

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

“DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN AISLANTE TÉRMICO UTILIZANDO
CASCARILLA DE ARROZ Y AGLUTINANTES NATURALES, EN PLANCHAS
RÍGIDAS”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIEROS MECÁNICOS

FELIPE SANTIAGO CALERO QUEZADA
LUIS ALBERTO VÁSCONEZ PEÑAHERRERA

DIRECTOR: ING. FRANCISCO TERNEUS
CODIRECTOR: ING. EDGARDO FERNÁNDEZ

Sangolquí, 30-05-2012

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN AISLANTE TÉRMICO UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y AGLUTINANTES NATURALES, EN PLANCHAS RÍGIDAS” fue realizado en su totalidad por los señores Felipe Santiago Calero Quezada, portador de la cédula 171782323-9, y Luis Alberto Vásquez Peñaherrera, portador de la cédula 171643002-8, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

ING. FRANCISCO TERNEUS.
DIRECTOR

ING. EDGARDO FERNÁNDEZ.
CODIRECTOR

Sangolquí, 30 de mayo del 2012

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN AISLANTE TÉRMICO UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y AGLUTINANTES NATURALES, EN PLANCHAS RÍGIDAS”

ELABORADO POR:

Felipe Calero Quezada.

Luis Vásquez Peñaherrera.

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

**ING. XAVIER SÁNCHEZ
DIRECTOR DE CARRERA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

A U T O R I Z A C I Ó N

Nosotros, CALERO QUEZADA FELIPE SANTIAGO, VÁSCONEZ

PEÑAHERRERA LUIS ALBERTO

Autorizo/amos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN AISLANTE TÉRMICO UTILIZANDO CASCARILLA DE ARROZ Y AGLUTINANTES NATURALES, EN PLANCHAS RÍGIDAS, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 24 de mayo del 2012

CALERO QUEZADA FELIPE SANTIAGO

VÁSCONEZ PEÑAHERRERA LUIS ALBERTO

DEDICATORIA

Con amor...

A mis adorados padres Felipe y Cecilia, coautores de este triunfo; quienes con comprensión y cariño me animaron día a día a alcanzar esta meta

Felipe Santiago Calero Quezada

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto, la dedico íntegramente, aquellas personas que fueron participes de una u otra forma de la misma y en si de toda mi vida académica y personal.

A mis padres en especial les entrego todo lo que he alcanzado, por todo su esfuerzo y dedicación al momento de inculcarme un espíritu de lucha, sacrificio y constancia a la hora de buscar mis metas.

A mis amigos y amigas les dedico por su ayuda y consejos sepan que son una parte muy importante en mi vida y en especial de este proyecto, ya que siempre me dieron ánimo y fuerza para seguir.

A los profesores y profesionales que con sus pautas marcaron de gran manera el resultado de esta tesis.

También dedico a toda la facultad de Ingeniería Mecánica por la confianza que depositaron en nosotros al momento de entregarnos esta investigación y de igual manera por su predisposición al momento de permitirnos usar los recursos de sus laboratorios.

Luis Alberto Vásquez Peñaherrera

AGRADECIMIENTO

Mi inmensa gratitud al Ing. José Guasumba, por su incondicional apoyo durante todo el desarrollo de esta investigación.

A los Ingenieros Francisco Terneus y Edgardo Fernández por su desinteresada labor de orientación que permitieron llevar a feliz término este trabajo.

A mi familia por sus valiosos aportes e inmensurable ayuda durante este tiempo.

A mis amigos con quienes compartimos fructíferas jornadas de estudio, amistad e increíbles momentos que perdurarán por siempre.

Felipe Santiago Calero Quezada

AGRADECIMIENTO

De mi mayor agrado es poder dar las gracias a esas personas que hicieron posible la culminación de esta tesis y de una u otra forma son partes de mi vida.

Señor es a ti a quien agradezco primeramente por la salud, sabiduría y la oportunidad de llegar a culminar este proyecto que no inicio el momento de egresar, sino desde el mismo instante que mi carrera académica comenzó. Gracias a los seres que me dieron la vida Rosario Peñaherrera y Bolívar Vásquez, gracias por su apoyo incondicional, por creer en mi capacidad y siempre darme aliento para continuar.

A todos aquellos amigos y amigas que supieron darme fuerzas y motivarme para seguir adelante, por su muestra de amistad inquebrantable en los momentos de alegría pero en especial por los momentos duros superados con su ayuda, en especial a mi amigo y compañero de tesis Felipe Calero, por su dedicación y dedicación al momento de hacer la tesis.

A los ingenieros y profesionales consultados que con su apoyo, conocimientos fueron un pilar muy fuerte para sobrellevar las dudas e inconvenientes presentados, por su disposición en tiempo, herramientas, laboratorios nos permitieron realizar nuestra investigación sin presentar objeciones negativas.

A la ESPE por abrirnos las puertas de sus laboratorios para hacer nuestras pruebas y experimentos.

Luis Alberto Vásquez Peñaherrera

| | | |
|-------------|--|----|
| CAPÍTULO 1. | GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. | Antecedentes | 1 |
| 1.2. | Definición del problema | 2 |
| 1.3. | Objetivos | 2 |
| 1.4. | Alcance | 2 |
| 1.5. | Justificación e importancia | 3 |
| CAPÍTULO 2. | TECNOLOGÍA Y SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO...4 | |
| 2.1. | Tipos de Aislantes Térmicos convencionales..... | 4 |
| 2.2. | Normativa de Aislantes Térmicos..... | 10 |
| 2.3. | Definición de Normativa aplicable al nuevo material. | 10 |
| 2.4. | Aislantes Térmicos Ecológicos..... | 12 |
| 2.5. | Nuevo material para Aislante Térmico Ecológico-Cascarilla de Arroz | 21 |
| CAPÍTULO 3. | TIPOS DE AGLUTINANTES..... | 23 |
| 3.1. | Aglutinantes Vegetales..... | 24 |
| 3.2. | Aglutinantes Animales..... | 31 |
| 3.3. | Aglutinantes Sintéticos | 39 |
| 3.4. | Selección del Aglutinante | 40 |
| CAPÍTULO 4. | OBTENCIÓN DE PARÁMETROS PARA MODELAMIENTO.42 | |
| 4.1. | Pruebas de tamaño de partícula | 42 |
| 4.2. | Prueba de compactación..... | 49 |
| 4.3. | Determinación de las propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz..... | 51 |
| 4.4. | Pruebas de conductividad térmica | 53 |
| CAPÍTULO 5. | DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | 74 |
| 5.1. | Tecnificación de la molienda para el proceso de preparación de la Cascarilla de arroz..... | 74 |
| 5.2. | Desarrollo de probetas de prueba variando porcentaje de aglutinante | 76 |
| 5.3. | Elaboración de aislamiento ecológico | 77 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 5.4. | Desarrollo de la curva de comportamiento del aislante..... | 81 |
| 5.5. | Modelamiento del Aislante en ANSYS | 82 |
| CAPÍTULO 6. | ENSAYOS DE CAMPO | 113 |
| 6.1. | Normativa ASTM..... | 113 |
| 6.2. | Tabulación y comparación de parámetros mecánicos y termofísicos | 121 |
| CAPÍTULO 7. | ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO | 130 |
| 7.1. | Análisis de Producción Nacional de la Cascarilla de Arroz | 130 |
| 7.2. | Costos de Desarrollo..... | 136 |
| 7.3. | Costos de Producción | 139 |
| CAPÍTULO 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 141 |
| 8.1. | Conclusiones..... | 141 |
| 8.2. | Recomendaciones..... | 142 |
| BIBLIOGRAFÍA | 144 | |
| ANEXOS | 146 | |
| | Datos Ensayos para determinar la Curva de Calibración del Banco de Pruebas de Conductividad Térmica | 146 |
| | Datos ensayos para determinar la Conductividad Térmica | 182 |
| | Datos ensayos prueba de Compresión..... | 202 |
| | Datos ensayos prueba de Tamizado | 204 |
| | Datos de ensayos bajo normas aplicables..... | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabla 2.1. | Propiedades manta de lana | 14 |
| Tabla 2.2. | Propiedades plumas de ave | 14 |
| Tabla 2.3. | Propiedades cáñamo | 16 |
| Tabla 2.4. | Propiedades fibra de lino | 16 |
| Tabla 2.5. | Propiedades paneles de madera- Madysa | 17 |
| Tabla 2.6. | Especificaciones ISOFLOC L | 19 |
| Tabla 2.7. | Conductividad térmica corcho | 20 |
| Tabla 3.1. | Especificaciones Almidón de Yuca | 41 |
| Tabla 3.2. | Composición Química Almidón de Yuca | 41 |
| Tabla 4.1. | Tamices usados y sus respectivas aperturas | 42 |
| Tabla 4.4. | Componentes orgánicos en la cascarilla de arroz. | 51 |
| Tabla 4.5. | Propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz. | 52 |
| Tabla 4.6. | Propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz. | 53 |
| Tabla 4.7. | Tabla de resumen, datos de la curva de calibración. | 58 |
| Tabla 4.8. | Datos para obtener el ΔQ final. | 61 |
| Tabla 4.9. | Cálculo de pérdidas en paredes. | 62 |
| Tabla 4.10. | Cálculo de pérdidas en fondo de caja. | 62 |
| Tabla 4.11. | Cálculo del error. | 66 |
| Tabla 4.9. | Resumen de datos conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida. | 71 |
| Tabla 4.10. | Resumen de coeficiente de conductividad térmica. | 72 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabla 5.1. | Tabla de unidades utilizadas en ANSYS. | 85 |
| Tabla 5.2. | Propiedades del archivo del Aislante en Inventor. | 86 |
| Tabla 5.3. | Propiedades del aislante térmico en ANSYS. | 87 |
| Tabla 5.4. | Sistema de coordenadas. | 88 |
| Tabla 5.6. | Parámetros y opciones del mallado para modelado. | 88 |
| Tabla 5.9. | Parámetros de Configuración del Análisis del Modelado. | 90 |
| Tabla 5.10. | Definición de carga térmica en el Aislante Térmico. | 92 |
| Tabla 5.11. | Información de Solución. | 93 |
| Tabla 5.12. | Tabla de resultados. | 94 |
| Tabla 5.13. | Parámetros de Mallado. | 103 |
| Tabla 5.14. | Descripción de Análisis. | 104 |
| Tabla 5.15. | Condiciones de temperatura Inicial. | 104 |
| Tabla 5.16. | Configuraciones del Análisis. | 105 |
| Tabla 5.17. | Carga Térmica. | 106 |
| Tabla 5.18. | Desarrollo Temperatura 1. | 106 |
| Tabla 5.19. | Desarrollo Temperatura 2. | 106 |
| Tabla 5.20. | Resultados Temperatura. | 107 |
| Tabla 6.1. | Tolerancia para la conductividad térmica según el espesor | 119 |
| Tabla 6.2. | Fundamentos de Transferencia de Calor. FRANK P. Incropera. | |
| Tabla A.3. | | 123 |
| Tabla 6.3. | PDF. Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Tabla 1 | 125 |
| Tabla 6.4. | PDF. Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Tabla 2 | 125 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabla 6.5. | Conductividad térmica de algunos aglomerados según PDF Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Tabla 3 | 125 |
| Tabla 7.1. | Producción nacional de arroz periodo 2000 - 2010. | 130 |
| Tabla 7.2 | Producción de arroz en la provincia del Guayas periodo 2000 - 2010. | 132 |
| Tabla7.3 | Producción de arroz en la provincia de Los Ríos periodo 2000 - 2010. | 132 |
| Tabla 7.4 | Producción nacional de arroz en la estación de invierno | 133 |
| Tabla 7.5 | Producción nacional de arroz en la estación de verano. | 133 |
| Tabla 7.6 | Superficie arrocera en invierno y verano. año 2008 | 134 |
| Tabla 7.7 | Productos obtenidos a partir del proceso de pilado del arroz. | 135 |
| Tabla 7.8 | Producción anual de cascarilla de arroz. | 135 |
| Tabla 7.9 | Superficie sembrada y producción de cascarilla en el año 2010. | 136 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------|--|----|
| Figura 2.1. | Lana de Roca | 5 |
| Figura 2.2. | Poliestireno Expandido | 6 |
| Figura 2.3. | Poliestireno Extruido | 7 |
| Figura 2.4. | Espuma de Poliuretano | 8 |
| Figura 2.5. | Poliestireno Expandido | 9 |
| Figura. 3.1. | Goma arábica en lágrimas | 26 |
| Figura. 3.2. | Goma de tragacanto en polvo | 26 |
| Figura. 3.3. | Resina damar en lágrimas | 27 |
| Figura. 3.4. | Copal en lágrimas | 28 |
| Figura. 3.5. | Trementina de Venecia | 29 |
| Figura. 3.6. | Bálsamo de Canadá | 30 |
| Figura. 3.7 | Cola de carpintero | 32 |
| Figura. 3.8. | Cola de conejo en escamas | 32 |
| Figura. 3.9. | Cola de huesos en granos | 33 |
| Figura. 3.10. | Caseína en polvo | 34 |
| Figura 3.11. | Gelatina en polvo | 35 |
| Figura. 3.12. | Cera de abeja | 35 |
| Figura. 3.13. | Goma Laca en escamas sombra roja | 37 |
| Figura 4.1. | Cascarilla molida | 43 |
| Figura 4.2. | Primera carga de cascarilla molida para prueba | 43 |
| Figura 4.3. | Segunda carga de cascarilla molida para prueba | 43 |
| Figura 4.4. | Tercera carga de cascarilla molida para prueba | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.5. Cascarilla Molida colocada en el tamiz NO. 10 para empezar el ensayo | 45 |
| Figura 4.6. Ensayo de tamizado utilizando la maquina de separación por vibración | 45 |
| Figura 4.7. Muestra de como se va acomodando la cascarilla molida durante el procedo de tamizado | 46 |
| Figura 4.8. Cascarilla con tamaño de partícula mayor a 2mm | 47 |
| Tabla 4.2. Resultados finales de la prueba de tamizado | 48 |
| Figura 4.9. Gráfica de resultados finales de la prueba de tamizado | 49 |
| Figura 4.10. Toma de la distancia recorrida por en punzón dentro de la matriz durante el ensayo de compactación | 49 |
| Tabla 4.3. Resultados finales de la prueba de compactación volumétrica | 50 |
| Figura 4.11. Gráfica de resultados finales de la prueba de compactación volumétrica | 51 |
| Figura 4.12. Caja para ensayo de conductividad térmica | 54 |
| Figura 4.13. Ladrillos refractarios usados en la caja | 55 |
| Figura 4.14. Placa testigo de aluminio e=11mm | 56 |
| Figura 4.15. Placa de aluminio durante la prueba para la calibración de la caja | 57 |
| Figura 4.16. Termocuplas y caja lista para empezar las pruebas | 57 |
| Figura 4.17. Variación del error respecto al tiempo de ensayo | 67 |
| Figura 4.18. Variación del error respecto a la variación del ΔT | 67 |
| Figura 4.17. Probetas del Aislante de cascarilla de arroz molida. | 68 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.18. Prueba de conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida. | 69 |
| Figura 4.19. Prueba de conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida. | 70 |
| Figura 5.1. Horno de secado usado para retirar la humedad de las probetas. | 74 |
| Figura 5.2. Molino de piedras | 75 |
| Figura 5.3. Proceso propuesto de tecnificación de la molienda. | 75 |
| Figura 5.4. Mezcla del aglutinante diluido en agua caliente a 75°C | 77 |
| Figura 5.5. Mezcla sin homogenizar del aglutinante y la cascarilla de arroz molida. | 78 |
| Figura 5.6. Mezcla final para preparar las planchas rígidas de aislante ecológico | 78 |
| Figura 5.7.a. Recubrimiento de aluminio prensado colocado en el molde. | 78 |
| Figura 5. 7. b. Mezcla vertida en el molde previo a su compactación. | 79 |
| Figura 5.8. Mezcla sometida a 1,5 ton. de presión para su compactación. | 79 |
| Figura 5.9. Horno previamente calentado a 160°C | 80 |
| Figura 5.12. Plancha de Aislante térmico realizado el mallado en el programa ANSYS previo análisis en Estado Estable. | 82 |
| Figura 5.12. Transición de Carga térmica 1 desde el estado en reposo hasta el estado estable. | 92 |
| Figura 5.13. Transición de Carga térmica 2 desde el estado en reposo hasta el estado estable. | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.14. Distribución de temperaturas en Estado Estable. | 95 |
| Figura 5.15. Flujo de calor Direccional en el Eje X en el estado estable. | 96 |
| Figura 5.16. Flujo de calor total en el Estado estable. | 97 |
| Figura 5.17. Error térmico en el Estado Estable. | 98 |
| Figura 5.18. Plancha de Aislante térmico realizado el mallado en el programa ANSYS previo análisis en Estado Transitorio. | 99 |
| Figura 5.19. Resultados Temperatura Máxima y Mínima. | 108 |
| Figura 5.20. Distribución en Capas de la Temperatura. | 108 |
| Figura 5.21. Distribución de la Temperatura. | 109 |
| Figura 5.22. Distribución de la Temperatura. | 110 |
| Figura 5.23. Isolíneas de Temperatura. | 111 |
| Figura 5.24. Flujo de Calor Total. | 112 |
| Figura 6.1. Esquema de la prueba para medir la flexión. | 115 |
| Figura 6.2. Simulación en Autodesk Inventor | 115 |
| Figura 6.3. Medidas para la probeta de resistencia a la atracción paralela. | 116 |
| Figura 6.4. Esquema de la probeta para la prueba de resistencia a la tracción. | 117 |
| Figura 6.5.a. Simulación en Autodesk Inventor para la prueba de resistencia a la tracción. | 117 |
| Figura 6.5.b. Simulación en Autodesk Inventor para la prueba de resistencia a la tracción. | 117 |
| Figura 6.6. Tomado de la Norma ASTM C 209. ítem 13 | 118 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 6.7. | Esquema de la probeta para la prueba de tracción perpendicular. | 119 |
| Figura 6.8. | Esquema de la posición de los puntos medidos para obtener el espesor. | 121 |
| Figura 7.1 | Producción de arroz en cáscara. Seco y limpio (Tm.) | 131 |

