 | 13 | 2280 | 191 | 10 | 2901 | 243 | 11 | 3425 |
| 140 | 13 | 2293 | 192 | 11 | 2912 | 244 | 12 | 3437 |
| 141 | 13 | 2306 | 193 | 11 | 2923 | 245 | 12 | 3449 |
| 142 | 12 | 2319 | 194 | 11 | 2934 | 246 | 11 | 3461 |
| 143 | 12 | 2331 | 195 | 11 | 2945 | 247 | 11 | 3472 |
| 144 | 12 | 2343 | 196 | 11 | 2956 | 248 | 11 | 3482 |
| 145 | 13 | 2355 | 197 | 11 | 2967 | 249 | 11 | 3493 |
| 146 | 13 | 2368 | 198 | 11 | 2978 | 250 | 11 | 3504 |
| 147 | 13 | 2381 | 199 | 10 | 2989 | 251 | 11 | 3515 |
| 148 | 13 | 2394 | 200 | 10 | 2999 | 252 | 10 | 3526 |
| 149 | 13 | 2407 | 201 | 10 | 3009 | 253 | 10 | 3536 |
| 150 | 13 | 2420 | 202 | 10 | 3019 | 254 | 10 | 3546 |
| 151 | 13 | 2433 | 203 | 10 | 3029 | 255 | 10 | 3556 |
| 152 | 13 | 2446 | 204 | 10 | 3039 | 256 | 9 | 3565 |
| 153 | 12 | 2459 | 205 | 9 | 3048 | 257 | 9 | 3574 |
| 154 | 12 | 2471 | 206 | 9 | 3057 | 258 | 9 | 3583 |
| 155 | 12 | 2483 | 207 | 9 | 3066 | 259 | 8 | 3592 |
| 156 | 12 | 2495 | 208 | 8 | 3074 | 260 | 8 | 3600 |
| 157 | 12 | 2507 | 209 | 8 | 3082 | 261 | 8 | 3608 |
| 158 | 12 | 2519 | 210 | 8 | 3090 | 262 | 8 | 3616 |
| 159 | 12 | 2531 | 211 | 8 | 3098 | 263 | 8 | 3624 |

2.1.1.1 Instrumentación 2

Tabla 14: Datos Instrumentación I02 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 18 | 0 | 49 | 15 | 1009 | 98 | 14 | 1717 |
| 1 | 21 | 23 | 50 | 15 | 1024 | 99 | 14 | 1731 |
| 2 | 21 | 44 | 51 | 15 | 1039 | 100 | 13 | 1744 |
| 3 | 20 | 64 | 52 | 14 | 1053 | 101 | 13 | 1757 |
| 4 | 20 | 84 | 53 | 14 | 1067 | 102 | 12 | 1770 |
| 5 | 20 | 104 | 54 | 14 | 1081 | 103 | 12 | 1782 |
| 6 | 20 | 124 | 55 | 14 | 1095 | 104 | 12 | 1794 |
| 7 | 20 | 144 | 56 | 13 | 1109 | 105 | 12 | 1806 |
| 8 | 20 | 164 | 57 | 13 | 1122 | 106 | 12 | 1818 |
| 9 | 20 | 184 | 58 | 13 | 1135 | 107 | 12 | 1830 |
| 10 | 21 | 205 | 59 | 13 | 1148 | 108 | 12 | 1842 |
| 11 | 21 | 226 | 60 | 14 | 1161 | 109 | 13 | 1855 |
| 12 | 22 | 248 | 61 | 14 | 1175 | 110 | 15 | 1869 |
| 13 | 26 | 272 | 62 | 15 | 1189 | 111 | 17 | 1884 |
| 14 | 26 | 298 | 63 | 16 | 1204 | 112 | 18 | 1902 |
| 15 | 27 | 325 | 64 | 17 | 1221 | 113 | 18 | 1920 |
| 16 | 28 | 353 | 65 | 18 | 1238 | 114 | 18 | 1938 |
| 17 | 28 | 381 | 66 | 18 | 1256 | 115 | 17 | 1955 |
| 18 | 28 | 409 | 67 | 17 | 1273 | 116 | 17 | 1972 |
| 19 | 26 | 436 | 68 | 17 | 1290 | 117 | 16 | 1989 |
| 20 | 26 | 462 | 69 | 16 | 1306 | 118 | 16 | 2005 |
| 21 | 23 | 486 | 70 | 15 | 1322 | 119 | 15 | 2020 |
| 22 | 23 | 509 | 71 | 15 | 1337 | 120 | 15 | 2035 |
| 23 | 22 | 532 | 72 | 15 | 1352 | 121 | 15 | 2050 |
| 24 | 22 | 554 | 73 | 14 | 1366 | 122 | 14 | 2065 |
| 25 | 21 | 575 | 74 | 14 | 1380 | 123 | 14 | 2079 |
| 26 | 21 | 596 | 75 | 14 | 1394 | 124 | 14 | 2093 |
| 27 | 20 | 616 | 76 | 13 | 1408 | 125 | 14 | 2107 |
| 28 | 20 | 636 | 77 | 13 | 1421 | 126 | 14 | 2121 |
| 29 | 20 | 656 | 78 | 13 | 1434 | 127 | 13 | 2134 |
| 30 | 19 | 676 | 79 | 13 | 1447 | 128 | 13 | 2147 |
| 31 | 19 | 695 | 80 | 13 | 1460 | 129 | 13 | 2160 |
| 32 | 18 | 713 | 81 | 12 | 1472 | 130 | 13 | 2173 |
| 33 | 18 | 731 | 82 | 12 | 1484 | 131 | 13 | 2186 |
| 34 | 18 | 749 | 83 | 12 | 1496 | 132 | 13 | 2199 |
| 35 | 18 | 767 | 84 | 13 | 1509 | 133 | 14 | 2213 |
| 36 | 17 | 784 | 85 | 13 | 1522 | 134 | 14 | 2227 |
| 37 | 17 | 801 | 86 | 14 | 1536 | 135 | 14 | 2241 |
| 38 | 18 | 818 | 87 | 15 | 1550 | 136 | 14 | 2255 |
| 39 | 18 | 836 | 88 | 16 | 1566 | 137 | 14 | 2269 |
| 40 | 18 | 854 | 89 | 17 | 1582 | 138 | 14 | 2283 |
| 41 | 18 | 872 | 90 | 16 | 1599 | 139 | 14 | 2297 |
| 42 | 18 | 890 | 91 | 16 | 1615 | 140 | 14 | 2311 |
| 43 | 18 | 908 | 92 | 15 | 1631 | 141 | 13 | 2324 |
| 44 | 17 | 926 | 93 | 15 | 1646 | 142 | 13 | 2337 |
| 45 | 17 | 943 | 94 | 15 | 1661 | 143 | 13 | 2350 |
| 46 | 17 | 960 | 95 | 14 | 1675 | 144 | 13 | 2363 |
| 47 | 16 | 977 | 96 | 14 | 1689 | 145 | 13 | 2376 |
| 48 | 16 | 993 | 97 | 14 | 1703 | 146 | 13 | 2389 |