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

En el país en la industria arrocera se desecha y no se aprovecha la cascarilla del mismo, sobre la cual no existen estudios de su comportamiento térmico en el país, pero si en América del Sur, específicamente en Colombia se ha desarrollado ya una investigación previa en la cual se señala el potencial de este subproducto agrícola como aislante térmico de alta efectividad, competitividad y de fácil obtención, lo cual contribuye al remplazo de productos derivados del petróleo ¹.

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería.

Este estudio se propone desarrollar nuevos materiales para aislamientos térmicos a partir de cascarilla de arroz y fibras vegetales o aglutinantes naturales, basados en las normas ASTM aplicables.

Los deseados aislamientos, convenientes, confortables y necesarios, son además obligatorios. Existen dos Normas Básicas, que nos obligan a que nuestras construcciones cumplan ambos tipos de aislamiento: térmico y acústico.

Este campo, el térmico, en el que nos estamos introduciendo, es de amplio desarrollo y en una evolución constante, y genera una gran actividad en la construcción, desde todos los puntos de vista: investigación, fabricación y construcción.

¹ Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales-Carolina Giovanna Cadena, Antonio José Bula Silvera.

1.2. Definición del problema

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, campo en el cual la cascarilla de arroz se perfila como un aislante térmico de alta efectividad, competitividad y de fácil obtención, lo cual contribuye al remplazo de productos derivados del petróleo.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Desarrollar un aislante térmico ecológico basado en el uso de la cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, con un desempeño similar a los requeridos por las NORMAS ASTM Aplicables.

1.3.2. Especifico

- Analizar las normas ASTM aplicables al nuevo aislante térmico.
- Analizar las propiedades de la cascarilla de arroz, como aislante térmico.
- Identificar la mejor mezcla aglutinante-cascarilla de arroz.
- Realizar la homologación de prototipos y del modelo de utilidad para que cumpla con las exigencias de durabilidad, confiabilidad y costo.

1.4. Alcance

Contribuir con un material aislante térmico ecológico de uso múltiple y de bajo costo, basado en el uso de biomasa, en este caso la cascarilla de arroz en conjunto con aglutinantes naturales.

1.5. Justificación e importancia

En la actualidad el alto costo e impacto ambiental que tienen los aislantes térmicos tradicionales, nos ha llevado a buscar e investigar una alternativa de material que cumpla y desempeñe de manera adecuada y eficiente el rol que estos tienen.

Dada la aparente baja conductividad térmica de la cascarilla de arroz y de su amplia utilización en poblaciones rurales como aislante térmico en las camas, surge la posibilidad de incursionar en el campo de los materiales con este subproducto agrícola.

El aprovechamiento de estos recursos naturales permitirá disminuir el impacto ambiental que éstos originan al no utilizarlos, al tiempo que posibilita la sustitución a mediano plazo de materiales como el poliestireno expandido que repercuten negativamente en el equilibrio ecológico.

Esta investigación parte del supuesto de que al aglomerar la cascarilla de arroz con elementos naturales conservará la potencialidad de sus propiedades fisicoquímicas, y presenta una capacidad aislante competitiva frente a la de los materiales derivados del petróleo.

Además esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica.

Como resultado de este proyecto, usando como materia prima la cascarilla de arroz obtendremos un material biodegradable, el que será amigable con el ambiente y de bajo impacto ambiental durante y después de su vida útil. Además que se espera que tenga un muy bajo costo ya que la misma es considerada en la actualidad como desecho.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y la industria y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que entre o salga calor del sistema que nos interesa.

2.1. Tipos de Aislantes Térmicos convencionales

2.1.1. Lana mineral (lana de roca)

La lana de roca es un material aislante térmico, incombustible e imputrescible. Este material se diferencia de otros aislantes en que es un material resistente al fuego, con un punto de fusión superior a los 1.200 °C.

Las principales aplicaciones son el aislamiento de cubierta, tanto inclinada como plana (cubierta europea convencional, con lámina impermeabilizante autoprottegida), fachadas ventiladas, fachadas monocapa, fachadas por el interior, particiones interiores, suelos acústicos y aislamiento de forjados. Cuando se tiene un techo de teja con machihembrado, se utiliza un fieltro sin revestimiento o bien otro con un papel kraft en una cara, lo que favorece la colocación. Además, se utiliza para la protección pasiva tanto de estructuras, como de instalaciones y penetraciones.

La lana de roca se comercializa en paneles rígidos o semirígidos, fieltros, mantas armadas y coquillas. También es un excelente material para aislamiento acústico en construcción liviana, para suelos, techos y paredes interiores.



Figura 2.1. Lana de Roca

- Densidad: 30-160 kg/m³. Según EN 13162, en fibra de 20 a 150, en piedra de 25 a 220.
- Coeficiente de conductividad térmica: 0,034 a 0,041 W/(m·K). Según EN 13162, 0,035 a 0,05
- Mu de 1 a 2
- c (calor específico) aproximadamente 840 J/(kg·K)

2.1.2. Poliestireno expandido

El material de espuma de poliestireno es un aislante derivado del petróleo y del gas natural, de los que se obtiene el polímero plástico estireno en forma de gránulos. Para construir un bloque se incorpora en un recipiente metálico una cierta cantidad del material que tiene relación con la densidad final del mismo y se inyecta vapor de agua que expande los gránulos hasta formar el bloque. Este se corta en placas del espesor deseado para su comercialización mediante un alambre metálico caliente.

Debido a su combustibilidad se le incorporan retardantes de llama, y se le denomina *difícilmente inflamable*.



Figura 2.2. Poliestireno Expandido

- Posee un buen comportamiento térmico en densidades que van de 12 kg/m³ a 30 kg/m³
- Tiene un coeficiente de conductividad de 0,045 a 0,034 W/(m·K=, que depende de la densidad (por regla general, a mayor densidad menos aislamiento)
- Es fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo cual se lo debe proteger de la luz del sol
- Posee una alta resistencia a la absorción de agua
- No forma llama ya que al quemarse se sublima.

2.1.3. Poliestireno extruido

El poliestireno extruido, extrudido o extrusionado, también conocido por su acrónimo inglés XPS, es una espuma rígida resultante de la extrusión del poliestireno en presencia de un gas espumante, usada principalmente como aislante térmico.

El poliestireno extruido comparte muchas características con el poliestireno expandido, pues su composición química es idéntica: aproximadamente un 95% de poliestireno y un 5% de gas. La diferencia radica únicamente en el proceso de conformación; pero es una diferencia crucial, ya que el extrusionado produce una

estructura de burbuja cerrada, lo que convierte al poliestireno extrusionado en el único aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades.



Figura No. 2.3. Poliestireno Extruido

El XPS posee una conductividad térmica típica entre 0,033 W/mK y 0,036 W/mK, aunque existen poliestirenos con valores de hasta 0,029 W/mK.

El XPS presenta una baja absorción de agua (inferior al 0.7% a inmersión total) y unas prestaciones mecánicas muy altas (entre 200 kPa y 700 kPa).

Tiene una densidad aparente entre 307 y 33 kg/m³.

2.1.4. Espuma de poliuretano

La espuma de poliuretano es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas.

Básicamente, y según el sistema de fabricación, se pueden dividir los tipos de espumas de poliuretano en dos tipos:

Espumas en caliente: son las espumas que liberan calor durante su reacción.

Espumas en frío: son aquellas que apenas liberan calor en la reacción, se utilizan para crear piezas a partir de moldes; como rellenos de otros artículos; como aislantes, etc.



Figura 2.4. Espuma de Poliuretano

La espuma de poliuretano (o gomaespuma) tiene múltiples usos en el mundo actual. Algunos de ellos son:

- En colchones como relleno principal o como integrante de los acolchados
- En muebles en asientos de sofás y sillas, relleno de acolchados, etc.
- En la construcción, como aislante térmico o como relleno
- En automoción como elemento principal de salpicaderos, asientos, etc.
- En muchos artículos más como juguetes, prendas de vestir, esponjas, calzados, almohadas, cojines, envases y en general todo tipo de acolchados o rellenos.

2.1.5. Espuma de vidrio (lana de vidrio)

La lana de vidrio es una lana mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. Las burbujas de aire atrapadas en las fibras impiden la transmisión térmica.

Para sus aplicaciones clave, la lana mineral de vidrio es el material aislante térmico y acústico más eficiente y de más fácil manejo desde un punto de vista económico y medioambiental. La lana mineral de vidrio ofrece la mejor relación resistencia térmica / precio (mejor valor), es el material ideal para aislar acústicamente. Hay una serie de detalles importantes que predefinen el aislamiento acústico de un sistema: El material aislante debe ser seleccionado por su estructura, que es fundamental para el comportamiento del aislamiento acústico. Los materiales idóneos tienen una estructura elástica. La capacidad del aislamiento para rellenar completamente una cavidad tiene un impacto positivo en el rendimiento del sistema. El ajuste correcto del aislamiento en los lugares donde los puentes acústicos suelen aparecer.

La lana mineral de vidrio presenta el mejor equilibrio ambiental (respecto a las emisiones de CO₂). La evaluación del ciclo de vida (ECV) es un proceso de evaluación de los efectos que tiene un producto sobre el medio ambiente durante toda su vida útil, aumentando la eficiencia en el uso de recursos y disminuyendo las responsabilidades. Se puede utilizar para estudiar el impacto medioambiental de un producto o la función que debe desempeñar el producto.