Tabla 14: Datos Instrumentación I02 Contratista 1 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 147 | 12 | 2401 | 199 | 8 | 2994 | 251 | 8 | 3507 |
| 148 | 12 | 2413 | 200 | 7 | 3001 | 252 | 9 | 3515 |
| 149 | 12 | 2425 | 201 | 7 | 3008 | 253 | 9 | 3524 |
| 150 | 12 | 2437 | 202 | 7 | 3015 | 254 | 11 | 3534 |
| 151 | 12 | 2449 | 203 | 8 | 3023 | 255 | 12 | 3546 |
| 152 | 12 | 2461 | 204 | 9 | 3031 | 256 | 12 | 3558 |
| 153 | 12 | 2473 | 205 | 10 | 3040 | 257 | 13 | 3571 |
| 154 | 12 | 2485 | 206 | 12 | 3051 | 258 | 13 | 3584 |
| 155 | 12 | 2497 | 207 | 12 | 3063 | 259 | 13 | 3597 |
| 156 | 12 | 2509 | 208 | 13 | 3075 | 260 | 12 | 3610 |
| 157 | 13 | 2522 | 209 | 14 | 3089 | 261 | 12 | 3622 |
| 158 | 14 | 2535 | 210 | 13 | 3103 | 262 | 12 | 3634 |
| 159 | 14 | 2549 | 211 | 13 | 3116 | 263 | 11 | 3645 |
| 160 | 14 | 2563 | 212 | 12 | 3128 | 264 | 11 | 3656 |
| 161 | 14 | 2577 | 213 | 11 | 3140 | 265 | 11 | 3667 |
| 162 | 13 | 2590 | 214 | 11 | 3151 | 266 | 10 | 3677 |
| 163 | 13 | 2603 | 215 | 10 | 3161 | 267 | 10 | 3687 |
| 164 | 13 | 2616 | 216 | 10 | 3171 | 268 | 10 | 3697 |
| 165 | 12 | 2628 | 217 | 10 | 3181 | 269 | 10 | 3707 |
| 166 | 12 | 2640 | 218 | 10 | 3191 | 270 | 10 | 3717 |
| 167 | 12 | 2652 | 219 | 9 | 3200 | 271 | 9 | 3727 |
| 168 | 12 | 2664 | 220 | 9 | 3209 | 272 | 9 | 3736 |
| 169 | 12 | 2676 | 221 | 9 | 3218 | 273 | 9 | 3745 |
| 170 | 12 | 2688 | 222 | 9 | 3227 | 274 | 9 | 3754 |
| 171 | 12 | 2700 | 223 | 9 | 3236 | 275 | 10 | 3764 |
| 172 | 11 | 2712 | 224 | 9 | 3245 | 276 | 10 | 3774 |
| 173 | 11 | 2723 | 225 | 9 | 3254 | 277 | 11 | 3784 |
| 174 | 11 | 2734 | 226 | 9 | 3263 | 278 | 12 | 3796 |
| 175 | 11 | 2745 | 227 | 9 | 3272 | 279 | 12 | 3808 |
| 176 | 11 | 2756 | 228 | 10 | 3282 | 280 | 13 | 3820 |
| 177 | 11 | 2767 | 229 | 11 | 3293 | 281 | 14 | 3834 |
| 178 | 11 | 2778 | 230 | 11 | 3304 | 282 | 14 | 3848 |
| 179 | 11 | 2789 | 231 | 12 | 3316 | 283 | 14 | 3862 |
| 180 | 12 | 2801 | 232 | 12 | 3328 | 284 | 13 | 3875 |
| 181 | 12 | 2813 | 233 | 12 | 3340 | 285 | 12 | 3888 |
| 182 | 12 | 2825 | 234 | 11 | 3351 | 286 | 12 | 3900 |
| 183 | 12 | 2837 | 235 | 11 | 3362 | 287 | 12 | 3912 |
| 184 | 11 | 2849 | 236 | 11 | 3373 | 288 | 11 | 3923 |
| 185 | 11 | 2860 | 237 | 11 | 3384 | 289 | 11 | 3934 |
| 186 | 11 | 2871 | 238 | 11 | 3395 | 290 | 10 | 3944 |
| 187 | 11 | 2882 | 239 | 11 | 3406 | 291 | 10 | 3954 |
| 188 | 11 | 2893 | 240 | 10 | 3416 | 292 | 10 | 3964 |
| 189 | 11 | 2904 | 241 | 10 | 3426 | 293 | 9 | 3974 |
| 190 | 10 | 2914 | 242 | 10 | 3436 | 294 | 9 | 3983 |
| 191 | 10 | 2924 | 243 | 9 | 3445 | 295 | 9 | 3992 |
| 192 | 10 | 2934 | 244 | 9 | 3454 | 296 | 8 | 4000 |
| 193 | 9 | 2944 | 245 | 8 | 3462 | 297 | 8 | 4008 |
| 194 | 9 | 2953 | 246 | 8 | 3470 | 298 | 8 | 4016 |
| 195 | 9 | 2962 | 247 | 8 | 3478 | 299 | 8 | 4024 |
| 196 | 8 | 2970 | 248 | 7 | 3486 | 300 | 9 | 4033 |
| 197 | 8 | 2978 | 249 | 7 | 3493 | 301 | 9 | 4042 |
| 198 | 8 | 2986 | 250 | 7 | 3500 | 302 | 11 | 4052 |

2.1.1.1 Instrumentación 3

Tabla 15: Datos Instrumentación I03 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 15 | 0 | 49 | 15 | 904 | 98 | 11 | 1506 |
| 1 | 18 | 17 | 50 | 16 | 919 | 99 | 11 | 1517 |
| 2 | 19 | 35 | 51 | 16 | 935 | 100 | 11 | 1528 |
| 3 | 20 | 55 | 52 | 16 | 951 | 101 | 10 | 1538 |
| 4 | 20 | 75 | 53 | 15 | 966 | 102 | 10 | 1548 |
| 5 | 19 | 94 | 54 | 15 | 981 | 103 | 10 | 1558 |
| 6 | 18 | 113 | 55 | 14 | 996 | 104 | 10 | 1568 |
| 7 | 18 | 131 | 56 | 14 | 1010 | 105 | 9 | 1578 |
| 8 | 17 | 148 | 57 | 14 | 1024 | 106 | 9 | 1587 |
| 9 | 17 | 165 | 58 | 14 | 1038 | 107 | 9 | 1596 |
| 10 | 17 | 182 | 59 | 13 | 1052 | 108 | 8 | 1604 |
| 11 | 18 | 200 | 60 | 13 | 1065 | 109 | 8 | 1612 |
| 12 | 18 | 218 | 61 | 13 | 1078 | 110 | 7 | 1619 |
| 13 | 18 | 236 | 62 | 13 | 1091 | 111 | 7 | 1626 |
| 14 | 18 | 254 | 63 | 13 | 1104 | 112 | 7 | 1633 |
| 15 | 18 | 272 | 64 | 12 | 1116 | 113 | 6 | 1640 |
| 16 | 19 | 290 | 65 | 12 | 1128 | 114 | 6 | 1646 |
| 17 | 19 | 309 | 66 | 12 | 1140 | 115 | 6 | 1652 |
| 18 | 20 | 329 | 67 | 12 | 1152 | 116 | 6 | 1658 |
| 19 | 19 | 349 | 68 | 12 | 1164 | 117 | 6 | 1664 |
| 20 | 19 | 368 | 69 | 12 | 1176 | 118 | 8 | 1671 |
| 21 | 19 | 387 | 70 | 12 | 1188 | 119 | 10 | 1680 |
| 22 | 19 | 406 | 71 | 12 | 1200 | 120 | 10 | 1689 |
| 23 | 19 | 425 | 72 | 13 | 1212 | 121 | 12 | 1700 |
| 24 | 20 | 444 | 73 | 13 | 1225 | 122 | 14 | 1712 |
| 25 | 21 | 464 | 74 | 13 | 1238 | 123 | 15 | 1727 |
| 26 | 23 | 486 | 75 | 13 | 1251 | 124 | 15 | 1742 |
| 27 | 24 | 509 | 76 | 13 | 1264 | 125 | 14 | 1757 |
| 28 | 24 | 533 | 77 | 12 | 1277 | 126 | 12 | 1770 |
| 29 | 24 | 557 | 78 | 12 | 1289 | 127 | 12 | 1782 |
| 30 | 23 | 580 | 79 | 12 | 1301 | 128 | 11 | 1793 |
| 31 | 21 | 602 | 80 | 12 | 1313 | 129 | 10 | 1804 |
| 32 | 20 | 623 | 81 | 12 | 1325 | 130 | 10 | 1814 |
| 33 | 20 | 643 | 82 | 11 | 1336 | 131 | 9 | 1823 |
| 34 | 19 | 662 | 83 | 11 | 1347 | 132 | 9 | 1832 |
| 35 | 18 | 681 | 84 | 11 | 1358 | 133 | 9 | 1841 |
| 36 | 18 | 699 | 85 | 11 | 1369 | 134 | 9 | 1850 |
| 37 | 17 | 716 | 86 | 11 | 1380 | 135 | 9 | 1859 |
| 38 | 17 | 733 | 87 | 11 | 1391 | 136 | 9 | 1868 |
| 39 | 17 | 750 | 88 | 10 | 1402 | 137 | 8 | 1877 |
| 40 | 16 | 767 | 89 | 10 | 1412 | 138 | 8 | 1885 |
| 41 | 16 | 783 | 90 | 10 | 1422 | 139 | 8 | 1893 |
| 42 | 15 | 799 | 91 | 10 | 1432 | 140 | 8 | 1901 |
| 43 | 15 | 814 | 92 | 10 | 1442 | 141 | 8 | 1909 |
| 44 | 15 | 829 | 93 | 10 | 1452 | 142 | 9 | 1918 |
| 45 | 15 | 844 | 94 | 11 | 1462 | 143 | 10 | 1928 |
| 46 | 15 | 859 | 95 | 11 | 1473 | 144 | 11 | 1938 |
| 47 | 15 | 874 | 96 | 11 | 1484 | 145 | 12 | 1950 |
| 48 | 15 | 889 | 97 | 11 | 1495 | 146 | 11 | 1961 |

Tabla 15: Datos Instrumentación I03 Contratista 1 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 147 | 11 | 1972 | 172 | 13 | 2196 | 197 | 16 | 2462 |
| 148 | 11 | 1983 | 173 | 13 | 2209 | 198 | 15 | 2478 |
| 149 | 11 | 1994 | 174 | 12 | 2221 | 199 | 13 | 2492 |
| 150 | 11 | 2005 | 175 | 12 | 2233 | 200 | 12 | 2505 |
| 151 | 11 | 2016 | 176 | 11 | 2244 | 201 | 12 | 2517 |
| 152 | 10 | 2027 | 177 | 10 | 2255 | 202 | 11 | 2528 |
| 153 | 10 | 2037 | 178 | 10 | 2265 | 203 | 11 | 2539 |
| 154 | 10 | 2047 | 179 | 10 | 2275 | 204 | 10 | 2550 |
| 155 | 10 | 2057 | 180 | 10 | 2285 | 205 | 10 | 2560 |
| 156 | 9 | 2066 | 181 | 9 | 2294 | 206 | 9 | 2570 |
| 157 | 9 | 2075 | 182 | 9 | 2303 | 207 | 9 | 2579 |
| 158 | 8 | 2084 | 183 | 9 | 2312 | 208 | 9 | 2588 |
| 159 | 8 | 2092 | 184 | 9 | 2321 | 209 | 8 | 2596 |
| 160 | 7 | 2099 | 185 | 8 | 2330 | 210 | 8 | 2604 |
| 161 | 7 | 2106 | 186 | 8 | 2338 | 211 | 7 | 2612 |
| 162 | 6 | 2113 | 187 | 8 | 2346 | 212 | 7 | 2619 |
| 163 | 6 | 2119 | 188 | 8 | 2354 | 213 | 8 | 2626 |
| 164 | 6 | 2125 | 189 | 9 | 2362 | 214 | 9 | 2634 |
| 165 | 7 | 2131 | 190 | 9 | 2371 | 215 | 10 | 2644 |
| 166 | 7 | 2138 | 191 | 10 | 2381 | 216 | 11 | 2655 |
| 167 | 8 | 2146 | 192 | 11 | 2391 | 217 | 11 | 2666 |
| 168 | 8 | 2154 | 193 | 12 | 2403 | 218 | 12 | 2677 |
| 169 | 9 | 2162 | 194 | 14 | 2416 | 219 | 12 | 2689 |
| 170 | 10 | 2171 | 195 | 15 | 2430 | 220 | 12 | 2701 |
| 171 | 12 | 2183 | 196 | 16 | 2446 | | | |

2.1.1.1 Instrumentación 4

Tabla 16: Datos Instrumentación I04 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 19 | 0 | 17 | 25 | 393 | 34 | 18 | 754 |
| 1 | 19 | 18 | 18 | 25 | 418 | 35 | 18 | 772 |
| 2 | 19 | 37 | 19 | 24 | 442 | 36 | 17 | 789 |
| 3 | 19 | 56 | 20 | 23 | 466 | 37 | 17 | 806 |
| 4 | 20 | 76 | 21 | 23 | 489 | 38 | 17 | 823 |
| 5 | 22 | 97 | 22 | 22 | 512 | 39 | 17 | 840 |
| 6 | 23 | 119 | 23 | 22 | 534 | 40 | 16 | 857 |
| 7 | 23 | 142 | 24 | 21 | 555 | 41 | 16 | 873 |
| 8 | 24 | 165 | 25 | 21 | 576 | 42 | 16 | 889 |
| 9 | 24 | 189 | 26 | 21 | 597 | 43 | 15 | 905 |
| 10 | 24 | 213 | 27 | 20 | 618 | 44 | 15 | 920 |
| 11 | 25 | 238 | 28 | 20 | 638 | 45 | 15 | 935 |
| 12 | 26 | 263 | 29 | 20 | 658 | 46 | 15 | 950 |
| 13 | 26 | 289 | 30 | 20 | 678 | 47 | 14 | 964 |
| 14 | 26 | 315 | 31 | 19 | 698 | 48 | 15 | 979 |
| 15 | 26 | 341 | 32 | 19 | 717 | 49 | 15 | 994 |
| 16 | 26 | 367 | 33 | 19 | 736 | 50 | 16 | 1009 |

Tabla 16: Datos Instrumentación I04 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 51 | 16 | 1025 | 103 | 16 | 1656 | 155 | 14 | 2283 |
| 52 | 16 | 1041 | 104 | 15 | 1671 | 156 | 14 | 2297 |
| 53 | 16 | 1057 | 105 | 14 | 1686 | 157 | 13 | 2310 |
| 54 | 16 | 1073 | 106 | 13 | 1700 | 158 | 13 | 2323 |
| 55 | 16 | 1089 | 107 | 13 | 1713 | 159 | 12 | 2336 |
| 56 | 15 | 1104 | 108 | 12 | 1725 | 160 | 12 | 2348 |
| 57 | 15 | 1119 | 109 | 12 | 1737 | 161 | 12 | 2360 |
| 58 | 14 | 1134 | 110 | 12 | 1749 | 162 | 12 | 2372 |
| 59 | 14 | 1148 | 111 | 12 | 1761 | 163 | 12 | 2384 |
| 60 | 14 | 1162 | 112 | 11 | 1773 | 164 | 11 | 2395 |
| 61 | 13 | 1175 | 113 | 11 | 1783 | 165 | 11 | 2406 |
| 62 | 13 | 1188 | 114 | 11 | 1794 | 166 | 11 | 2417 |
| 63 | 13 | 1201 | 115 | 11 | 1805 | 167 | 11 | 2428 |
| 64 | 13 | 1214 | 116 | 11 | 1816 | 168 | 11 | 2439 |
| 65 | 13 | 1227 | 117 | 10 | 1827 | 169 | 12 | 2451 |
| 66 | 12 | 1240 | 118 | 10 | 1837 | 170 | 12 | 2463 |
| 67 | 12 | 1252 | 119 | 10 | 1847 | 171 | 13 | 2476 |
| 68 | 12 | 1264 | 120 | 11 | 1858 | 172 | 15 | 2490 |
| 69 | 12 | 1276 | 121 | 11 | 1869 | 173 | 16 | 2506 |
| 70 | 12 | 1288 | 122 | 12 | 1881 | 174 | 17 | 2522 |
| 71 | 12 | 1300 | 123 | 13 | 1893 | 175 | 17 | 2539 |
| 72 | 12 | 1312 | 124 | 13 | 1906 | 176 | 16 | 2556 |
| 73 | 12 | 1324 | 125 | 13 | 1919 | 177 | 16 | 2572 |
| 74 | 12 | 1336 | 126 | 13 | 1932 | 178 | 15 | 2587 |
| 75 | 12 | 1348 | 127 | 13 | 1945 | 179 | 14 | 2602 |
| 76 | 12 | 1360 | 128 | 12 | 1958 | 180 | 14 | 2616 |
| 77 | 12 | 1372 | 129 | 12 | 1970 | 181 | 13 | 2629 |
| 78 | 12 | 1384 | 130 | 12 | 1982 | 182 | 12 | 2641 |
| 79 | 12 | 1396 | 131 | 12 | 1994 | 183 | 12 | 2653 |
| 80 | 12 | 1408 | 132 | 12 | 2006 | 184 | 12 | 2665 |
| 81 | 12 | 1420 | 133 | 12 | 2018 | 185 | 11 | 2677 |
| 82 | 12 | 1432 | 134 | 11 | 2029 | 186 | 11 | 2688 |
| 83 | 12 | 1444 | 135 | 11 | 2040 | 187 | 11 | 2699 |
| 84 | 11 | 1455 | 136 | 10 | 2051 | 188 | 10 | 2710 |
| 85 | 11 | 1466 | 137 | 10 | 2061 | 189 | 10 | 2720 |
| 86 | 11 | 1477 | 138 | 10 | 2071 | 190 | 10 | 2730 |
| 87 | 10 | 1487 | 139 | 9 | 2080 | 191 | 9 | 2739 |
| 88 | 10 | 1497 | 140 | 9 | 2089 | 192 | 10 | 2749 |
| 89 | 9 | 1506 | 141 | 8 | 2098 | 193 | 12 | 2760 |
| 90 | 9 | 1515 | 142 | 8 | 2106 | 194 | 13 | 2772 |
| 91 | 9 | 1524 | 143 | 8 | 2114 | 195 | 15 | 2786 |
| 92 | 8 | 1533 | 144 | 9 | 2122 | 196 | 17 | 2802 |
| 93 | 8 | 1541 | 145 | 10 | 2132 | 197 | 18 | 2819 |
| 94 | 8 | 1549 | 146 | 12 | 2143 | 198 | 18 | 2837 |
| 95 | 8 | 1557 | 147 | 13 | 2155 | 199 | 18 | 2855 |
| 96 | 9 | 1565 | 148 | 15 | 2170 | 200 | 17 | 2872 |
| 97 | 10 | 1574 | 149 | 17 | 2186 | 201 | 17 | 2889 |
| 98 | 11 | 1585 | 150 | 17 | 2203 | 202 | 16 | 2906 |
| 99 | 12 | 1597 | 151 | 17 | 2220 | 203 | 15 | 2921 |
| 100 | 14 | 1610 | 152 | 17 | 2237 | 204 | 15 | 2936 |
| 101 | 15 | 1624 | 153 | 16 | 2253 | 205 | 14 | 2950 |
| 102 | 16 | 1640 | 154 | 15 | 2268 | 206 | 13 | 2964 |