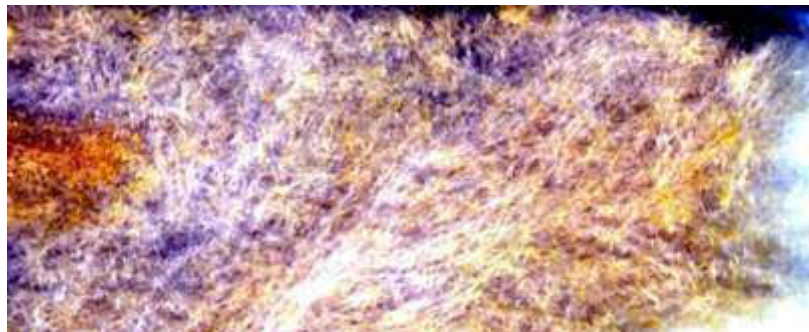


Figura 2.5. Poliestireno Expandido

- Coeficiente de conductividad térmica lana vidrio: 0,032 W/(m·°K) a 0,044 W/(m·°K)

2.2. Normativa de Aislantes Térmicos

La principal normativa que rigüe a los aislantes térmicos en general es la ASTM (American Society for Testing Materials) la cual estableció pruebas para comprobar que los materiales cumplan con los estándares establecidos en este caso en particular para los Aislantes térmicos están en la NORMA ASTM 2004 Volume 04.06 Thermal Insulation - Environmental Acoustics.

2.3. Definición de Normativa aplicable al nuevo material.

Las siguientes son las normas ASTM del volumen antes descrito en las que nos guiaremos y haremos referencia para llevar a cabo la investigación y desarrollo:

- ASTM C 165: Método de prueba estándar para medir las propiedades de compresión de aislamientos térmicos.
- ASTM C 177: Método de prueba estándar para el estado de equilibrio para las mediciones de flujo de calor y las propiedades térmicas de transmisión por medio del aparato de la placa caliente.
- ASTM C 208: Especificaciones de la norma para el Tablero Aislante de Fibra de Celulosa.

Las pruebas especificadas en la ASTM C 208 son las siguientes:

- ASTM C 168: Terminología relacionada con aislamiento térmico²
- ASTM C 209: Métodos de prueba para el Tablero de fibras celulósicas de aislamiento²
 - ASTM C 177: Método de prueba estándar para el estado de equilibrio para las mediciones de flujo de calor y las propiedades térmicas de transmisión por medio del aparato de la placa caliente.

² Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,06.

- ASTM C 870: Práctica para el acondicionamiento de los materiales de aislamiento térmico
- ASTM C 1045: Práctica para el cálculo de la transmisión térmica
- ASTM C 390: Criterios para la toma de muestras y aceptación de lotes de Aislamientos Térmicos Preformados²
- ASTM C 846: Práctica para la aplicación de Tableros de Aislantes de fibras celulósicas para revestimiento de la pared²
- ASTM D 1037: Método de prueba para evaluar las propiedades de la fibra de madera como base en paneles y paneles de materiales de partículas³
- ASTM D 1554: Definición de términos relacionados a la fibra de madera como base en paneles y paneles de materiales de partículas³
- ASTM D 2164: Métodos de prueba de aislamiento estructural del techo cubierta³
- ASTM E 72: Métodos de prueba de resistencia de los paneles para la construcción de edificios⁴
- ASTM C 303: Método de prueba estándar para las dimensiones y la densidad del bloque preformado de aislamiento térmico tipo tabla
- ASTM C 447: Método de prueba estándar para la estimación de la temperatura máxima de uso de aislamientos térmicos

³ Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,10.

⁴ Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,11.

2.4. Aislantes Térmicos Ecológicos

Los edificios se acondicionan mediante aportes de energía. Cuanto más rápido pierdan o ganen esa energía, antes habrá que volver a aportársela, con lo que el consumo crecerá y la contaminación provocada por el uso del edificio será mayor. De aquí que la conservación de la energía sea uno de los aspectos críticos de los edificios en cuanto a su capacidad de ahorro energético. Conservamos la energía mediante el uso adecuado y eficaz de aislamientos. En un planteamiento bioclimático es imprescindible pensar cuidadosamente en los aislamientos térmicos. Es éste uno de los sistemas pasivos que habrá que pensar y estudiar con interés en el edificio, dada su importancia a los efectos de conservación de energía. Como arquitectos consideramos una obligación proyectar teniendo en cuenta estos aspectos.

Como es sabido, hay una gran variedad de materiales aislantes en el mercado, y aunque la principal característica de un material aislante es el valor de su conductividad térmica, hay otros aspectos y cualidades que se deben conocer para su correcta aplicación en la envolvente de los edificios, tales como su capacidad de absorción de agua, su contenido de aire, su resistencia a ataques de insectos, su permeabilidad al vapor de agua, etc.

Cuando hablamos de proyectar un edificio con características bioclimáticas y con criterios de sostenibilidad, la elección del aislamiento térmico debe además tener en cuenta la cantidad de energía que se ha gastado en su fabricación, cuál es su vida útil y cuál es su posibilidad de reciclaje. Dentro de la variedad de materiales aislantes, vamos a centrarnos, por tanto, en aquellos que son más interesantes desde el punto de vista medioambiental: los aislantes ecológicos.

2.4.1. Aislantes térmicos ecológicos de origen animal:

2.4.1.1. Manta de lana de oveja

A diferencia de la lana de roca o la lana de vidrio, la lana de oveja se obtiene de forma natural y no necesita de un horneado de altas temperaturas. El empleo de lana como material aislante lleva implícito unos tratamientos de limpieza consistente en un lavado mediante jabón biodegradable, protección con sal bórica para fortalecer y proteger la fibra contra el ataque de xilófagos a la vez que aumenta su capacidad de resistencia contra la combustión. Tras esto se realiza el cardado.

Es muy resistente y un potente regulador de humedad, hecho que contribuye enormemente en el confort interior de los edificios. Absorbe la humedad cuando es excesiva y la desprende cuando el ambiente es seco. Es difícil de encontrar un aislante que regule tanto la humedad: esta lana puede fijar 33% de su peso en agua y restituirla al secar sin perder sus capacidades térmicas. Apenas se utiliza en construcción en comparación con las lanas de vidrio o roca.

Posee una durabilidad ilimitada y, una vez tratada, no le atacan los insectos. Como residuo es totalmente biodegradable.

Se vende en forma de manta, de paneles aglomerados y a copos.

Propiedades:

- Excelente aislamiento térmico.
- Muy buena capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes.
- Ligero, este aislante es apropiado en los casos de soporte de poca resistencia.
- Se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad.
- No irritante.
- Reciclable. Este producto no contiene ninguna fibra sintética.

Ficha técnica (modelo comercializado por bioklima nature denominado lana confort)

| | |
|--|------------------------------------|
| Composición | 85 % lana, 15 % fibra termofusión. |
| Tratamiento | Sales Bóricas. |
| Espesor (mm) | 60, 80, 100. |
| Anchura (cm) | 60. |
| Longitud (m) | 10. |
| Densidad (kg/m³) | 13,5 |
| Conductividad térmica I (W/m °C) | 0,040. |
| Permeabilidad al vapor de agua m 1 a 2. | |
| Temperatura de inflamabilidad (°C) | 560. |
| Capacidad higroscópica | hasta 33 % de su peso. |

Tabla 2.1. Propiedades manta de lana

2.4.1.2. Plumas de ave

Es una manta compuesta de plumas y plumones de aves con un tratamiento. Es un aislamiento poco conocido. Compuesto de 70% de plumas de pato, 20% de fibras textiles de poliéster termofusibles y 10% de lana higienizada. Este material regula de forma natural la higrometría.

Propiedades:

- Muy buena permeabilidad al vapor de agua
- Muy poco permeable al aire, excelente aislante acústico.

Ficha técnica

| | |
|---|------------|
| Conductividad térmica I (W/m °C) | 0,038. |
| Permeabilidad al vapor de agua m | 1,46-1,72. |

Tabla 2.2. Propiedades plumas de ave

2.4.2. Aislantes térmicos ecológicos de origen vegetal:

2.4.2.1. Cáñamo

El Cáñamo es una planta usada en todo el mundo desde hace miles de años. Su uso es muy variado, desde alimentación, cosmética, productos textiles, cartón, materiales para la construcción, para la industria (pastillas de frenos y combustible para coches), aceites industriales y, en especial, como fuente siempre renovable de energía. La Cañamiza es viruta del tronco de la planta del cáñamo. Se puede utilizar como aislamiento térmico con muros encofrados de un mortero realizado con cal y cañamiza.

A partir de las fibras del cáñamo unidas se fabrica un excelente aislante térmico y acústico, además de regulador de la humedad, empleado en construcción. Se presenta de dos formas: como un disgregado aislante de celulosa de cáñamo protegida con sales minerales o en forma de manta aislante. No es comestible para insectos y roedores, y es permeable al vapor de agua. Se utiliza como capa base en pavimentos flotantes, como aislamiento térmico y acústico en techos con estructura de madera, particiones vacías y para revestimiento de paredes mediante métodos adecuados. Se comercializa en formato de manta flexible y en copos. Las mantas se fabrican en grosores de 40, 60, 80 y 120 mm. y el tamaño de cada plancha es de 1200x625 mm.

Propiedades:

- Excelente aislamiento térmico.
- Buena capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes.
- Se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad.
- No irritante. Reciclable. Buena resistencia mecánica. Estable en el tiempo. Resistencia natural a los insectos y roedores.

| Ficha técnica | |
|--|--|
| Composición: | 85 % fibra de cáñamo, 15 % fibra termofusible poliéster |
| Densidad (kg/m³): | 25 |
| Conductividad térmica (W/m²C): | 0,040 |
| Permeabilidad al vapor de agua: | 1 a 2 |

Tabla 2.3. Propiedades cáñamo

2.4.2.2. Fibra de lino

El lino es una planta de cultivo fácil y bajo impacto, con cuyas fibras se fabrica aislante térmico y acústico.

Propiedades:

Excelente aislamiento térmico. Buena capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes. Se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad. No irritante. Reciclable. Buena resistencia mecánica. Estable en el tiempo.

| Ficha técnica | |
|--|---|
| Composición | 85 % fibras de lino, 15 % fibras termofusibles de poliéster |
| longitud x anchura (cm) | 135 x 60 (0,81 m ²) |
| Espesor (mm) | 45; 100 |
| Densidad (kg/m³) | 30 en 45 mm; 25 en 100 mm |
| Conductividad térmica (W/m²C) | 0,047 |
| Permeabilidad al vapor de agua μ | 1 a 2 |
| Capacidad higroscópica | hasta 15 % de su peso |

Tabla 2.4. Propiedades fibra de lino

2.4.2.3. Fibra de madera

Los aislamientos térmicos y acústicos de fibras de madera están constituidos por un 65 % de fibras de abeto largas y por un 35 % de aglomerantes minerales, cemento o magnesita. La mineralización de las fibras anula los procesos de deterioro biológico, vuelve las fibras prácticamente inertes y aumenta su resistencia al fuego, sin por ello alterar las propiedades mecánicas de la madera. Las fibras de madera procedentes de restos de madera están aglomeradas con cemento o magnesita, posteriormente se aglutinan entre sí a presión formando una estructura estable, resistente, compacta y duradera.

Aplicaciones como elementos de construcción: aislamiento de elementos estructurales para evitar puentes térmicos, aislamiento en tejados, entre locales adyacentes, entre plantas y en sótanos.

Aplicaciones como revestimientos de paramentos verticales y en falsos techos con perfil T visible, perfil T oculto y perfil Omega visto desmontable, jardinería, etc.

En rehabilitación revestiremos la pared existente con placas de viruta de madera en sentido horizontal y fijado con tacos. En base al acabado deseado, sobre estas colocaremos placas de cartón yeso que se pintarán posteriormente o bien se dejarán vistas.

Ficha técnica (Maydisa, S.A. para panel de 35 mm.)

| | |
|--|---------------------------|
| Conductividad térmica | 0,060 W/mk |
| Resistencia térmica R | 0,58 m ² K/W |
| Transmisión térmica K | 1,33 W/m ² K |
| Resistencia a la compresión (con aplastamiento 10 %) | 0,29N/mm ² |
| Resistencia a la flexión | 1,94 N/mm ² |
| Resistencia a la tracción perpendicular | 0,05 N/mm |
| Absorción de la humedad | 2 / 3,5 Lt/m ² |
| Resistencia a la difusión del vapor μ | 4-6 |

| | |
|---|---|
| Temperatura de utilización | 200 °C |
| Comportamiento al fuego | M-1 |
| Resistencia al fuego RF | de 60 a 120 minutos |
| Resistencia a las heladas | sin alteración |
| Calor específico | 2,1 KJ/kgk |
| Coeficiente de dilatación térmica lineal | 0,01 mm/mk |
| Resistencia al corte | 0,28 N/mm2 |
| Poder fonoabsorbente | Hasta $\alpha_d = \alpha_m = 0,87$ entre 125y4000Hz |
| Aislamiento al ruido de impacto | Reducción de 22 dB |

Tabla 2.5. Propiedades paneles de madera- Madysa

2.4.2.4. Aislamiento de celulosa

Para hablar de este tipo de aislante lo vamos a hacer con las especificaciones directas de un producto que se comercializa con el nombre de ISOFLOC.

ISOFLOC es un material hecho a partir de papel de periódico triturado, al que se le ha añadido hidróxido de aluminio, obteniendo un material con unas características aislantes termo-acústicas sorprendentes, totalmente ecológico partiendo de un producto reciclado.

| ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO ISOFLOC L - FICHA TECNICA | |
|--|--|
| Conductividad térmica Lambda | 0,039 W/ m x K |
| Capacidad térmica específica c | 2150 J/kg x K |
| Densidad | 30-60 kg /m3 |
| Punto de autoinflamación | 280 ° C |
| Temperatura máxima permanente | 60 ° C |
| Temperatura máxima a corto plazo | 90 ° C |
| Humedad normal del material | 8-10% con 50% de humedad relativa 16% a 18% con un 80% de humedad |

| | |
|--|---|
| | relativa |
| Componentes | 92% de papel de periódico seleccionado 8% sales de borax (protección al fuego y conservantes) |
| Exigencia energética en la producción | aprox. 0,1 kvh/kg |
| Exigencia energética primaria incluyendo todos los procesos | aprox. 50 kvh/m ³ (a 50 kg/m ³) |

Tabla 2.6. Especificaciones ISOFLOC L

2.4.2.5. Aislamiento de algodón

Aprovechando los restos de esta industria textil y mediante procesos de transformación consistentes en el humedecido y prensado de las fibras, existen diversas empresas que fabrican aislamientos térmicos y acústicos para ser utilizados en el sector de la construcción.