Tabla 16: Datos Instrumentación I04 Contratista 1 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 207 | 13 | 2977 |
| 208 | 12 | 2990 |
| 209 | 12 | 3002 |
| 210 | 12 | 3014 |
| 211 | 12 | 3026 |
| 212 | 11 | 3038 |
| 213 | 11 | 3049 |
| 214 | 11 | 3060 |
| 215 | 11 | 3071 |
| 216 | 11 | 3082 |
| 217 | 12 | 3093 |
| 218 | 13 | 3105 |
| 219 | 14 | 3119 |
| 220 | 16 | 3134 |
| 221 | 17 | 3150 |
| 222 | 17 | 3167 |
| 223 | 17 | 3184 |
| 224 | 16 | 3201 |
| 225 | 16 | 3217 |
| 226 | 15 | 3232 |
| 227 | 14 | 3246 |
| 228 | 14 | 3260 |
| 229 | 13 | 3274 |
| 230 | 13 | 3287 |
| 231 | 12 | 3300 |
| 232 | 12 | 3312 |
| 233 | 12 | 3324 |
| 234 | 12 | 3336 |
| 235 | 11 | 3347 |
| 236 | 11 | 3358 |
| 237 | 11 | 3369 |
| 238 | 11 | 3380 |
| 239 | 11 | 3391 |
| 240 | 11 | 3402 |
| 241 | 12 | 3414 |
| 242 | 13 | 3426 |
| 243 | 13 | 3439 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 244 | 13 | 3452 |
| 245 | 13 | 3465 |
| 246 | 13 | 3478 |
| 247 | 13 | 3491 |
| 248 | 13 | 3504 |
| 249 | 12 | 3516 |
| 250 | 12 | 3528 |
| 251 | 12 | 3540 |
| 252 | 12 | 3552 |
| 253 | 12 | 3564 |
| 254 | 12 | 3576 |
| 255 | 12 | 3588 |
| 256 | 12 | 3600 |
| 257 | 11 | 3612 |
| 258 | 11 | 3623 |
| 259 | 11 | 3634 |
| 260 | 10 | 3644 |
| 261 | 10 | 3654 |
| 262 | 9 | 3664 |
| 263 | 9 | 3673 |
| 264 | 10 | 3682 |
| 265 | 11 | 3692 |
| 266 | 12 | 3703 |
| 267 | 12 | 3715 |
| 268 | 13 | 3728 |
| 269 | 13 | 3741 |
| 270 | 14 | 3754 |
| 271 | 14 | 3768 |
| 272 | 13 | 3782 |
| 273 | 13 | 3795 |
| 274 | 12 | 3808 |
| 275 | 12 | 3820 |
| 276 | 12 | 3832 |
| 277 | 11 | 3843 |
| 278 | 11 | 3854 |
| 279 | 10 | 3865 |
| 280 | 10 | 3875 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 281 | 10 | 3885 |
| 282 | 9 | 3894 |
| 283 | 9 | 3903 |
| 284 | 8 | 3912 |
| 285 | 8 | 3920 |
| 286 | 8 | 3928 |
| 287 | 8 | 3936 |
| 288 | 8 | 3944 |
| 289 | 10 | 3953 |
| 290 | 11 | 3963 |
| 291 | 13 | 3975 |
| 292 | 14 | 3989 |
| 293 | 16 | 4004 |
| 294 | 17 | 4020 |
| 295 | 17 | 4037 |
| 296 | 16 | 4054 |
| 297 | 15 | 4069 |
| 298 | 14 | 4084 |
| 299 | 14 | 4098 |
| 300 | 13 | 4111 |
| 301 | 12 | 4124 |
| 302 | 12 | 4136 |
| 303 | 12 | 4148 |
| 304 | 11 | 4160 |
| 305 | 11 | 4171 |
| 306 | 10 | 4182 |
| 307 | 10 | 4192 |
| 308 | 10 | 4202 |
| 309 | 9 | 4211 |
| 310 | 9 | 4220 |
| 311 | 9 | 4229 |
| 312 | 9 | 4238 |
| 313 | 11 | 4248 |
| 314 | 12 | 4260 |
| 315 | 14 | 4273 |
| 316 | 16 | 4289 |

2.1.1.1 Instrumentación 5

Tabla 17: Datos Instrumentación I05 Contratista 1

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 0 | 16 | 0 |
| 1 | 18 | 17 |
| 2 | 18 | 35 |
| 3 | 18 | 53 |
| 4 | 18 | 71 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 5 | 18 | 89 |
| 6 | 19 | 108 |
| 7 | 20 | 127 |
| 8 | 20 | 147 |
| 9 | 21 | 168 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 10 | 22 | 189 |
| 11 | 23 | 212 |
| 12 | 24 | 235 |
| 13 | 25 | 260 |
| 14 | 27 | 286 |

Tabla 17: Datos Instrumentación I05 Contratista 1 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 15 | 27 | 313 | 67 | 11 | 1254 | 119 | 15 | 1898 |
| 16 | 27 | 340 | 68 | 12 | 1265 | 120 | 16 | 1913 |
| 17 | 27 | 367 | 69 | 13 | 1277 | 121 | 16 | 1929 |
| 18 | 27 | 394 | 70 | 14 | 1290 | 122 | 16 | 1945 |
| 19 | 27 | 421 | 71 | 15 | 1305 | 123 | 15 | 1960 |
| 20 | 27 | 448 | 72 | 16 | 1320 | 124 | 15 | 1975 |
| 21 | 27 | 475 | 73 | 16 | 1336 | 125 | 14 | 1990 |
| 22 | 27 | 502 | 74 | 15 | 1352 | 126 | 14 | 2004 |
| 23 | 26 | 529 | 75 | 15 | 1367 | 127 | 14 | 2018 |
| 24 | 26 | 555 | 76 | 14 | 1382 | 128 | 13 | 2032 |
| 25 | 25 | 580 | 77 | 14 | 1396 | 129 | 13 | 2045 |
| 26 | 24 | 605 | 78 | 13 | 1409 | 130 | 13 | 2058 |
| 27 | 23 | 628 | 79 | 13 | 1422 | 131 | 13 | 2071 |
| 28 | 22 | 651 | 80 | 13 | 1435 | 132 | 12 | 2083 |
| 29 | 22 | 673 | 81 | 12 | 1448 | 133 | 12 | 2095 |
| 30 | 21 | 694 | 82 | 12 | 1460 | 134 | 12 | 2107 |
| 31 | 20 | 715 | 83 | 12 | 1472 | 135 | 12 | 2119 |
| 32 | 20 | 735 | 84 | 12 | 1484 | 136 | 12 | 2131 |
| 33 | 20 | 755 | 85 | 12 | 1496 | 137 | 12 | 2143 |
| 34 | 19 | 774 | 86 | 12 | 1508 | 138 | 12 | 2155 |
| 35 | 19 | 793 | 87 | 12 | 1520 | 139 | 12 | 2167 |
| 36 | 18 | 811 | 88 | 12 | 1532 | 140 | 13 | 2180 |
| 37 | 18 | 829 | 89 | 12 | 1544 | 141 | 13 | 2193 |
| 38 | 17 | 846 | 90 | 12 | 1556 | 142 | 15 | 2207 |
| 39 | 17 | 863 | 91 | 12 | 1568 | 143 | 16 | 2222 |
| 40 | 17 | 880 | 92 | 13 | 1580 | 144 | 17 | 2239 |
| 41 | 17 | 897 | 93 | 13 | 1593 | 145 | 17 | 2256 |
| 42 | 17 | 914 | 94 | 13 | 1606 | 146 | 17 | 2273 |
| 43 | 17 | 931 | 95 | 13 | 1619 | 147 | 16 | 2289 |
| 44 | 17 | 948 | 96 | 13 | 1632 | 148 | 16 | 2305 |
| 45 | 16 | 965 | 97 | 13 | 1645 | 149 | 15 | 2320 |
| 46 | 16 | 981 | 98 | 13 | 1658 | 150 | 15 | 2335 |
| 47 | 16 | 997 | 99 | 13 | 1671 | 151 | 14 | 2349 |
| 48 | 15 | 1012 | 100 | 13 | 1684 | 152 | 14 | 2363 |
| 49 | 15 | 1027 | 101 | 12 | 1697 | 153 | 13 | 2377 |
| 50 | 15 | 1042 | 102 | 12 | 1709 | 154 | 13 | 2390 |
| 51 | 15 | 1057 | 103 | 12 | 1721 | 155 | 13 | 2403 |
| 52 | 14 | 1072 | 104 | 12 | 1733 | 156 | 12 | 2415 |
| 53 | 14 | 1086 | 105 | 12 | 1745 | 157 | 12 | 2427 |
| 54 | 14 | 1100 | 106 | 12 | 1757 | 158 | 12 | 2439 |
| 55 | 13 | 1113 | 107 | 11 | 1768 | 159 | 12 | 2451 |
| 56 | 13 | 1126 | 108 | 11 | 1779 | 160 | 11 | 2462 |
| 57 | 13 | 1139 | 109 | 11 | 1790 | 161 | 11 | 2473 |
| 58 | 12 | 1151 | 110 | 10 | 1800 | 162 | 11 | 2484 |
| 59 | 12 | 1163 | 111 | 10 | 1810 | 163 | 11 | 2495 |
| 60 | 12 | 1175 | 112 | 10 | 1820 | 164 | 12 | 2506 |
| 61 | 12 | 1187 | 113 | 10 | 1830 | 165 | 12 | 2518 |
| 62 | 11 | 1199 | 114 | 10 | 1840 | 166 | 14 | 2531 |
| 63 | 11 | 1210 | 115 | 10 | 1850 | 167 | 16 | 2547 |
| 64 | 11 | 1221 | 116 | 10 | 1860 | | | |
| 65 | 11 | 1232 | 117 | 12 | 1871 | | | |
| 66 | 11 | 1243 | 118 | 13 | 1884 | | | |