Existen tres tipos:

- Ecobau Compuesto son mantas de fibras de algodón recicladas e ignifugadas de 12 mm de espesor.
- FR 4 son mantas de fibras de algodón virgen con EPDM ignifugado en espesores 10 y 20 mm.
- Ecobau Triple es un tricapa ignifugado de 22 mm de espesor y constituido por una lámina EPDM cubierta en ambas caras por una manta de algodón virgen.

2.4.2.6. Aislamiento de corcho

Es un recurso natural renovable que se obtiene de la corteza de los alcornoques. Los aglomerados de corcho para aislamiento están constituidos por granulado de corcho, aglutinado entre sí por la propia resina natural del corcho, mediante proceso de cocción que determina una alteración sensible al tejido suberoso.

Posee una durabilidad ilimitada, no le atacan los insectos y presenta una gran resistencia a los agentes químicos.

En el caso de convertirse en un residuo es totalmente biodegradable.

Existen tres clases o tipos: Aglomerados expandidos puros de corcho, térmicos, para aislamiento térmico, acústicos o para aislamiento acústico, sónico o fónico, y vibráticos o para aislamiento de vibraciones. El aglomerado expandido puro térmico se presenta para su uso en placas y en cilindros.

Conductividad térmica:

Aglomerado - 0,045 W/m²K - densidad 120 Kg/m³

Granulado - 0,050 W/m²K - densidad 60 Kg/m³

Tabla 2.7. Conductividad térmica corcho

2.4.3. Aislantes térmicos ecológicos de origen mineral:

2.4.3.1. Aislamiento de arcilla

La arcilla expandida se obtiene por la expansión de una masa de arcilla en un horno rotatorio a una temperatura de 1200 °C. El resultado son gránulos esféricos con una estructura celular interna clinkerizada y una corteza exterior dura y resistente.

Se presenta normalmente a granel y se emplea para elaborar morteros ligeros y aislantes.

Por otro lado, se conoce como arcilla aislante a la solución constructiva consistente en bloques cerámicos aligerados obtenidos de la cocción conjunta de la arcilla y un material (pequeñas bolas de poliestireno expandido, cáscara de cereal, etc.), que al combustionarse genera pequeños alveolos estancos.

En cuanto a la arcilla expandida, sus principales propiedades son la ligereza (300 Kg/m³), su aislamiento térmico gracias a su estructura reticular que conforma cámaras de aire microscópicas, conductividad de 0,099 W/m²°K, aislamiento acústico, su resistencia al fuego, es un material inerte, estable a los ataques químicos, resistente a las heladas y 100% reciclable.

2.5. Nuevo material para Aislante Térmico Ecológico-Cascarilla de Arroz

Dada la baja conductividad térmica de la cascarilla de arroz y de su amplia utilización en poblaciones rurales como aislante térmico, surge la posibilidad de incursionar en el campo de los materiales con este subproducto agrícola.

El aprovechamiento de estos recursos naturales permitirá disminuir el impacto ambiental que éstos originan al no utilizarlos, al tiempo que posibilita la sustitución a mediano plazo de materiales como el poliestireno expandido que repercuten negativamente en el equilibrio ecológico. En tal sentido, esta investigación puede llegar a significar un crecimiento no sólo tecnológico sino económico para la región ante la demanda generada en mano de obra, tanto especializada como no calificada, para el desarrollo de tecnologías propias.

Esta investigación parte del supuesto de que al aglomerar la cascarilla de arroz con elementos naturales conservará la potencialidad de sus propiedades fisicoquímicas, y presenta una capacidad aislante competitiva frente a la de los materiales derivados del petróleo. Para tal fin se procederá a la selección de los adherentes que se van a emplear, posteriormente se realizarán muestras de aglomerados para ser sometidos a la prueba de determinación del coeficiente conductivo.

Cascarilla de arroz

Es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades

altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión.

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica.

La cascarilla de arroz es difícil de manejar, ya que se dispersa fácilmente, dada su densidad (650 Kg/m³) y tamaño, lo que le da cierta capacidad de fluir, por lo que sus aplicaciones en estas condiciones son limitadas; en tal sentido se procederá a su aglomeración. La fibra ya mencionada será aglomerada con engrudo de almidón de yuca (su selección explica en el capítulo siguiente), un adherente natural de fácil fabricación y obtención a nivel nacional y que además no representa el impacto negativo para el ecosistema propio que generan aglutinantes químicos utilizados comúnmente en la producción de aglomerados de partículas.

CAPÍTULO 3. TIPOS DE AGLUTINANTES

Los aglutinantes son aquellos que unen varias cosas para formar una masa compacta mediante sustancias viscosas.

Los aglutinantes pueden estar en estado líquido o sólido, estos últimos necesitan disolverse o dispersarse en un disolvente para conseguir un aglutinante líquido.

Se emplean para granular por vía húmeda. Actúan aglomerando sustancias que de por sí solo se compactarían a grandes presiones: reducen la presión de compactación. Hay que valorar de forma correcta la cantidad de aglutinante a añadir tanto por exceso como por defecto, ya que puede ser un problema. Por defecto sería una granulación defectuosa y se fragmentará el comprimido; por exceso el gránulo sería muy duro y disminuye la biodisponibilidad.

Almidón. Forma complejos con el ácido salicílico y ácido benzoico retrasando la solubilidad de los mismos, se emplea en comprimidos que queramos que se desintegren de forma rápida, cuando la formulación es rica en aerófilos, combinar el almidón con polivinilpirrolidona, el almidón suele ir en concentraciones de 5,7 - 10% y aglutina en forma de engrudo.

Goma arábica. Forma parte de todos los comprimidos bucales.

Gelatina. Incompatible con los taninos y goma arábica, tiene una elasticidad muy buena, pero obliga a usar un buen desintegrante.

Polivinilpirrolidona. Para comprimir masticables.

Etilcelulosa. Para vitaminas, retarda la desintegración y disolución.

3.1. Aglutinantes Vegetales

3.1.1. Aceites

El término aceite (az-zait) lo acuñaron los árabes para designar al jugo de la aceituna, sinónimo de la palabra óleo (oleum) término del latín para designar el jugo del fruto de la oliva o aceituna. En la actualidad se designa a todo tipo de sustancia grasa, viscosa e insoluble en agua, de un color amarillo pálido hasta un marrón oscuro

Este tipo de aceite utiliza para preparar pintura al óleo, tiene la característica de secar en una capa sólida, flexible, elástica y transparente al extenderla sobre una superficie. El secado se lleva a cabo principalmente por la absorción del oxígeno del aire, oxidando y polimerizando el aceite. Generalmente, los aceites secantes se comercializan bajo el tipo de procesamiento y semilla del cual se obtienen.

3.1.2. Aceite de linaza

El aceite de linaza se extrae de las semillas de lino (*Linum usitatissimum*), de la misma planta se obtiene la fibra de lino, sin duda el mejor de los aceites secantes comerciales. Produce una película con buena elasticidad; sin embargo, cuando los óleos se colocan en lugares oscuros tiende amarillear y a oscurecer las pinturas.

3.1.3. Aceite de nuez

Seca más rápido que el aceite de linaza, fue un aceite bastante usado en el pasado, sin embargo, en la actualidad es difícil encontrarlo en forma comercial, por la fama del aceite negro del cual es ingrediente. Amarillea poco, pero puede oscurece con el tiempo cuando contiene taninos.

3.1.4. Aceite de adormidera.

Se obtiene de las semillas de adormidera (*Papaver somniferum*) generalmente, de aspecto pálido, se usa para preparar colores blancos y azules al óleo, porque es el aceite secante con menor tendencia a amarillear. Sin embargo, seca lentamente y tiende a craquear con el tiempo sobre todo en capas gruesas.

3.1.5. Aceite de cártamo

Se obtiene de la planta (*Carthamus tinctorius*), de secado lento; al hervir forma un gel. El aceite de cártamo o alazor, como también se le conoce, es de color amarillo pálido; se usa para preparar colores claros al óleo, y está presente en muchas de las formulas del óleo comercial.

Nota: el aceite de cártamo comestible forma un gel, contiene antioxidantes y no seca por lo cual no se debe de usar.

3.1.6. Gomas

Las gomas son aglutinantes naturales que fluyen de las plantas, son solubles en agua; secan formando sólidos incristalizable, quebradizos y transparentes.

El uso de una goma es variado, se puede usar como aglutinante, adhesivo, espesante, fijador, estabilizador, o clarificador.

3.1.6.1. Goma arábica

Goma que fluye de las acacias africanas, bastante soluble en agua; se usa como aglutinante de la acuarela, gouache, tintas y todo tipo de aguadas; proporcionando transparencia, profundidad, brillo satinado y viscosidad, sin sacrificar fluidez, aún a altas concentraciones, pero se debe usar con moderación, porque una vez seca puede craquear.

Tiende a producir cierto tinte al mezclar con los pigmentos claros dependiendo del color de la goma. Se vende en forma de lágrimas, polvo y en forma de solución en droguerías y casas comerciales de arte.



Figura. 3.1. Goma arábica en lágrimas

3.1.6.2. Goma de tragacanto

La goma fluye de las plantas de tragacanto (*Astragalus gummifer*). Este tipo de goma absorbe gran cantidad de líquido formando un gel. Se utiliza en la industria cosmética como espesante y estabilizador, y como aglutinante en la elaboración de los pasteles de calidad al mezclar con pigmento puro. Sin embargo, por el precio tan elevado del tragacanto, esta siendo reemplazando por resina damar y resinas sintéticas de metilcelulosa, con la cuales se producen pasteles de mayor dureza y brillo.

La goma de tragacanto se comercializa en forma de lágrimas y en forma de polvo, en casas de arte y droguerías.



Figura. 3.2. Goma de tragacanto en polvo

3.1.7. Resinas

A las sustancias que fluyen de las plantas de aspecto aceitoso y pegajoso, insolubles en agua, las cuales se recolectan en estado sólido o pastoso se les da el nombre de resinas.

A las resinas medicinales y aromáticas se les conoce con el nombre de bálsamos, los cuales, contienen aceites etéreos (aceites volátiles), ácidos aromáticos y alcoholes; a menudo este tipo de sustancias se destilan obteniendo, solventes y esencias.

Las resinas de terebinto, pinos y abetos reciben el nombre de trementinas y cuando están fosilizadas reciben el nombre de ámbar.

3.1.7.1. Resina damar

Se obtiene de los árboles de la familia Dipterocarpaceae, muy abundantes en las selvas tropicales de las islas del océano Indico y Pacifico. Soluble en esencia de trementina a temperatura ambiente, soluble en aceite a 80 °C; funde a 120 °C. Sin embargo, cuando se calienta, tiende a amarillear y resquebrajar con un tiempo de vida de 25 a 50 años.

Con ella se prepara la mayor parte del barniz natural; el cual, se usa para proteger las obras al óleo, al pastel, grafito y carboncillos, entre otros. Se puede conseguir en forma de lágrimas, en forma de polvo, en droguerías y como barniz en la mayoría de las casas comerciales de arte y manualidades.



Figura. 3.3. Resina damar en lágrimas

3.1.7.2. Copal

El nombre proviene del Nahuatl copalli. Se obtiene de las plantas de la familia Burseraceae y del copinol (*Hymenea courbaril*), plantas de las selvas americanas; con el cual se preparan inciensos, sahumerios, remedios y esmaltes. El nombre también, sin importar su origen, se le da a toda resina semifósil, las cuales funden a más de 300 °C; difíciles de disolver, aun con los solventes más fuertes.

Los copales forman esmaltes muy resistentes, pero algunos tienden a ennegrecer con el tiempo, tal vez, por el contenido de tanino. En forma comercial se venden como barnices pero, por lo común, son esmaltes sintéticos.



Figura. 3.4. Copal en lágrimas

3.1.8. Trementinas

Este tipo de resina se obtiene de las coníferas principalmente de abetos, pinos y del terebinto (*Pistacia terebintus*) del cual deriva término trementina.

Resina cristalina que al solidificar se torna marrón. Por esta razón se usa rectificada y purificada. Altamente inflamable por encima de los 30 °C, funde a 60 °C, de aspecto viscoso e incoloro; de un olor a pino penetrante e irritante, tanto en ojos, piel y tracto respiratorio. Destilada se usa como diluyente del óleo y para preparar barnices. Se comercializa, generalmente, en forma purificada y rectificada con el nombre de aceite de trementina (esencia de trementina) bajo el estándar DAB 9.

3.1.8.1. Trementina de Venecia

Este tipo de trementina antiguamente se obtenía del terebinto y lo comercializaban los antiguos Venecianos, de ahí el nombre, en tiempos recientes se obtiene del alerce, con ella se preparan barnices lustrosos y esmaltes muy vítreos. Es bastante pegajosa, por ello, le confiere un mejor "agarre" al aceite secante espesado al sol, al mezclar con ella.

Seca lentamente alrededor de tres días y en forma natural forma un gel gomoso, por esta razón se debe usar la forma comercial rectificada y purificada. Se vende en casas comerciales de materiales de arte y droguerías.



Figura. 3.5. Trementina de Venecia

3.1.8.2. Bálsamo de Canadá

Esta oleorresina se obtiene del abeto (*Abies balsamea*), de color amarillo ámbar, al secar forma un esmalte muy duro con características refractivas parecidas al vidrio, muy utilizado como cemento en óptica y microscopía. Seca muy rápido.

Disuelve con solventes fuertes como el xileno, por lo que rara vez se usa para preparar barnices y esmaltes; (los solventes fuertes y la resina estropean los pinceles inmediatamente). De preferencia debe aplicarse con espátula. En forma comercial se vende rectificado y purificado en droguerías y casas comerciales de instrumental para laboratorio.



Figura. 3.6. Bálsamo de Canadá

3.1.9. Cera carnauba

Se extrae de la palmera carnauba (*Copernicia cerifera*) originaria de Brasil, cera bastante dura, la cual se puede pulir muy bien si perder consistencia. Ampliamente usada en la industria farmacéutica y cosmética; se comercializa filtrada en presentación oscura (verde olivo), amarilla y blanca. Al combinarla con cera de abeja sube el punto de fusión de la mezcla encáustica y mejora el pulido.

Se vende en droguerías en forma de polvo, trozos y hojuelas siendo la más común la tipo NC. #3.

3.1.10. Almidones

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp.*), varios tipos de arroz (*Oryza sativa*), y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata (*Solanum tuberosum*), batata (*Ipomoea batatas*) y mandioca (*Manihot esculenta*). Los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, agente anti-envejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.

3.2. Aglutinantes Animales

3.2.1. Colas

Las colas son aglutinantes elaborados al hervir con agua trozos o residuos de pieles, tendones, huesos, cartílagos o cualquier colágeno de animales (proteínas coloidales). De esta forma se crea una emulsión la cual se usa para unir materiales ligeros y porosos: madera, papel, tela, pieles entre otros. La unión con cola se separa fácilmente calentando la zona a partir de los 60 °C.

Las colas presentan un color transparente con tonos amarillos y cafés, las mejores se hacen con pieles y huesos, logrando aglutinantes muy fuertes que al secar son muy flexibles. Cuando se elaboran de tendones y cartílagos forman capas transparentes, sin color, sin olor y al secar, forman una emulsión semisólida (gel) llamadas gelatinas. Cuando se obtienen de las proteínas de la leche se llama caseína.

3.2.1.1. Cola de carpintero (cola fuerte)

Generalmente este tipo de cola está hecha de pezuñas, tendones y despojos de pieles vaca, oveja y cabra. Es bastante fuerte; al secar forma una capa dura y poco flexible. Adecuada para trabajos de carpintería y en la elaboración tradicional de instrumentos musicales de madera. Ampliamente usada como adhesivo en la industria textil, del papel, editorial, cerillera y como aglutinante de abrasivos en la industria de la construcción.

Muy útil para pegar los marcos de las obras y las férulas de los pinceles. De preferencia no debe ser usada para preparar imprimaciones; puede desprenderse o producir grietas. Generalmente se vende al público en forma granular y en polvo en casas comerciales de materiales para carpintería.

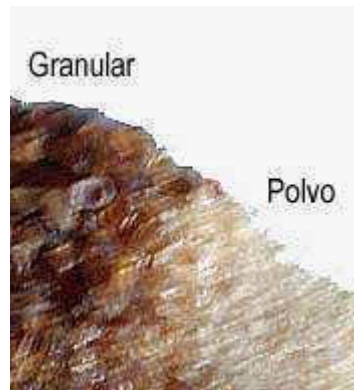


Figura. 3.7 Cola de carpintero

3.2.1.2. Cola de conejo

Se obtiene de la piel, principalmente de las orejas, de estos animales. De color café pálido translucido, altamente higroscópico, por lo que fácilmente se disuelve en agua, aún a temperatura ambiente, formando una emulsión muy viscosa, la cual una vez extendida y seca; produce capas resistentes y flexibles.

Cola ampliamente usada para preparar imprimaciones, sin embargo, la colas no se disuelven en aceite, alcoholes u otros solventes por lo que pueden producir grumos al mezclarse con ellos, creando capas inflexibles y poco firmes. Tiende a formar un gel a bajas temperaturas, a cristalizar y tornarse quebradizo en ambientes donde pulula la lluvia ácida.

Se consigue en forma granular, escama o en forma de tiras (forma francesa) en casas comerciales de materiales de arte y droguerías.



Figura. 3.8. Cola de conejo en escamas

3.2.1.3. Cola de pescado

Se hace de la piel, espina, cartílagos y vejigas natatorias del varias clases de peces. Este tipo de cola es bastante fuerte, pero tiende a la fragilidad con el paso del tiempo, por lo cual, se mezcla con humectantes, tales como miel y glicerina. Se emplea en la elaboración de tintas tradicionales chinas y en la elaboración tradicional de pasteles. La cola de esturión es bastante apreciada en los países del norte de Asia y Europa; la mejor calidad se consigue usando exclusivamente las vejigas natatorias de dicho pez; con ella se preparan imprimaciones de forma tradicional, las cuales tardan bastantes meses en secar.

Se consigue en forma de tiras (forma francesa) en casas comerciales de materiales de arte y restauración.

3.2.1.4. Cola de huesos

Este tipo de cola se obtiene principalmente de cuernos y pezuñas (de vacas y cabras), es medianamente fuerte. Una vez seca produce una capa dura, satinada y frágil por lo que se le adicionan plástificante como la glicerina.

Se cura con sustancias alcalinas como la cal, ya que tiende a volverse rancia, sin embargo, a mayor acidez de la cola mejor adherencia y a menor acidez menor adherencia, sobrepasando un ph de 7 tiende a formar espumas.

Muy usada en oriente como aglutinante al preparar tinta en barra de manera tradicional. Se consigue principalmente en droguerías.



Figura. 3.9. Cola de huesos en granos

3.2.1.5. Caseína

Se obtiene de las proteínas de la leche (en forma de polvo tiene el color de la leche). Seca en capas transparentes, inflexible de aspecto mate, se torna frágil con el paso del tiempo, se usa como cola fuerte, y con ella se prepara la pintura que lleva su nombre, la cual debe prepararse en cada sesión, porque seca bastante rápido.

Se vende en forma granular y en forma de polvo en droguerías, casas comerciales de materiales de arte y manualidades.

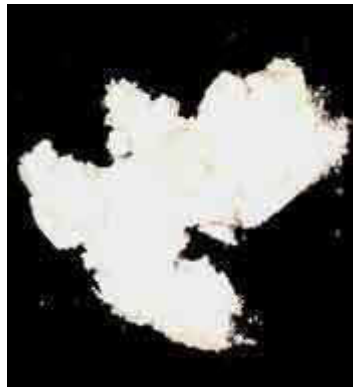


Figura. 3.10. Caseína en polvo

3.2.1.6. Gelatina (gernetina)

Compuesta de colágeno hidrolizado, es la forma refinada de la cola animal, incolora, inodora, y traslucida. Sí bien, en la industria es muy usada, es raro usarla como aglutinante, porque requiere de sustancias para endurecerla, formol o sulfato de aluminio (alumbre) y tiende a ser cara en comparación con otras colas. Sin embargo, se usa en las técnicas aguadas tanto en la preparación de papel como en la preparación de pintura: acuarela y gouache, controlando el ph.

Se consigue en droguerías, casas comerciales de materiales de arte y restauración.



Figura 3.11. Gelatina en polvo

3.2.2. Ceras

Las ceras son sustancias insolubles en agua, son ésteres de ácidos grasos con alcoholes, solubles en la mayoría de los solventes, de color amarillo pálido a pardo, translúcidas y lustrosas. Sólidas y blandas a temperatura ambiente, altamente resistentes a la acción de hongos, bacterias e insectos. La segregan en gran cantidad a palmera carnauba y las abejas. A menudo forma parte de las pinturas permitiendo flexibilidad y humectación de estas. Uno de sus usos frecuentes es la elaboración de ceras de escultor. Con ella se prepara el pastel grasoso (crayon) y el medio para la técnica de encáustica, la cual se aplica en caliente entre 65°C y 200°C.

3.2.2.1. Cera de abeja



Figura 3.12. Cera de abeja

Es una cera blanda producto de los panales de la abeja domestica o europea, se consigue virgen (ámbar o grisácea) o refinada (amarilla y blanca), cuando la cera es muy blanca proviene del opérculo de la celdillas o se refinó y blanqueó a la vez, sin embargo, esta última es más frágil que cera amarilla y la cera virgen.

La cera de campeche o cera negra se obtiene de un tipo de abejas sin aguijón nativa de la península de Yucatán y Centroamerica. Este tipo de cera es muy dúctil, maleable y bastante adherente.

La cera de abeja se consigue en todo tipo de establecimientos, sin embargo, es mejor conseguirla en casas comerciales de arte y manualidades.

3.2.3. Lacas

Las lacas son secreciones de insectos llamados escamas o cochinillas; se reconocen por formar en las plantas capas pulverulentas, de aspecto ceroso o sedoso. Con estas secreciones de cera y aceite se elabora una disolución de color muy traslucido, la cual, al secar y extender sobre una superficies crea una capa dura y frágil, brillante y satinada. También el término laca se refiere a la disolución de extractos de plantas (tintes naturales) en solventes, aceites, gomas o resinas con el mismo fin, descrito anteriormente. Las lacas se usan para proteger y embellecer muebles de madera; como sellador o fijador; y como aglutinante en la preparación de tintas tradicionales.

3.2.3.1. Goma laca (shellac)

Secreción la cochinilla (*Laccifer lacca*, antiguamente *Coccus laca*), (soluble en alcohol, insoluble en aguarrás). Insecto asiático ampliamente descrito en la cultura y literatura india y china. En la antigüedad se uso para teñir pieles y seda.

En la actualidad se usa en la elaboración de tintas para las técnicas de la aguada oriental, en la preparación de laca tradicional, en la carpintería, ebanistería y en la construcción de instrumentos musicales, como sellador, fijador o como acabado

final. Se vende en varias presentaciones, polvo o escama, en solución, y en varios grados de descerificación, natural (de color marrón con sombra roja), limón (sombra verde) y blanca (sombra amarillo pálido). Se consigue en casas comerciales de materiales para ebanistería y carpintería. La goma laca se considera tóxica, por lo que se deben tomar precauciones.



Figura. 3.13. Goma Laca en escamas sombra roja

3.2.3.2. Laca grana cochinilla

Insectos (*Dactylopius coccus* costa, antiguamente *Coccus cacti*) de origen americano, el cual, infecta los cactus. De la especie que vive del y en el nopal se obtiene el carmín fino; el cuerpo seco de la hembra se muele y se hierve en agua con alumbre, para obtener cristales de ácido carmínico, $C_{22}H_{20}O_{13}$, semisolubles en agua y soluble en alcohol (sombra escarlata), solubles en hidroxilo de sodio (sombra violeta), llamados comúnmente laca carmín.

El carmín nacarado es el más codiciado, se usa en la industria textil, cosmética y mobiliaria. Las variedades industriales alumínico cálcicas se usan en la industria alimentaria como colorante (E120, ligeramente tóxico especialmente para los niños). La acción prolongada de sol decolora su tono grana hasta blanquearlo. En el óleo puede llegar a ser estable. Se consigue en droguerías y casas comerciales especializadas en pigmentos tradicionales.

3.2.3.3. Laca kermes

De la hembra de los insectos Kermes (*Kermes ilicis*, antiguamente *Coccus ilicis*, y *Kermococcus vermilis*) se obtiene un polvo carmesí, el cual se mezcla con alumbre para formar un tinte Carmín (ácido kermésico $C_{18}H_{12}O_9$ fórmula empírica). Este tipo de insecto parásita los robles por lo que contienen un alto contenido de tanino, ampliamente usado en la Europa antigua para teñir pieles y textiles, con él se prepara la laca grana o laca kermes, sin embargo, actualmente esta en desuso, fue desplazado por la laca grana cochinilla. Se consigue en casas comerciales especializadas en pigmentos tradicionales.

3.2.3.4. Aje

Del náhuatl axin (maquillaje). Del insecto llamado axocuilin, cochinilla de la especie *Coccus axin*; se obtiene un aceite secante, algunas veces de color amarillo mango, comúnmente llamado axi, axe, el cual en conjunción con el aceite secante obtenido de las semillas de salvia (chía) se elabora una laca llamada axinitl o maque.

Es posible, que el alto contenido de aceite secante y el color amarillo de este insecto se deba a los ácidos linoléicos presentes en el piñoncillo o piñón botija (*Jatropha curcas* L.), el timbre (*Acacia angustissima*) y la ciruela amarilla (*Spondias mombin*); árboles que parásita. Su uso está limitado al laqueado tradicional guatemalteco y Mexicano de producción casera, siendo el aje muy difícil de conseguir por otros medios.

3.3. Aglutinantes Sintéticos

3.3.1. Resinas sintéticas

3.3.1.1. Resinas vinílicas

- Policloruro de vinilo
- Poliacetato de vinilo
- Mezcla: Policloruro de acetato de vinilo: para prótesis, en forma de gel, necesita inyección a la cámara de moldeo; se usa en pacientes alérgicos al metilmetacrilato

3.3.1.2. Resinas de poliestireno

Como base en prótesis maxilofacial.

3.3.1.3. Resinas de policarbonato

Uso como coronas preformadas.

3.3.1.4. Resinas a base de cianoacrilato

Polimerizan con bases débiles y son biodegradables; uso: apósitos en cirugía.

3.3.1.5. Resinas de poliuretano

Maxilofacial y apósitos en cirugía.

3.3.1.6. Resinas epóxicas

Necesitan un activador que es tóxico, por lo que se usa más que nada para troqueles.

3.3.1.7. Elastómeros

Materiales de impresión.

3.3.1.8. Resinas compuestas o composites

Materiales obturación.

3.3.1.9. Resinas acrílicas

Autocurado y termocurado.

3.4. Selección del Aglutinante

Después de las investigaciones de consulta, y de los profesionales consultados, se ha concluido que el mejor aglutinante para continuar la investigación es el almidón de yuca, ya que su obtención de modo artesanal es muy eficiente, además el Ecuador es un productor de yuca, lo que reduciría los costos para adquirir industrialmente el mismo, además su uso hará que el aislante térmico sea completamente amigable con el medio ambiente.

3.4.1. Almidón de yuca

3.4.1.1. Definición y generalidades:

Almidón de yuca es la sustancia amilácea obtenida de las raíces del Manihot utilissima, que se presenta al microscopio en forma de glóbulos sencillos y compuestos, cilíndricos, y con núcleo próximo al extremo curvado.