2.2 Contratista 2

2.2.1 Datos Madurez

2.1.1.1 Instrumentación 1

Tabla 18: Datos Instrumentación C01 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 0 | 15 | 0 |
| 1 | 16 | 15 |
| 2 | 16 | 31 |
| 3 | 18 | 48 |
| 4 | 20 | 67 |
| 5 | 23 | 88 |
| 6 | 25 | 112 |
| 7 | 26 | 137 |
| 8 | 28 | 164 |
| 9 | 29 | 193 |
| 10 | 29 | 222 |
| 11 | 29 | 251 |
| 12 | 28 | 279 |
| 13 | 27 | 306 |
| 14 | 26 | 332 |
| 15 | 25 | 358 |
| 16 | 24 | 383 |
| 17 | 23 | 407 |
| 18 | 23 | 430 |
| 19 | 22 | 453 |
| 20 | 21 | 474 |
| 21 | 20 | 495 |
| 22 | 20 | 515 |
| 23 | 19 | 534 |
| 24 | 19 | 553 |
| 25 | 19 | 572 |
| 26 | 19 | 591 |
| 27 | 20 | 610 |
| 28 | 21 | 630 |
| 29 | 22 | 652 |
| 30 | 23 | 675 |
| 31 | 23 | 698 |
| 32 | 22 | 721 |
| 33 | 21 | 742 |
| 34 | 20 | 763 |
| 35 | 20 | 783 |
| 36 | 19 | 803 |
| 37 | 19 | 822 |
| 38 | 18 | 840 |
| 39 | 17 | 858 |
| 40 | 17 | 875 |
| 41 | 17 | 892 |
| 42 | 17 | 909 |
| 43 | 17 | 926 |
| 44 | 16 | 943 |
| 45 | 16 | 959 |
| 46 | 16 | 975 |
| 47 | 16 | 991 |
| 48 | 16 | 1007 |
| 49 | 16 | 1023 |
| 50 | 17 | 1039 |
| 51 | 18 | 1056 |
| 52 | 20 | 1075 |
| 53 | 20 | 1095 |
| 54 | 20 | 1115 |
| 55 | 20 | 1135 |
| 56 | 19 | 1154 |
| 57 | 18 | 1173 |
| 58 | 18 | 1191 |
| 59 | 17 | 1208 |
| 60 | 17 | 1225 |
| 61 | 17 | 1242 |
| 62 | 17 | 1259 |
| 63 | 17 | 1276 |
| 64 | 16 | 1292 |
| 65 | 16 | 1308 |
| 66 | 16 | 1324 |
| 67 | 16 | 1340 |
| 68 | 15 | 1356 |
| 69 | 15 | 1371 |
| 70 | 15 | 1386 |
| 71 | 15 | 1401 |
| 72 | 15 | 1416 |
| 73 | 15 | 1431 |
| 74 | 16 | 1446 |
| 75 | 16 | 1462 |
| 76 | 17 | 1478 |
| 77 | 17 | 1495 |
| 78 | 17 | 1512 |
| 79 | 17 | 1529 |
| 80 | 17 | 1546 |
| 81 | 16 | 1563 |
| 82 | 16 | 1579 |
| 83 | 16 | 1595 |
| 84 | 15 | 1611 |
| 85 | 15 | 1626 |
| 86 | 15 | 1641 |
| 87 | 14 | 1655 |
| 88 | 14 | 1669 |
| 89 | 14 | 1683 |
| 90 | 14 | 1697 |
| 91 | 13 | 1710 |
| 92 | 13 | 1723 |
| 93 | 13 | 1736 |
| 94 | 13 | 1749 |
| 95 | 13 | 1762 |
| 96 | 13 | 1775 |
| 97 | 14 | 1788 |
| 98 | 14 | 1802 |
| 99 | 15 | 1817 |
| 100 | 17 | 1833 |
| 101 | 18 | 1850 |
| 102 | 19 | 1869 |
| 103 | 19 | 1888 |
| 104 | 18 | 1906 |
| 105 | 17 | 1924 |
| 106 | 17 | 1941 |
| 107 | 16 | 1957 |
| 108 | 16 | 1973 |
| 109 | 15 | 1989 |
| 110 | 15 | 2004 |
| 111 | 15 | 2019 |
| 112 | 14 | 2034 |
| 113 | 14 | 2048 |
| 114 | 14 | 2062 |
| 115 | 14 | 2076 |
| 116 | 14 | 2090 |
| 117 | 13 | 2103 |
| 118 | 13 | 2116 |
| 119 | 13 | 2129 |
| 120 | 13 | 2142 |
| 121 | 14 | 2156 |
| 122 | 14 | 2170 |
| 123 | 15 | 2184 |
| 124 | 16 | 2200 |
| 125 | 17 | 2217 |
| 126 | 18 | 2235 |
| 127 | 17 | 2252 |
| 128 | 17 | 2269 |

Tabla 18: Datos Instrumentación C01 Contratista 2 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 129 | 16 | 2286 | 143 | 12 | 2482 | 157 | 15 | 2706 |
| 130 | 16 | 2302 | 144 | 12 | 2494 | 158 | 15 | 2721 |
| 131 | 16 | 2318 | 145 | 13 | 2506 | 159 | 15 | 2736 |
| 132 | 15 | 2333 | 146 | 14 | 2519 | 160 | 14 | 2751 |
| 133 | 15 | 2348 | 147 | 15 | 2533 | 161 | 14 | 2765 |
| 134 | 15 | 2363 | 148 | 17 | 2550 | 162 | 14 | 2779 |
| 135 | 15 | 2378 | 149 | 19 | 2568 | 163 | 14 | 2793 |
| 136 | 14 | 2392 | 150 | 19 | 2587 | 164 | 13 | 2806 |
| 137 | 14 | 2406 | 151 | 19 | 2606 | 165 | 13 | 2819 |
| 138 | 13 | 2420 | 152 | 18 | 2624 | 166 | 13 | 2832 |
| 139 | 13 | 2433 | 153 | 17 | 2642 | 167 | 13 | 2845 |
| 140 | 13 | 2446 | 154 | 17 | 2659 | 168 | 13 | 2858 |
| 141 | 12 | 2458 | 155 | 16 | 2675 | | | |
| 142 | 12 | 2470 | 156 | 16 | 2691 | | | |

2.1.1.1 Instrumentación 2

Tabla 19: Datos Instrumentación C02 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 16 | 0 | 29 | 24 | 678 | 58 | 17 | 1249 |
| 1 | 15 | 15 | 30 | 25 | 703 | 59 | 17 | 1266 |
| 2 | 15 | 30 | 31 | 25 | 728 | 60 | 17 | 1283 |
| 3 | 16 | 45 | 32 | 24 | 753 | 61 | 16 | 1300 |
| 4 | 17 | 61 | 33 | 24 | 777 | 62 | 16 | 1316 |
| 5 | 20 | 80 | 34 | 23 | 800 | 63 | 16 | 1332 |
| 6 | 22 | 101 | 35 | 22 | 823 | 64 | 15 | 1348 |
| 7 | 24 | 124 | 36 | 22 | 845 | 65 | 15 | 1363 |
| 8 | 27 | 149 | 37 | 21 | 866 | 66 | 15 | 1378 |
| 9 | 29 | 177 | 38 | 21 | 887 | 67 | 15 | 1393 |
| 10 | 29 | 206 | 39 | 20 | 908 | 68 | 14 | 1407 |
| 11 | 29 | 235 | 40 | 20 | 928 | 69 | 14 | 1421 |
| 12 | 29 | 264 | 41 | 20 | 948 | 70 | 14 | 1435 |
| 13 | 28 | 293 | 42 | 19 | 968 | 71 | 14 | 1449 |
| 14 | 27 | 321 | 43 | 19 | 987 | 72 | 14 | 1463 |
| 15 | 27 | 348 | 44 | 19 | 1006 | 73 | 14 | 1477 |
| 16 | 26 | 374 | 45 | 18 | 1024 | 74 | 14 | 1491 |
| 17 | 26 | 400 | 46 | 18 | 1042 | 75 | 14 | 1505 |
| 18 | 25 | 425 | 47 | 18 | 1060 | 76 | 15 | 1520 |
| 19 | 24 | 450 | 48 | 17 | 1077 | 77 | 16 | 1535 |
| 20 | 24 | 474 | 49 | 17 | 1094 | 78 | 17 | 1552 |
| 21 | 23 | 497 | 50 | 17 | 1111 | 79 | 17 | 1569 |
| 22 | 23 | 520 | 51 | 17 | 1128 | 80 | 17 | 1586 |
| 23 | 22 | 543 | 52 | 17 | 1145 | 81 | 17 | 1603 |
| 24 | 22 | 565 | 53 | 17 | 1162 | 82 | 17 | 1620 |
| 25 | 22 | 587 | 54 | 18 | 1179 | 83 | 16 | 1637 |
| 26 | 22 | 609 | 55 | 18 | 1197 | 84 | 16 | 1653 |
| 27 | 23 | 631 | 56 | 18 | 1215 | 85 | 16 | 1669 |
| 28 | 23 | 654 | 57 | 17 | 1232 | 86 | 15 | 1684 |