El tamaño de cada glóbulo es de 0.007 a 0.03 mm.

1.- Propiedades. El almidón de yuca es un polvo blanco fino, insoluble en agua fría y en solventes orgánico. Por la acción del agua fría aumenta de volumen y con el agua caliente a 75°C da una suspensión que por enfriamiento y en concentraciones adecuadas produce engrudo.

2.- Usos. El almidón de yuca se utiliza principalmente en industria farmacéutica y en la de productos alimenticios.

3.4.1.2. ESPECIFICACIONES:

El almidón objeto de este detalle es de un solo grado de calidad y deberá estar exento de microorganismos, así como de grumos y materias extrañas y cumplirá las siguientes especificaciones:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Humedad | máximo 15 % |
| Cenizas | máximo 0.20 % |
| Solubles | máximo 0.50 % |
| Proteínas | máximo 0.80 % |
| Acidez en g de HC1 | máximo 0.0657 |

Tabla 3.1. Especificaciones Almidón de Yuca

FUENTE: GONZALEZ PARADA, Zurima Mercedes y PEREZ SIRA, Elevina Eduviges. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. *ACV*, abr. 2003, vol.54, no.2, p.127-137. ISSN 0001-5504.

| Almidón Nativo | |
|----------------------------|--------------------------|
| Humedad (%) | 10,21 ^c ±0,01 |
| Cenizas (%) | 0,11 ^a ±0,01 |
| Proteína Cruda (%)** | ND |
| Grasa Cruda (%) | 0,12 ^c ±0,04 |
| Fibra Cruda (%) | 0,28 ^a ±0,01 |
| Azúcares Reductores (%) | 0,02 ^a ±0,01 |
| Azúcares No Reductores (%) | ND |

Tabla 3.2. Composición Química Almidón de Yuca

FUENTE: GONZALEZ PARADA, Zurima Mercedes y PEREZ SIRA, Elevina Eduviges. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. *ACV*, abr. 2003, vol.54, no.2, p.127-137. ISSN 0001-5504.

CAPÍTULO 4. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS PARA MODELAMIENTO

4.1. Pruebas de tamaño de partícula

Para determinar el tamaño de partícula después de la molienda de la cascarilla de arroz, que será utilizada como materia prima, se usó los siguientes tamices:





| <i>Número de tamiz</i> | <i>Apertura</i> | |
|------------------------|-----------------|--|
| 10 | 2 mm |  |
| 50 | 0,3 mm |  |
| 100 | 0,15 mm |  |
| 200 | 0,075 mm |  |

Tabla 4.1. Tamices usados y sus respectivas aperturas

Una vez establecido esto, se prosiguió con la tamización de la cascarilla de arroz en el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil, realizando un total de 6 ensayos con diferentes pesos de la cascarilla molida, que fueron realizados de la siguiente manera:

1. Inicialmente la cascarilla molida (Fig. 4.1.) era pesada en diferentes lotes para cada una de los ensayos que se iban a realizar (Fig. 4.2. – Fig. 4.4.)
2. Se arma la torre de tamices (Fig. 4.5.) desde el más bajo en numeración arriba hasta el de numeración mayor al final y bajo de este un pozuelo metálico negro que recogerá la porción de la cascarilla de tamaño de partícula menor a $75\ \mu\text{m}$.



Figura 4.1. Cascarilla molida



Figura 4.2. Primera carga de cascarilla molida para prueba



Figura 4.3. Segunda carga de cascarilla molida para prueba



Figura 4.4. Tercera carga de cascarilla molida para prueba



Figura 4.5. Cascarilla Molida colocada en el tamiz NO. 10 para empezar el ensayo

3. Posteriormente la porción pesada de cascarilla molida es puesta en el primer tamiz, y este se lo tapa para colocar toda la torre en la maquina separadora por vibración para iniciar el ensayo (Fig. 4.6).



Figura 4.6. Ensayo de tamizado utilizando la maquina de separación por vibración

4. Durante el proceso se debe abrir cada uno de los tamices superiores (Fig. 4.7.A) para verificar que la cascarilla molida no se haya compactado por la vibración y pueda seguir separándose en los diferentes tamices, de estar esta compactada, suavemente con la mano se lo revuelve hasta que este nuevamente holgada como en el inicio del ensayo (Fig. 4.7.B), y se procede a tapar todo de nuevo y continuar realizando el tamizado
5. Los pasos anteriores se lo realiza reiteradas veces hasta comprobar que la cascarilla de arroz que se encuentra en cada uno de los tamices es homogénea (Fig. 4.8.), momento en el cual la prueba de tamizado finaliza, y se repite nuevamente para cada uno de los lotes de cascarilla molida que se han pesado.



Figura 4.7. Muestra de como se va acomodando la cascarilla molida durante el procedo de tamizado



Figura 4.8. Cascarilla con tamaño de partícula mayor a 2mm

6. Como paso final del ensayo, se debe saber con gran exactitud que peso de cascarilla molida está en cada tamiz; por tal razón para que los datos sean lo más exactos posibles, se debe pesar cada uno de los tamices antes de los ensayos (vacíos) y después de terminados los mismos para saber el peso exacto de cascarilla molida que estaba dentro del rango de tamaño de partícula; no pesar directamente la cascarilla, ya que al trasladarlos a la balanza, por lo fina y volátil que es disminuye el peso.
7. Realizado todo el proceso, se tabularon los datos obtenidos, mismos que se encuentran en los anexos; llevado a cabo el análisis respectivo obteniendo los siguientes resultados:






| Tamaño de partícula | % de composición en peso | Apariencia |
|---------------------------------|--------------------------|---|
| Mayor a 2 mm | 3,68% |  |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 49,59% |  |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 27,48% |  |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 5,80% |  |
| Menor a 0,075 mm | 13,45% |  |
| | 100% | |

Tabla 4.2. Resultados finales de la prueba de tamizado

De lo observado en la tabla 4.2., cerca del 50% de la cascarilla molida tiene un tamaño de partícula entre 0,3 mm y 2 mm, alrededor del 27% entre 0,15 mm y 0,3 mm, y el 13,45% tiene un tamaño menor a 75 μm , es esta cantidad de cascarilla molida la que se vuelve altamente volátil al manipularla en los diferentes ensayos.

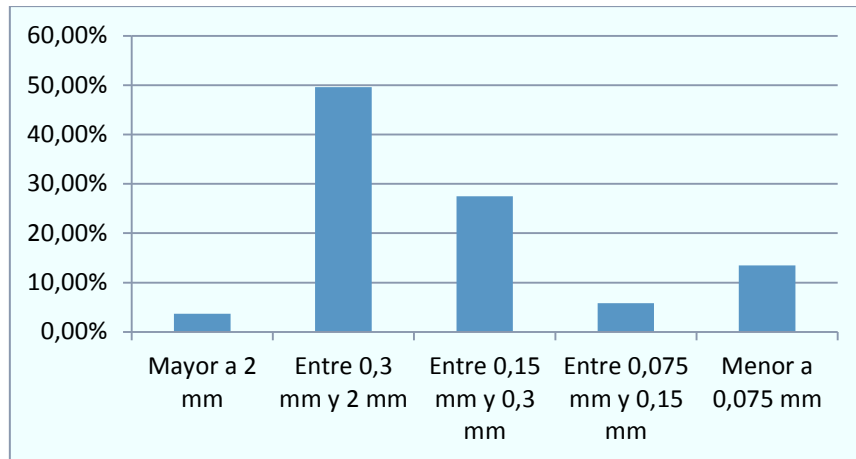


Figura 4.9. Gráfica de resultados finales de la prueba de tamizado

4.2. Prueba de compactación

Durante el proceso de fabricación del nuevo aislante térmico, el conocer el comportamiento de la mezcla de cascarilla molida frente a la presión que se le aplique durante el prensado, es importante en cuanto dará la claridad de que fuerza se le debe aplicar para obtener el espesor de tablero deseado con determinada cantidad de cascarilla de arroz molida.



Figura 4.10. Tomada de la distancia recorrida por el punzón dentro de la matriz durante el ensayo de compactación

Se realizaron cinco ensayos de compactación, de la siguiente manera:

1. Se coloca un volumen de cascarilla molida dentro de una matriz cilíndrica.

2. Luego se pone el punzón y se empieza a aplicar la fuerza sobre el mismo, y se toma las lecturas de cuanto recorre el punzón a determinadas fuerzas (Fig. 4.10.)
3. En la tabla y figura a continuación (Fig. 4.11.) se aprecian los resultados del ensayo.

| P (ton) | Φi (mm) | Lo (mm) | Vo (mm³) | L (mm) | Vf (mm³) | % CVP |
|----------------|----------------|----------------|----------------------------|---------------|----------------------------|--------------|
| 0 | 51 | 63 | 32174,42 | 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 0,5 | 51 | 63 | 32174,42 | 56,2 | 28701,63 | 10,79% |
| 1 | 51 | 63 | 32174,42 | 49,4 | 25228,83 | 21,59% |
| 1,5 | 51 | 63 | 32174,42 | 43,4 | 22164,60 | 31,11% |
| 2 | 51 | 63 | 32174,42 | 39,0 | 19917,50 | 38,10% |
| 2,5 | 51 | 63 | 32174,42 | 35,0 | 17874,68 | 44,44% |
| 3 | 51 | 63 | 32174,42 | 30,4 | 15525,44 | 51,75% |
| 3,5 | 51 | 63 | 32174,42 | 28,3 | 14452,96 | 55,08% |
| 4 | 51 | 63 | 32174,42 | 27,0 | 13789,04 | 57,14% |

Tabla 4.3. Resultados finales de la prueba de compactación volumétrica

Nomenclatura:

- P: Carga aplicada al punzón, en toneladas.
- Φi: Diámetro Interno de la matriz.
- Lo: Longitud Inicial del punzón.
- Vo: Volumen Inicial de la cascarilla de arroz en la matriz.
- L: Longitud Final del punzón.
- Vf: Volumen Final de la cascarilla de arroz en la matriz.
- % CVP: Porcentaje de compactación volumétrica promedio.

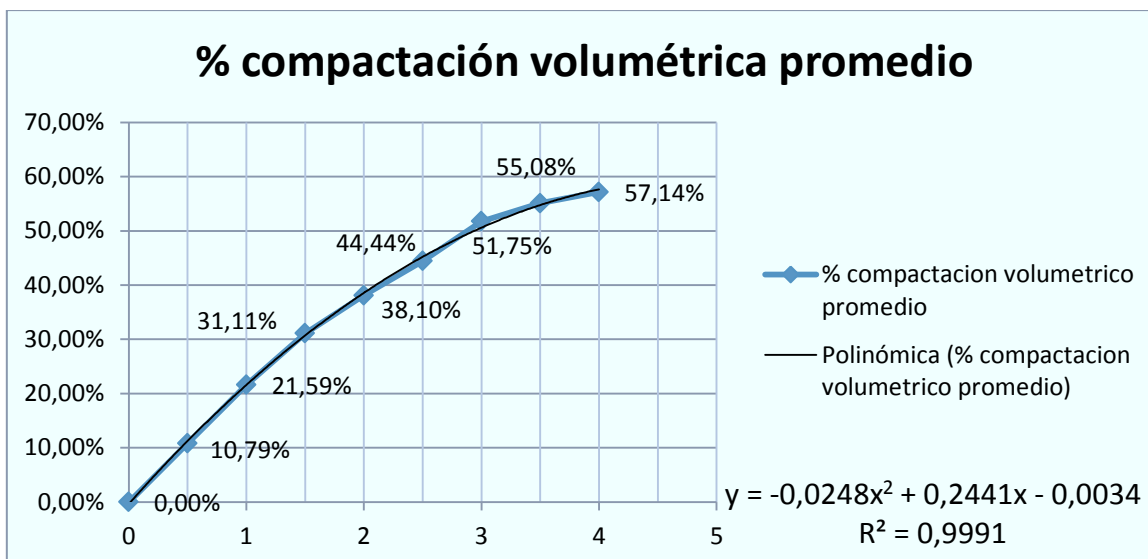


Figura 4.11. Gráfica de resultados finales de la prueba de compactación volumétrica

4.3. Determinación de las propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz.

Después de la minuciosa investigación se logró definir las propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz, detalladas a continuación:

| Componentes | Cantidad presente en cascarilla de arroz (wt%) |
|-----------------------|--|
| α -cellulose | 43.30 |
| Lignina | 22.00 |
| D-xylose | 17.52 |
| l-arabinose | 6.53 |
| Methylglucuronic acid | 3.27 |
| D-galactose | 2.37 |
| Total | 94.99 |

Tabla 4.4. Componentes orgánicos en la cascarilla de arroz.

Fuente: S. CHANDRASEKHAR, K. G. SATYANARAYANA, P. N. PRAMADA, P. RAGHAVAN, Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk-an overview.

En la tabla 4.5. se encuentran detalladas las propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz, estado físico color, olor, longitud, ancho, espesor promedio, peso específico, solubilidad en el agua, densidad verdadera, densidad aparente, densidad a granel, porosidad, fracción de espacios libres, fase gaseosa teórica.

| Propiedades y características físicas | |
|---|---------------------|
| Estado físico | Sólido granulado |
| Color | Beige |
| Olor | Olor característico |
| Longitud, mm | 4 - 14 |
| Ancho, mm | 2 - 4 |
| Espesor promedio, μm | 50 |
| Peso específico, mg | 2.944 - 3.564 |
| Solubilidad en el agua | Insoluble |
| Densidad verdadera, gr/cm^3 | 1,42 |
| Densidad aparente, gr/cm^3 | 0,65 |
| Densidad a granel, gr/cm^3 | 0,1 |
| Porosidad del combustible, % | 54 |
| Fracción de espacios libres, % | 85 |
| Fase gaseosa teórica, % | 93 |

Tabla 4.5. Propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz.

Fuente: Echeverría M. y López O. Tesis de grado, "Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica".

En la tabla 4.6. constan las propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz, humedad, ceniza, materia volátil, carbón fijo, PH, fibra, proteínas, extracto con éter, carbohidratos totales, PCS, PCI, entre los principales.

| Propiedades y características químicas | |
|---|-------|
| Humedad, % | 7,41 |
| Cenizas, % | 19,39 |
| Material volátil, % | 57,09 |
| Carbono fijo, % | 16,11 |
| PH a 25 °C | 7,10 |
| Fibra (Celulosa), % | 45,38 |
| Proteínas, % | 3,59 |
| Extracto con éter (Grasa), % | 0,40 |
| Carbohidratos totales, % | 69,23 |
| PCS_{B.S.} (Bomba Calorimétrica), MJ/Kg | 12,70 |
| PCS_{B.S.} (Análisis Bromatológico), MJ/Kg | 12,04 |
| PCS_{B.S.} (Análisis ultimo), MJ/Kg | 15,58 |
| PCI_{B.S.} (Análisis ultimo), MJ/Kg | 14,42 |
| PCI_{B.H.} (Análisis ultimo), MJ/Kg | 13,50 |

Tabla 4.6. Propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz.

Fuente: Echeverría M. y López O. Tesis de grado, "Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica".

4.4. Pruebas de conductividad térmica

En esta sección se detalla, la parte más importante de la presente investigación, la determinación de la conductividad térmica (k) de la cascarilla de arroz aglutinada con almidón de yuca en el aislante lo cual determinará si el producto desarrollado sirve o no como aislante térmico, para lo cual la misma debe ser menor a 1.

Para poder determinar la conductividad térmica, se realizó un proceso basado en la norma ASTM C177 (Método de prueba estándar para el estado de equilibrio para las mediciones de flujo de calor y las propiedades térmicas de transmisión por medio del aparato de la placa caliente.), ensayo que se llevó a cabo desde la construcción del banco de pruebas y su respectiva calibración (curva de error).

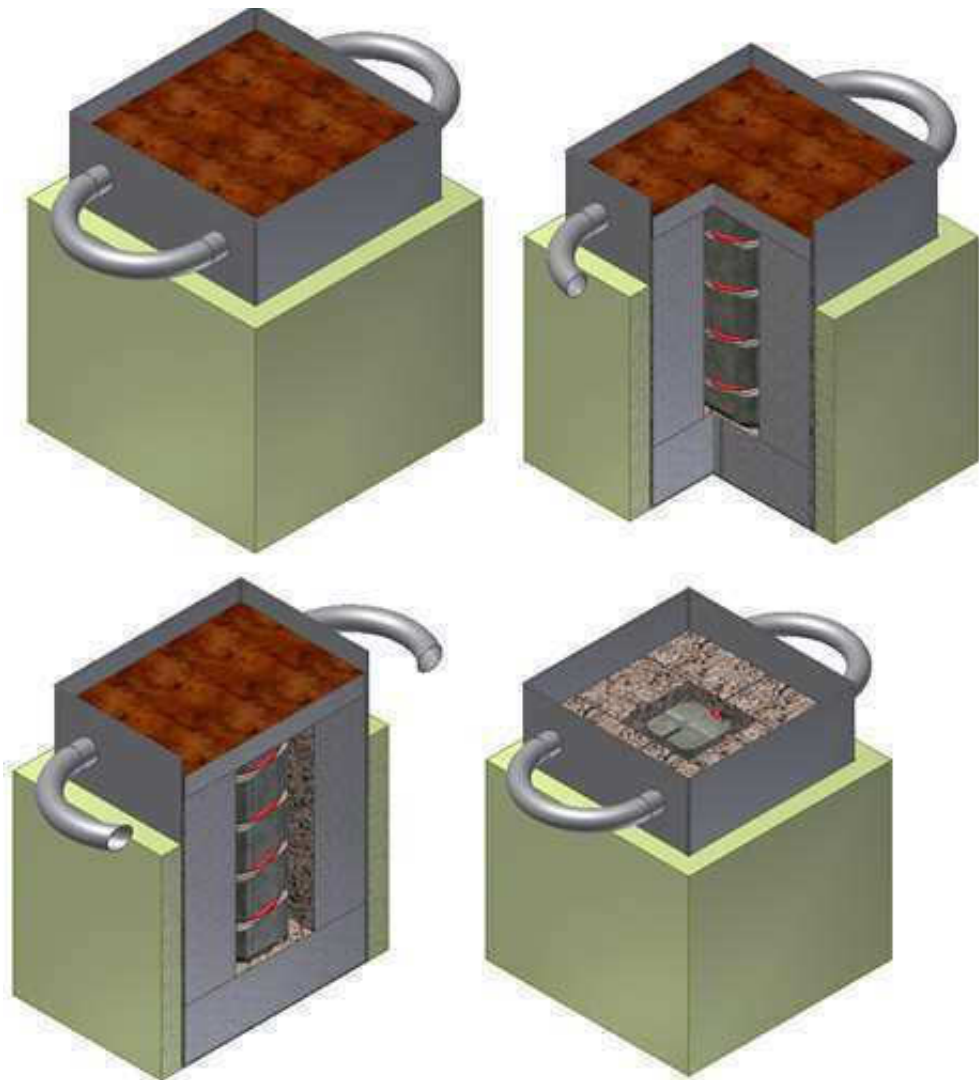


Figura 4.12. Caja para ensayo de conductividad térmica

La caja para el ensayo de conductividad térmica en estado estable (Fig. 4.12.), consta de una envoltura de tol negro de $e=1\text{mm}$, recubierta externamente con lana de vidrio de 1" de espesor para eliminar pérdidas por convección en las paredes de la caja, internamente esta recubierta con ladrillo refractario de $230\text{mm}\times 114\text{mm}\times 65\text{mm}$ (Fig. 4.13.a) a manera de la cámara de un incinerador, al interior de esta se colocó un ladrillo refractario poroso trabajado en forma circular a manera de tubo (Fig. 4.13.b), mismo al que adicionalmente se le realizó un canal en forma de espiral que lo recorre en toda su longitud para alojar y dar soporte a la resistencia eléctrica que sirvió de fuente de calor durante los ensayos (Fig. 4.13.c).

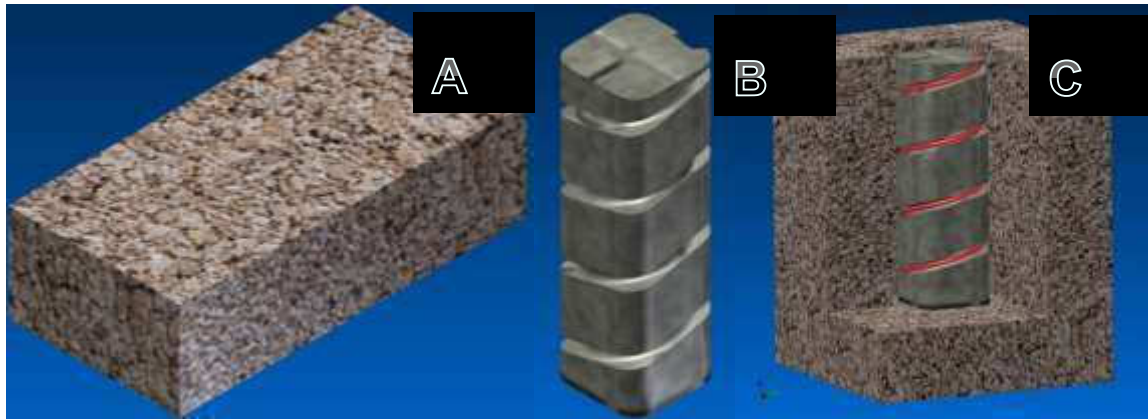


Figura 4.13. Ladrillos refractarios usados en la caja

Construida la caja se procedió con las pruebas para obtener la curva de calibración de la misma para determinar el ΔQ que se va transferir al aislante en las pruebas siguientes y el porcentaje de error en el valor de la conductividad térmica del aislante térmico mediante la propagación de errores.

Para llevar a cabo esto se construyó adicionalmente una placa de aluminio de 11mm (Fig. 4.14.) de espesor que sirvió de patrón, ya que la conductividad térmica es conocida, por lo tanto el calor en cada medición en el estado estable se lo determino con la ec. 1.

$$Q = \frac{k * A * \Delta t}{e} \quad (\text{ec. 1})$$

$Q =$ Calor (w)

$k =$ Conductividad térmica (w/mK)

$\Delta t =$ Diferencia de temperaturas superficiales $t_1 - t_2$ (K)

$A =$ Área de transferencia (m^2)

$e =$ espesor o longitud de transferencia (m)



Figura 4.14. Placa testigo de aluminio $e=11\text{mm}$

Para tener una medida más exacta y acertada del calor que se va a aplicar al aislante térmico, la prueba para la curva de calibración de la caja se realizó en 11 ocasiones de manera exitosa, consistiendo esta en la toma de datos cada 5 minutos usando termocuplas (Fig 4.15. y Fig 4.16.) de los valores de temperatura de pared de la caja (t_p), temperatura de la cámara (t_c), la temperatura interna de la placa de aluminio (t_1) y la temperatura externa de la placa de aluminio (t_2), durante un tiempo total de 400 minutos.

Se utilizó una resistencia de aire enrollada como se mencionó anteriormente (fig 4.13.c.), está proveía calor al sistema a un voltaje de 115 V y una intensidad de 8,5 A, situación que se logró mantener estable utilizando dos resistencias de aire unidas por uno de sus extremos, aumentando así la resistencia eléctrica del circuito y disminuyendo la intensidad de corriente, ya que esta última al mantenerse alrededor de los 15 A usando una sola resistencia, reducía drásticamente la vida de las resistencias, incluso dañándose a mitad de los ensayos por lo que no se podía concluirlos y se debía empezar nuevamente la toma de datos tras el periodo de enfriamiento de la caja.

Una vez controlados todos estos factores se pudieron iniciar con tomas de datos exitosas.



Figura 4.15. Placa de aluminio durante la prueba para la calibración de la caja



Figura 4.16. Termocuplas y caja lista para empezar las pruebas

- a) Las 4 termocuplas para datos y la caja previa al forrado con lana de vidrio b) Termocupla para tp c) Termocupla para tc d) Caja lista

Posteriormente se prosigió con la tabulación asumiendo el estado estable pasado los 350 minutos tal como se especifica en la Norma ASTM C177, además del hecho que a partir de los 220 minutos en promedio, en todos los ensayos, las temperaturas empezaban a mantenerse estables por un tiempo de 10 minutos.

Posteriormente en cada tabla con un intervalo de 5 minutos se obtuvo el calor (Q) aplicando la ec. 1, con los datos correspondientes de temperaturas y de la placa de aluminio:

$$k = 209,3 \text{ w/mK}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \text{ (K)}$$

$$A = 0,0098 \text{ m}^2$$

$$e = 0,011 \text{ m}$$

Con el valor del calor en intervalo mencionado, se obtuvo la variación del mismo, el cual es el flujo de calor real que se transmite a la plancha de cascarilla de arroz; realizado el calculo en las once tablas correspondientes a cada prueba, se obtiene la tabla de resumen (tabla 4.7.) en la que constan los promedios de todas las variables de las once pruebas.