Tabla 19: Datos Instrumentación C02 Contratista 2 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 87 | 15 | 1699 | 107 | 14 | 1985 | 127 | 15 | 2246 |
| 88 | 15 | 1714 | 108 | 14 | 1999 | 128 | 15 | 2261 |
| 89 | 15 | 1729 | 109 | 14 | 2013 | 129 | 15 | 2276 |
| 90 | 14 | 1744 | 110 | 14 | 2027 | 130 | 15 | 2291 |
| 91 | 14 | 1758 | 111 | 14 | 2041 | 131 | 15 | 2306 |
| 92 | 14 | 1772 | 112 | 13 | 2054 | 132 | 15 | 2321 |
| 93 | 14 | 1786 | 113 | 13 | 2067 | 133 | 14 | 2335 |
| 94 | 14 | 1800 | 114 | 13 | 2080 | 134 | 14 | 2349 |
| 95 | 13 | 1813 | 115 | 13 | 2093 | 135 | 14 | 2363 |
| 96 | 13 | 1826 | 116 | 12 | 2106 | 136 | 14 | 2377 |
| 97 | 13 | 1839 | 117 | 12 | 2118 | 137 | 14 | 2391 |
| 98 | 14 | 1852 | 118 | 12 | 2130 | 138 | 13 | 2404 |
| 99 | 14 | 1866 | 119 | 12 | 2142 | 139 | 13 | 2417 |
| 100 | 14 | 1880 | 120 | 12 | 2154 | 140 | 13 | 2430 |
| 101 | 15 | 1895 | 121 | 12 | 2166 | 141 | 13 | 2443 |
| 102 | 15 | 1910 | 122 | 12 | 2178 | 142 | 13 | 2456 |
| 103 | 15 | 1925 | 123 | 12 | 2190 | 143 | 13 | 2469 |
| 104 | 15 | 1940 | 124 | 13 | 2203 | 144 | 13 | 2482 |
| 105 | 15 | 1955 | 125 | 14 | 2216 | 145 | 13 | 2495 |
| 106 | 15 | 1970 | 126 | 15 | 2231 | | | |

2.1.1.1 Instrumentación 3

Tabla 20: Datos Instrumentación C03 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 17 | 0 | 23 | 21 | 489 | 46 | 17 | 926 |
| 1 | 17 | 16 | 24 | 21 | 510 | 47 | 17 | 943 |
| 2 | 17 | 33 | 25 | 21 | 531 | 48 | 17 | 960 |
| 3 | 17 | 50 | 26 | 20 | 552 | 49 | 17 | 977 |
| 4 | 17 | 67 | 27 | 20 | 572 | 50 | 17 | 994 |
| 5 | 17 | 84 | 28 | 20 | 592 | 51 | 17 | 1011 |
| 6 | 18 | 102 | 29 | 20 | 612 | 52 | 17 | 1028 |
| 7 | 20 | 121 | 30 | 20 | 632 | 53 | 17 | 1045 |
| 8 | 20 | 141 | 31 | 20 | 652 | 54 | 17 | 1062 |
| 9 | 21 | 162 | 32 | 20 | 672 | 55 | 18 | 1080 |
| 10 | 23 | 184 | 33 | 20 | 692 | 56 | 18 | 1098 |
| 11 | 24 | 207 | 34 | 20 | 712 | 57 | 17 | 1115 |
| 12 | 25 | 231 | 35 | 19 | 731 | 58 | 17 | 1132 |
| 13 | 25 | 256 | 36 | 19 | 750 | 59 | 17 | 1149 |
| 14 | 25 | 281 | 37 | 19 | 769 | 60 | 17 | 1166 |
| 15 | 24 | 306 | 38 | 18 | 788 | 61 | 17 | 1183 |
| 16 | 24 | 330 | 39 | 18 | 806 | 62 | 17 | 1200 |
| 17 | 23 | 354 | 40 | 18 | 824 | 63 | 17 | 1217 |
| 18 | 23 | 377 | 41 | 18 | 842 | 64 | 16 | 1234 |
| 19 | 23 | 400 | 42 | 17 | 859 | 65 | 16 | 1250 |
| 20 | 23 | 423 | 43 | 17 | 876 | 66 | 16 | 1266 |
| 21 | 22 | 445 | 44 | 17 | 892 | 67 | 16 | 1282 |
| 22 | 22 | 467 | 45 | 17 | 909 | 68 | 16 | 1298 |

Tabla 20: Datos Instrumentación C03 Contratista 2 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 69 | 16 | 1314 | 87 | 16 | 1599 | 105 | 17 | 1883 |
| 70 | 16 | 1330 | 88 | 15 | 1615 | 106 | 17 | 1900 |
| 71 | 15 | 1345 | 89 | 15 | 1630 | 107 | 17 | 1917 |
| 72 | 15 | 1360 | 90 | 15 | 1645 | 108 | 17 | 1934 |
| 73 | 16 | 1376 | 91 | 15 | 1660 | 109 | 17 | 1951 |
| 74 | 16 | 1392 | 92 | 15 | 1675 | 110 | 17 | 1968 |
| 75 | 16 | 1408 | 93 | 14 | 1689 | 111 | 17 | 1985 |
| 76 | 16 | 1424 | 94 | 14 | 1703 | 112 | 16 | 2002 |
| 77 | 16 | 1439 | 95 | 14 | 1717 | 113 | 16 | 2018 |
| 78 | 16 | 1455 | 96 | 15 | 1731 | 114 | 16 | 2034 |
| 79 | 16 | 1471 | 97 | 15 | 1746 | 115 | 16 | 2050 |
| 80 | 16 | 1487 | 98 | 16 | 1762 | 116 | 16 | 2066 |
| 81 | 16 | 1503 | 99 | 17 | 1779 | 117 | 15 | 2081 |
| 82 | 16 | 1519 | 100 | 17 | 1796 | 118 | 15 | 2096 |
| 83 | 16 | 1535 | 101 | 17 | 1813 | 119 | 15 | 2111 |
| 84 | 16 | 1551 | 102 | 17 | 1830 | 120 | 15 | 2126 |
| 85 | 16 | 1567 | 103 | 18 | 1848 | | | |
| 86 | 16 | 1583 | 104 | 18 | 1866 | | | |

2.1.1.1 Instrumentación 4

Tabla 21: Datos Instrumentación C04 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 18 | 0 | 25 | 24 | 589 | 50 | 20 | 1185 |
| 1 | 16 | 16 | 26 | 24 | 613 | 51 | 20 | 1205 |
| 2 | 16 | 32 | 27 | 25 | 638 | 52 | 20 | 1225 |
| 3 | 16 | 48 | 28 | 26 | 664 | 53 | 20 | 1245 |
| 4 | 17 | 64 | 29 | 27 | 690 | 54 | 20 | 1265 |
| 5 | 18 | 81 | 30 | 28 | 718 | 55 | 20 | 1285 |
| 6 | 20 | 100 | 31 | 28 | 746 | 56 | 19 | 1304 |
| 7 | 21 | 120 | 32 | 28 | 774 | 57 | 19 | 1323 |
| 8 | 22 | 142 | 33 | 27 | 801 | 58 | 19 | 1342 |
| 9 | 23 | 165 | 34 | 26 | 828 | 59 | 18 | 1360 |
| 10 | 24 | 188 | 35 | 26 | 854 | 60 | 18 | 1378 |
| 11 | 26 | 213 | 36 | 25 | 880 | 61 | 18 | 1396 |
| 12 | 27 | 240 | 37 | 24 | 904 | 62 | 17 | 1414 |
| 13 | 28 | 267 | 38 | 24 | 928 | 63 | 17 | 1431 |
| 14 | 29 | 296 | 39 | 23 | 952 | 64 | 17 | 1448 |
| 15 | 29 | 325 | 40 | 23 | 975 | 65 | 17 | 1465 |
| 16 | 29 | 354 | 41 | 23 | 998 | 66 | 17 | 1482 |
| 17 | 29 | 383 | 42 | 22 | 1020 | 67 | 16 | 1499 |
| 18 | 28 | 411 | 43 | 22 | 1042 | 68 | 16 | 1515 |
| 19 | 27 | 439 | 44 | 21 | 1063 | 69 | 16 | 1531 |
| 20 | 26 | 465 | 45 | 21 | 1084 | 70 | 15 | 1547 |
| 21 | 26 | 491 | 46 | 20 | 1105 | 71 | 15 | 1562 |
| 22 | 25 | 517 | 47 | 20 | 1125 | 72 | 15 | 1577 |
| 23 | 24 | 541 | 48 | 20 | 1145 | 73 | 15 | 1592 |
| 24 | 24 | 565 | 49 | 20 | 1165 | 74 | 16 | 1607 |

Tabla 21: Datos Instrumentación C04 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 75 | 17 | 1624 | 125 | 16 | 2280 | 175 | 19 | 2940 |
| 76 | 17 | 1641 | 126 | 17 | 2296 | 176 | 18 | 2959 |
| 77 | 17 | 1658 | 127 | 17 | 2313 | 177 | 18 | 2977 |
| 78 | 17 | 1675 | 128 | 17 | 2330 | 178 | 17 | 2994 |
| 79 | 17 | 1692 | 129 | 16 | 2347 | 179 | 17 | 3011 |
| 80 | 17 | 1709 | 130 | 15 | 2363 | 180 | 16 | 3027 |
| 81 | 16 | 1726 | 131 | 15 | 2378 | 181 | 15 | 3043 |
| 82 | 16 | 1742 | 132 | 14 | 2392 | 182 | 15 | 3058 |
| 83 | 16 | 1758 | 133 | 14 | 2406 | 183 | 15 | 3073 |
| 84 | 15 | 1773 | 134 | 13 | 2420 | 184 | 14 | 3087 |
| 85 | 15 | 1788 | 135 | 13 | 2433 | 185 | 14 | 3101 |
| 86 | 15 | 1803 | 136 | 13 | 2446 | 186 | 13 | 3114 |
| 87 | 14 | 1818 | 137 | 12 | 2458 | 187 | 13 | 3127 |
| 88 | 14 | 1832 | 138 | 12 | 2470 | 188 | 13 | 3140 |
| 89 | 14 | 1846 | 139 | 12 | 2482 | 189 | 13 | 3153 |
| 90 | 14 | 1860 | 140 | 12 | 2494 | 190 | 12 | 3166 |
| 91 | 14 | 1874 | 141 | 12 | 2506 | 191 | 12 | 3178 |
| 92 | 13 | 1887 | 142 | 12 | 2518 | 192 | 12 | 3190 |
| 93 | 13 | 1900 | 143 | 12 | 2530 | 193 | 13 | 3202 |
| 94 | 13 | 1913 | 144 | 12 | 2542 | 194 | 13 | 3215 |
| 95 | 13 | 1926 | 145 | 12 | 2554 | 195 | 14 | 3229 |
| 96 | 13 | 1939 | 146 | 13 | 2566 | 196 | 15 | 3244 |
| 97 | 13 | 1952 | 147 | 14 | 2579 | 197 | 17 | 3260 |
| 98 | 14 | 1965 | 148 | 14 | 2593 | 198 | 18 | 3277 |
| 99 | 14 | 1979 | 149 | 14 | 2607 | 199 | 18 | 3295 |
| 100 | 14 | 1993 | 150 | 14 | 2621 | 200 | 18 | 3313 |
| 101 | 13 | 2007 | 151 | 14 | 2635 | 201 | 17 | 3330 |
| 102 | 13 | 2020 | 152 | 14 | 2649 | 202 | 17 | 3347 |
| 103 | 13 | 2033 | 153 | 14 | 2663 | 203 | 16 | 3363 |
| 104 | 13 | 2046 | 154 | 14 | 2677 | 204 | 15 | 3379 |
| 105 | 13 | 2059 | 155 | 13 | 2690 | 205 | 15 | 3394 |
| 106 | 12 | 2071 | 156 | 13 | 2703 | 206 | 14 | 3409 |
| 107 | 12 | 2083 | 157 | 13 | 2716 | 207 | 14 | 3423 |
| 108 | 12 | 2095 | 158 | 12 | 2729 | 208 | 13 | 3436 |
| 109 | 12 | 2107 | 159 | 12 | 2741 | 209 | 13 | 3449 |
| 110 | 12 | 2119 | 160 | 12 | 2753 | 210 | 12 | 3462 |
| 111 | 11 | 2130 | 161 | 12 | 2765 | 211 | 12 | 3474 |
| 112 | 11 | 2141 | 162 | 11 | 2777 | 212 | 12 | 3486 |
| 113 | 10 | 2152 | 163 | 11 | 2788 | 213 | 11 | 3498 |
| 114 | 10 | 2162 | 164 | 10 | 2798 | 214 | 11 | 3509 |
| 115 | 10 | 2172 | 165 | 10 | 2808 | 215 | 11 | 3520 |
| 116 | 10 | 2182 | 166 | 10 | 2818 | 216 | 11 | 3531 |
| 117 | 9 | 2191 | 167 | 9 | 2828 | 217 | 12 | 3542 |
| 118 | 9 | 2200 | 168 | 10 | 2837 | 218 | 13 | 3555 |
| 119 | 9 | 2209 | 169 | 11 | 2847 | 219 | 15 | 3569 |
| 120 | 9 | 2218 | 170 | 12 | 2859 | 220 | 17 | 3586 |
| 121 | 10 | 2228 | 171 | 14 | 2872 | 221 | 19 | 3603 |
| 122 | 12 | 2239 | 172 | 16 | 2887 | 222 | 20 | 3623 |
| 123 | 13 | 2251 | 173 | 17 | 2903 | 223 | 20 | 3643 |
| 124 | 15 | 2265 | 174 | 18 | 2921 | 224 | 20 | 3663 |

2.1.1.1 Instrumentación 5

Tabla 22: Datos Instrumentación C05 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·xh) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·xh) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·xh) |
|----------|--------|-----------|----------|--------|-----------|----------|--------|-----------|
| 0 | 25 | 0 | 49 | 18 | 1168 | 98 | 14 | 1820 |
| 1 | 19 | 19 | 50 | 18 | 1186 | 99 | 15 | 1835 |
| 2 | 20 | 38 | 51 | 18 | 1204 | 100 | 16 | 1851 |
| 3 | 21 | 59 | 52 | 18 | 1222 | 101 | 17 | 1868 |
| 4 | 24 | 81 | 53 | 17 | 1240 | 102 | 17 | 1885 |
| 5 | 27 | 107 | 54 | 17 | 1257 | 103 | 16 | 1901 |
| 6 | 29 | 135 | 55 | 17 | 1274 | 104 | 15 | 1917 |
| 7 | 32 | 166 | 56 | 16 | 1290 | 105 | 15 | 1932 |
| 8 | 33 | 198 | 57 | 16 | 1306 | 106 | 14 | 1946 |
| 9 | 34 | 231 | 58 | 16 | 1322 | 107 | 13 | 1959 |
| 10 | 34 | 265 | 59 | 15 | 1338 | 108 | 13 | 1972 |
| 11 | 33 | 298 | 60 | 15 | 1353 | 109 | 12 | 1985 |
| 12 | 32 | 331 | 61 | 15 | 1368 | 110 | 12 | 1997 |
| 13 | 32 | 363 | 62 | 15 | 1383 | 111 | 12 | 2009 |
| 14 | 31 | 394 | 63 | 14 | 1397 | 112 | 12 | 2021 |
| 15 | 30 | 424 | 64 | 14 | 1411 | 113 | 12 | 2033 |
| 16 | 29 | 453 | 65 | 14 | 1425 | 114 | 12 | 2045 |
| 17 | 29 | 482 | 66 | 14 | 1439 | 115 | 12 | 2057 |
| 18 | 28 | 510 | 67 | 14 | 1453 | 116 | 12 | 2069 |
| 19 | 27 | 538 | 68 | 13 | 1467 | 117 | 11 | 2081 |
| 20 | 26 | 564 | 69 | 13 | 1480 | 118 | 12 | 2092 |
| 21 | 26 | 590 | 70 | 13 | 1493 | 119 | 12 | 2104 |
| 22 | 25 | 616 | 71 | 14 | 1506 | 120 | 12 | 2116 |
| 23 | 25 | 641 | 72 | 14 | 1520 | 121 | 13 | 2129 |
| 24 | 25 | 666 | 73 | 14 | 1534 | 122 | 14 | 2143 |
| 25 | 24 | 690 | 74 | 14 | 1548 | 123 | 14 | 2157 |
| 26 | 24 | 714 | 75 | 14 | 1562 | 124 | 14 | 2171 |
| 27 | 24 | 738 | 76 | 13 | 1576 | 125 | 14 | 2185 |
| 28 | 23 | 761 | 77 | 13 | 1589 | 126 | 14 | 2199 |
| 29 | 23 | 784 | 78 | 13 | 1602 | 127 | 13 | 2212 |
| 30 | 23 | 807 | 79 | 13 | 1615 | 128 | 13 | 2225 |
| 31 | 22 | 829 | 80 | 13 | 1628 | 129 | 13 | 2238 |
| 32 | 22 | 851 | 81 | 12 | 1640 | 130 | 13 | 2251 |
| 33 | 21 | 873 | 82 | 12 | 1652 | 131 | 12 | 2263 |
| 34 | 21 | 894 | 83 | 12 | 1664 | 132 | 12 | 2275 |
| 35 | 20 | 914 | 84 | 12 | 1676 | 133 | 12 | 2287 |
| 36 | 20 | 934 | 85 | 11 | 1688 | 134 | 12 | 2299 |
| 37 | 20 | 954 | 86 | 11 | 1699 | 135 | 11 | 2310 |
| 38 | 20 | 974 | 87 | 11 | 1710 | 136 | 11 | 2321 |
| 39 | 19 | 993 | 88 | 10 | 1720 | 137 | 10 | 2332 |
| 40 | 19 | 1012 | 89 | 10 | 1730 | 138 | 10 | 2342 |
| 41 | 18 | 1030 | 90 | 10 | 1740 | 139 | 10 | 2352 |
| 42 | 18 | 1048 | 91 | 9 | 1750 | 140 | 9 | 2362 |
| 43 | 17 | 1066 | 92 | 9 | 1759 | 141 | 9 | 2371 |
| 44 | 17 | 1083 | 93 | 9 | 1768 | 142 | 9 | 2380 |
| 45 | 17 | 1100 | 94 | 9 | 1777 | 143 | 10 | 2389 |
| 46 | 17 | 1117 | 95 | 9 | 1786 | 144 | 11 | 2399 |
| 47 | 17 | 1134 | 96 | 11 | 1796 | 145 | 12 | 2410 |
| 48 | 17 | 1151 | 97 | 12 | 1808 | 146 | 14 | 2424 |

Tabla 22: Datos Instrumentación C05 Contratista 2 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 147 | 16 | 2439 | 164 | 12 | 2686 | 181 | 13 | 2935 |
| 148 | 17 | 2456 | 165 | 12 | 2698 | 182 | 13 | 2948 |
| 149 | 18 | 2473 | 166 | 12 | 2710 | 183 | 12 | 2961 |
| 150 | 17 | 2491 | 167 | 12 | 2722 | 184 | 12 | 2973 |
| 151 | 17 | 2508 | 168 | 12 | 2734 | 185 | 12 | 2985 |
| 152 | 16 | 2525 | 169 | 13 | 2747 | 186 | 11 | 2996 |
| 153 | 16 | 2541 | 170 | 15 | 2761 | 187 | 11 | 3007 |
| 154 | 15 | 2557 | 171 | 16 | 2776 | 188 | 11 | 3018 |
| 155 | 14 | 2571 | 172 | 17 | 2793 | 189 | 11 | 3029 |
| 156 | 14 | 2585 | 173 | 18 | 2810 | 190 | 11 | 3040 |
| 157 | 13 | 2599 | 174 | 17 | 2828 | 191 | 11 | 3051 |
| 158 | 13 | 2612 | 175 | 17 | 2845 | 192 | 12 | 3062 |
| 159 | 13 | 2625 | 176 | 16 | 2862 | 193 | 14 | 3074 |
| 160 | 12 | 2638 | 177 | 16 | 2878 | 194 | 16 | 3089 |
| 161 | 12 | 2650 | 178 | 15 | 2893 | 195 | 17 | 3106 |
| 162 | 12 | 2662 | 179 | 14 | 2908 | 196 | 18 | 3123 |
| 163 | 12 | 2674 | 180 | 14 | 2922 | 197 | 19 | 3142 |

2.1.1.1 Instrumentación 6

Tabla 23: Datos Instrumentación C06 Contratista 2

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) | Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 0 | 16 | 0 | 25 | 20 | 536 | 50 | 16 | 982 |
| 1 | 17 | 17 | 26 | 21 | 557 | 51 | 15 | 998 |
| 2 | 17 | 34 | 27 | 22 | 578 | 52 | 15 | 1013 |
| 3 | 17 | 51 | 28 | 22 | 600 | 53 | 15 | 1028 |
| 4 | 17 | 68 | 29 | 21 | 621 | 54 | 14 | 1043 |
| 5 | 18 | 85 | 30 | 21 | 642 | 55 | 14 | 1057 |
| 6 | 19 | 104 | 31 | 20 | 663 | 56 | 14 | 1071 |
| 7 | 20 | 123 | 32 | 20 | 683 | 57 | 14 | 1085 |
| 8 | 20 | 143 | 33 | 19 | 703 | 58 | 13 | 1099 |
| 9 | 22 | 164 | 34 | 19 | 722 | 59 | 13 | 1112 |
| 10 | 23 | 187 | 35 | 18 | 740 | 60 | 13 | 1125 |
| 11 | 25 | 210 | 36 | 18 | 758 | 61 | 12 | 1138 |
| 12 | 26 | 235 | 37 | 17 | 775 | 62 | 12 | 1150 |
| 13 | 26 | 261 | 38 | 17 | 792 | 63 | 12 | 1162 |
| 14 | 26 | 287 | 39 | 17 | 809 | 64 | 12 | 1174 |
| 15 | 26 | 313 | 40 | 17 | 826 | 65 | 11 | 1185 |
| 16 | 25 | 339 | 41 | 16 | 843 | 66 | 11 | 1196 |
| 17 | 24 | 363 | 42 | 16 | 859 | 67 | 11 | 1207 |
| 18 | 23 | 387 | 43 | 16 | 875 | 68 | 10 | 1217 |
| 19 | 23 | 410 | 44 | 16 | 891 | 69 | 10 | 1227 |
| 20 | 22 | 433 | 45 | 15 | 906 | 70 | 10 | 1237 |
| 21 | 21 | 455 | 46 | 15 | 921 | 71 | 10 | 1247 |
| 22 | 21 | 476 | 47 | 15 | 936 | 72 | 11 | 1257 |
| 23 | 20 | 496 | 48 | 15 | 951 | 73 | 12 | 1268 |
| 24 | 20 | 516 | 49 | 16 | 966 | 74 | 14 | 1282 |

Tabla 23: Datos Instrumentación C06 Contratista 2 (continuación)

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 75 | 17 | 1297 |
| 76 | 18 | 1314 |
| 77 | 19 | 1333 |
| 78 | 20 | 1353 |
| 79 | 20 | 1373 |
| 80 | 19 | 1393 |
| 81 | 18 | 1411 |
| 82 | 17 | 1429 |
| 83 | 17 | 1446 |
| 84 | 16 | 1462 |
| 85 | 15 | 1477 |
| 86 | 15 | 1492 |
| 87 | 14 | 1506 |
| 88 | 14 | 1520 |
| 89 | 14 | 1534 |
| 90 | 13 | 1548 |
| 91 | 13 | 1561 |
| 92 | 13 | 1574 |
| 93 | 13 | 1587 |
| 94 | 12 | 1600 |
| 95 | 12 | 1612 |
| 96 | 13 | 1625 |
| 97 | 14 | 1638 |
| 98 | 15 | 1653 |
| 99 | 16 | 1668 |
| 100 | 16 | 1684 |
| 101 | 16 | 1700 |
| 102 | 16 | 1716 |
| 103 | 15 | 1732 |
| 104 | 15 | 1747 |
| 105 | 15 | 1762 |
| 106 | 14 | 1776 |
| 107 | 14 | 1790 |
| 108 | 14 | 1804 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 109 | 13 | 1817 |
| 110 | 13 | 1830 |
| 111 | 13 | 1843 |
| 112 | 12 | 1856 |
| 113 | 12 | 1868 |
| 114 | 11 | 1879 |
| 115 | 11 | 1890 |
| 116 | 11 | 1901 |
| 117 | 10 | 1912 |
| 118 | 10 | 1922 |
| 119 | 10 | 1932 |
| 120 | 11 | 1942 |
| 121 | 13 | 1954 |
| 122 | 15 | 1968 |
| 123 | 17 | 1984 |
| 124 | 19 | 2003 |
| 125 | 20 | 2022 |
| 126 | 21 | 2043 |
| 127 | 21 | 2064 |
| 128 | 20 | 2084 |
| 129 | 19 | 2104 |
| 130 | 18 | 2123 |
| 131 | 17 | 2140 |
| 132 | 17 | 2157 |
| 133 | 16 | 2174 |
| 134 | 16 | 2190 |
| 135 | 15 | 2205 |
| 136 | 15 | 2220 |
| 137 | 14 | 2234 |
| 138 | 14 | 2248 |
| 139 | 13 | 2261 |
| 140 | 13 | 2274 |
| 141 | 13 | 2287 |
| 142 | 13 | 2300 |

| Edad (h) | T (°C) | M (°C·h) |
|----------|--------|----------|
| 143 | 13 | 2313 |
| 144 | 13 | 2326 |
| 145 | 14 | 2340 |
| 146 | 15 | 2354 |
| 147 | 16 | 2369 |
| 148 | 17 | 2386 |
| 149 | 19 | 2404 |
| 150 | 20 | 2423 |
| 151 | 20 | 2443 |
| 152 | 19 | 2463 |
| 153 | 18 | 2482 |
| 154 | 17 | 2500 |
| 155 | 17 | 2517 |
| 156 | 16 | 2533 |
| 157 | 15 | 2548 |
| 158 | 14 | 2563 |
| 159 | 14 | 2577 |
| 160 | 13 | 2590 |
| 161 | 13 | 2603 |
| 162 | 12 | 2616 |
| 163 | 12 | 2628 |
| 164 | 12 | 2640 |
| 165 | 11 | 2651 |
| 166 | 11 | 2662 |
| 167 | 11 | 2673 |
| 168 | 12 | 2685 |
| 169 | 14 | 2698 |
| 170 | 16 | 2712 |
| 171 | 18 | 2730 |
| 172 | 20 | 2749 |
| 173 | 21 | 2769 |
| 174 | 22 | 2791 |
| 175 | 22 | 2812 |