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t _t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----|-----|-----|-----|----|----------------|----|---------|---------|
| 267 | 33 | 91 | 59 | 5 | 5 | 31 | 5814,39 | - |
| 329 | 55 | 123 | 84 | 5 | 10 | 39 | 7221,37 | 1406,98 |
| 364 | 68 | 141 | 97 | 5 | 15 | 43 | 8102,85 | 881,48 |
| 390 | 78 | 154 | 108 | 5 | 20 | 47 | 8730,06 | 627,21 |
| 410 | 85 | 166 | 115 | 5 | 25 | 51 | 9509,83 | 779,77 |
| 426 | 91 | 173 | 121 | 5 | 30 | 52 | 9764,1 | 254,27 |
| 439 | 96 | 181 | 126 | 5 | 35 | 55 | 10204,8 | 440,74 |
| 451 | 101 | 187 | 130 | 5 | 40 | 57 | 10560,8 | 355,98 |
| 462 | 104 | 192 | 134 | 5 | 45 | 58 | 10798,2 | 237,32 |
| 471 | 108 | 196 | 138 | 5 | 50 | 58 | 10849 | 50,85 |
| 479 | 110 | 200 | 141 | 5 | 55 | 59 | 11035,5 | 186,47 |
| 486 | 114 | 204 | 144 | 5 | 60 | 60 | 11120,2 | 84,76 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|---------|---------|
| 494 | 116 | 207 | 146 | 5 | 65 | 61 | 11425,4 | 305,13 |
| 501 | 119 | 211 | 149 | 5 | 70 | 62 | 11628,8 | 203,42 |
| 507 | 121 | 214 | 151 | 5 | 75 | 63 | 11696,6 | 67,81 |
| 513 | 123 | 217 | 153 | 5 | 80 | 63 | 11832,2 | 135,61 |
| 518 | 125 | 219 | 155 | 5 | 85 | 64 | 11984,8 | 152,56 |
| 523 | 127 | 223 | 158 | 5 | 90 | 65 | 12188,2 | 203,42 |
| 528 | 129 | 225 | 159 | 5 | 95 | 67 | 12442,5 | 254,27 |
| 532 | 130 | 227 | 161 | 5 | 100 | 66 | 12391,6 | -50,85 |
| 537 | 132 | 230 | 162 | 5 | 105 | 68 | 12679,8 | 288,18 |
| 541 | 134 | 232 | 164 | 5 | 110 | 68 | 12764,5 | 84,76 |
| 545 | 136 | 234 | 166 | 5 | 115 | 67 | 12561,1 | -203,42 |
| 548 | 135 | 236 | 167 | 5 | 120 | 69 | 12917,1 | 355,98 |
| 553 | 138 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 12968 | 50,85 |
| 555 | 139 | 238 | 170 | 5 | 130 | 68 | 12747,6 | -220,37 |
| 559 | 139 | 240 | 171 | 5 | 135 | 69 | 12917,1 | 169,52 |
| 562 | 141 | 243 | 172 | 5 | 140 | 71 | 13290 | 372,93 |
| 565 | 142 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13323,9 | 33,90 |
| 568 | 143 | 246 | 173 | 5 | 150 | 72 | 13442,6 | 118,66 |
| 571 | 145 | 247 | 176 | 5 | 155 | 72 | 13374,8 | -67,81 |
| 574 | 146 | 249 | 176 | 5 | 160 | 72 | 13510,4 | 135,61 |
| 577 | 147 | 251 | 179 | 5 | 165 | 72 | 13476,5 | -33,90 |
| 580 | 148 | 252 | 179 | 5 | 170 | 74 | 13730,8 | 254,27 |
| 582 | 150 | 253 | 180 | 5 | 175 | 73 | 13595,2 | -135,61 |
| 584 | 150 | 254 | 181 | 5 | 180 | 73 | 13629,1 | 33,90 |
| 586 | 149 | 255 | 181 | 5 | 185 | 75 | 13934,2 | 305,13 |
| 589 | 151 | 257 | 183 | 5 | 190 | 75 | 13900,3 | -33,90 |
| 591 | 152 | 259 | 183 | 5 | 195 | 76 | 14086,8 | 186,47 |
| 594 | 153 | 259 | 184 | 5 | 200 | 75 | 13968,1 | -118,66 |
| 596 | 153 | 259 | 185 | 5 | 205 | 75 | 13900,3 | -67,81 |
| 598 | 155 | 261 | 186 | 5 | 210 | 75 | 14002 | 101,71 |
| 600 | 155 | 262 | 187 | 5 | 215 | 75 | 14052,9 | 50,85 |
| 601 | 156 | 263 | 187 | 5 | 220 | 76 | 14154,6 | 101,71 |
| 604 | 157 | 264 | 188 | 5 | 225 | 76 | 14137,6 | -16,95 |
| 606 | 158 | 265 | 189 | 5 | 230 | 76 | 14222,4 | 84,76 |
| 608 | 158 | 266 | 189 | 5 | 235 | 77 | 14374,9 | 152,56 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|---------|---------|
| 610 | 159 | 267 | 190 | 5 | 240 | 77 | 14324,1 | -50,85 |
| 612 | 160 | 268 | 191 | 5 | 245 | 77 | 14358 | 33,90 |
| 613 | 160 | 269 | 192 | 5 | 250 | 77 | 14442,7 | 84,76 |
| 615 | 161 | 270 | 192 | 5 | 255 | 78 | 14476,6 | 33,90 |
| 617 | 162 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,4 | 67,81 |
| 619 | 162 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14527,5 | -16,95 |
| 620 | 163 | 273 | 194 | 5 | 270 | 79 | 14714 | 186,47 |
| 622 | 163 | 273 | 195 | 5 | 275 | 78 | 14527,5 | -186,47 |
| 623 | 164 | 274 | 195 | 5 | 280 | 79 | 14730,9 | 203,42 |
| 624 | 165 | 275 | 196 | 5 | 285 | 79 | 14697 | -33,90 |
| 626 | 165 | 276 | 197 | 5 | 290 | 79 | 14764,8 | 67,81 |
| 628 | 166 | 277 | 197 | 5 | 295 | 80 | 14951,3 | 186,47 |
| 629 | 166 | 277 | 198 | 5 | 300 | 79 | 14747,9 | -203,42 |
| 632 | 166 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14900,4 | 152,56 |
| 632 | 167 | 279 | 199 | 5 | 310 | 80 | 14917,4 | 16,95 |
| 634 | 168 | 280 | 199 | 5 | 315 | 81 | 15103,8 | 186,47 |
| 635 | 168 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14866,5 | -237,32 |
| 637 | 169 | 281 | 200 | 5 | 325 | 81 | 15137,8 | 271,23 |
| 637 | 168 | 282 | 201 | 5 | 330 | 81 | 15036 | -101,71 |
| 639 | 170 | 282 | 201 | 5 | 335 | 81 | 15086,9 | 50,85 |
| 640 | 170 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15137,8 | 50,85 |
| 642 | 171 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,3 | 152,56 |
| 643 | 170 | 284 | 203 | 5 | 350 | 81 | 15103,8 | -186,47 |
| 644 | 171 | 285 | 203 | 5 | 355 | 82 | 15341,2 | 237,32 |
| 646 | 172 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15256,4 | -84,76 |
| 647 | 173 | 286 | 204 | 5 | 365 | 82 | 15273,4 | 16,95 |
| 648 | 173 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15273,4 | 0,00 |
| 649 | 173 | 287 | 205 | 5 | 375 | 82 | 15290,3 | 16,95 |
| 650 | 174 | 288 | 206 | 5 | 380 | 82 | 15324,2 | 33,90 |
| 651 | 175 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15459,8 | 135,61 |
| 654 | 175 | 289 | 206 | 5 | 390 | 83 | 15476,8 | 16,95 |
| 654 | 175 | 290 | 207 | 5 | 395 | 83 | 15476,8 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15442,9 | -33,90 |

Tabla 4.7. Tabla de resumen, datos de la curva de calibración.

Como se observa el flujo de calor (ΔQ) es variable, motivo por el cuál para determinar el flujo de calor válido se obtuvo los valores absolutos de la cuarta columna (Tabla 4.8.) y la moda de estos a partir del minuto 270, dando como resultado un $\Delta Q=186,47w$, valor que se ratifica al analizar individualmente las tablas de cada ensayo.

| ΔT | ΔQ |
|------------|------------|
| 270 | 186,47 |
| 275 | 186,47 |
| 280 | 203,42 |
| 285 | 33,90 |
| 290 | 67,81 |
| 295 | 186,47 |
| 300 | 203,42 |
| 305 | 152,56 |
| 310 | 16,95 |
| 315 | 186,47 |
| 320 | 237,32 |
| 325 | 271,23 |
| 330 | 101,71 |
| 335 | 50,85 |
| 340 | 50,85 |
| 345 | 152,56 |
| 350 | 186,47 |
| 355 | 237,32 |
| 360 | 84,76 |
| 365 | 16,95 |
| 370 | 0 |
| 375 | 16,95 |
| 380 | 33,90 |
| 385 | 135,61 |
| 390 | 16,95 |
| 395 | 0 |
| 400 | 33,90 |

Tabla 4.8. Datos para obtener el ΔQ final.

4.4.1. Curva de calibración

Para obtener la curva de calibración de la caja de ensayos de conductividad térmica y saber el error porcentual que esta dando en las mediciones, se tiene como dato la potencia de la resistencia, que es de 10000w. Por el problema antes mencionado del amperaje, se utilizó un total de 1,75 resistencias unidas entre si, dándonos un calor total (Q_{total}) de 17500w.

Lo siguiente realizado fue obtener las pérdidas de calor teóricas en el banco de pruebas, para esto se hizo el siguiente análisis:

Cálculo de pérdidas en paredes

| | |
|--|---------------|
| Área ladrillo (mm ²) | 45868 |
| L1 (mm) | 65 |
| K ladrillo (W/K*m) | 0,725 |
| Área plancha de acero (mm ²) | 54747 |
| e plancha (mm) | 2 |
| K plancha (W/K*m) | 52,5 |
| Resistencia térmica paredes= (L1/(Área ladrillo* K ladrillo)+(e/(Área plancha de acero*k plancha)) | 1,96 |
| T1 Temperatura lado caliente (K) | 675,88 |
| T2 Temperatura lado frío (k) | 190,94 |
| Qperdido en 1 pared= (T1-T2)/R | 248,01 |
| Q total perdido en paredes (w) | 992,04 |

Tabla 4.9. Cálculo de pérdidas en paredes.

Cálculo de pérdidas en fondo caja

| | |
|--|---------------|
| Área ladrillo (mm ²) | 44289 |
| L1 (mm) | 65 |
| K ladrillo (W/K*m) | 0,725 |
| Área plancha de acero (mm ²) | 56169 |
| e plancha (mm) | 2 |
| K plancha (W/K*m) | 52,5 |
| Resistencia térmica paredes= (L1/(Área ladrillo* K ladrillo)+(e/(Área plancha de acero*k plancha)) | 2,02 |
| T1 Temperatura lado caliente (K) | 675,88 |
| T2 Temperatura lado frío (k) | 190,94 |
| Qperdido en 1 pared= (T1-T2)/R | 239,48 |

Tabla 4.10. Cálculo de pérdidas en fondo de caja.

Para obtener las pérdidas totales del sistema (Q_{pt}) se suma las pérdidas parciales (paredes y fondo):

$$Q_{pt} = 1231,52w$$

Cálculo del calor total que fluye hacia la placa (Q_f)

$$Q_f = Q_{total} - Q_{pt}$$

$$Q_f = 17500 - 1231,52$$

$$Q_f = 16268,48w$$

Cálculo de k del Aluminio en base a los datos teóricos

$$k_t = \frac{Q_f * e}{A * \Delta t} \quad (ec. 2) ,$$

Qf= 16268,48w

Δt = 78,41 (K)

A= 0,0098 m²

e= 0,011 m

Por lo tanto se tiene un $k_t=232,89$ (W/K*m)

Cálculo del error porcentual de la conductividad en el banco de pruebas

$$E\% = \left(\frac{k - k_t}{k} \right) * 100\%$$

$$E\% = -10,13\%$$

Por lo tanto al momento de calcular la conductividad térmica (k) del aislante térmico teniendo un signo negativo, indica que el k obtenido será un 10,13% menor.

4.4.2. Propagación de errores

Para obtener un error más acertado, de acuerdo al desarrollo de las pruebas en el banco de ensayos, se procede a realizar una propagación de errores, basado en los mismos que se acarrean desde las mediciones de las variables principales que en este caso son el voltaje, intensidad y temperaturas.

Se comienza con la ec 1.

$$Q = \frac{k * \Delta T * A}{e} \quad (ec. 1) ,$$

Despejando el calor final (Q) en las partes que lo componen (Q_T , Calor Total y Q_p , Calor Perdido) y separando en una sola parte las constantes de área y espesor (A y e) en la ec. 3

$$Q_T - Q_p = k * \Delta T * \frac{A}{e} \quad (ec. 3)$$

Se reemplaza las constantes antes mencionadas en una sola constante C ec. 4


$$\quad (ec. 4)$$

Se despeja el calor total en sus componentes, voltaje e intensidad, ec. 5


$$\quad (ec. 5)$$

Así tenemos todas las variables sujeto de error de medición en la ec. 6

$$V * I - Q_p = k * \Delta T * C \quad (ec. 6)$$

Despejando la conductividad térmica (k) se obtiene la ec. 7

$$C * k = \frac{V * I - Q_p}{\Delta T} \quad (ec. 7)$$

Para una mejor aplicación de las reglas generales de la propagación de errores, se agrupan las variables en una parte de la ec. 8 y en la resta se deja la constante de calor de perdidas (Q_p) dividida para la diferencia de temperatura.

$$C * k = \frac{V * I}{\Delta T} - \frac{Q_p}{\Delta T} \quad (\text{ec. 8})$$

Finalmente se insertan los diferenciales de cada una de las variables de la propagación obteniendo la ecuación final (ec. 9) de la conductividad térmica aplicada la propagación de errores

$$k = \frac{\left[\frac{V * I}{\Delta T} - \frac{Q_p}{\Delta T} \pm \left(\frac{\delta V}{|V|} + \frac{\delta I}{|I|} + \frac{\delta T}{|\Delta T|} - \frac{|Q_p|}{\delta T} \right) \right]}{C} \quad (\text{ec. 9})$$

De donde se aísla el error que viene dado por la ec. 10, este es el error que se debe sumar o restar al valor final de la conductividad térmica de cualquier material que se pruebe en el banco de ensayos.

$$\varepsilon = \pm \left(\frac{\delta V}{|V|} + \frac{\delta I}{|I|} + \frac{\delta T}{|\Delta T|} - \frac{|Q_p|}{\delta T} \right) \quad (\text{ec. 10})$$

Posterior a la corrida de datos modificando cada una de las variables, se obtuvo la siguiente tabla y gráficas, que dio como resultado un error final de:

$$\varepsilon = \pm 5,028\%$$

| error | k+ |
|----------------|---------------|
| 21,088% | 253,86 |
| 21,088% | 253,86 |
| 19,428% | 250,36 |
| 19,428% | 250,36 |
| 19,428% | 250,36 |
| 17,813% | 246,96 |
| 16,241% | 243,66 |
| 16,241% | 243,66 |
| 16,241% | 243,66 |
| 16,241% | 243,66 |
| 16,241% | 243,66 |
| 16,241% | 243,66 |
| 14,711% | 240,44 |
| 14,711% | 240,44 |
| 14,711% | 240,44 |
| 13,220% | 237,30 |
| 13,220% | 237,30 |
| 13,220% | 237,30 |
| 13,220% | 237,30 |
| 11,767% | 234,24 |
| 11,767% | 234,24 |
| 11,767% | 234,24 |
| 10,351% | 231,26 |
| 11,767% | 234,24 |
| 10,351% | 231,26 |
| 10,351% | 231,26 |
| 10,351% | 231,26 |
| 8,970% | 228,36 |
| 10,351% | 231,26 |
| 8,970% | 228,36 |
| 8,970% | 228,36 |
| 7,624% | 225,52 |
| 8,970% | 228,36 |
| 7,624% | 225,52 |
| 7,624% | 225,52 |
| 7,624% | 225,52 |
| 7,624% | 225,52 |
| 6,310% | 222,76 |
| 7,624% | 225,52 |
| 6,310% | 222,76 |
| 6,310% | 222,76 |
| 6,310% | 222,76 |
| 6,310% | 222,76 |

| | |
|--------|--------|
| 6,310% | 222,76 |
| 6,310% | 222,76 |
| 5,028% | 220,06 |
| 5,028% | 220,06 |
| 5,028% | 220,06 |
| 5,028% | 220,06 |

Tabla 4.11. Cálculo del error.

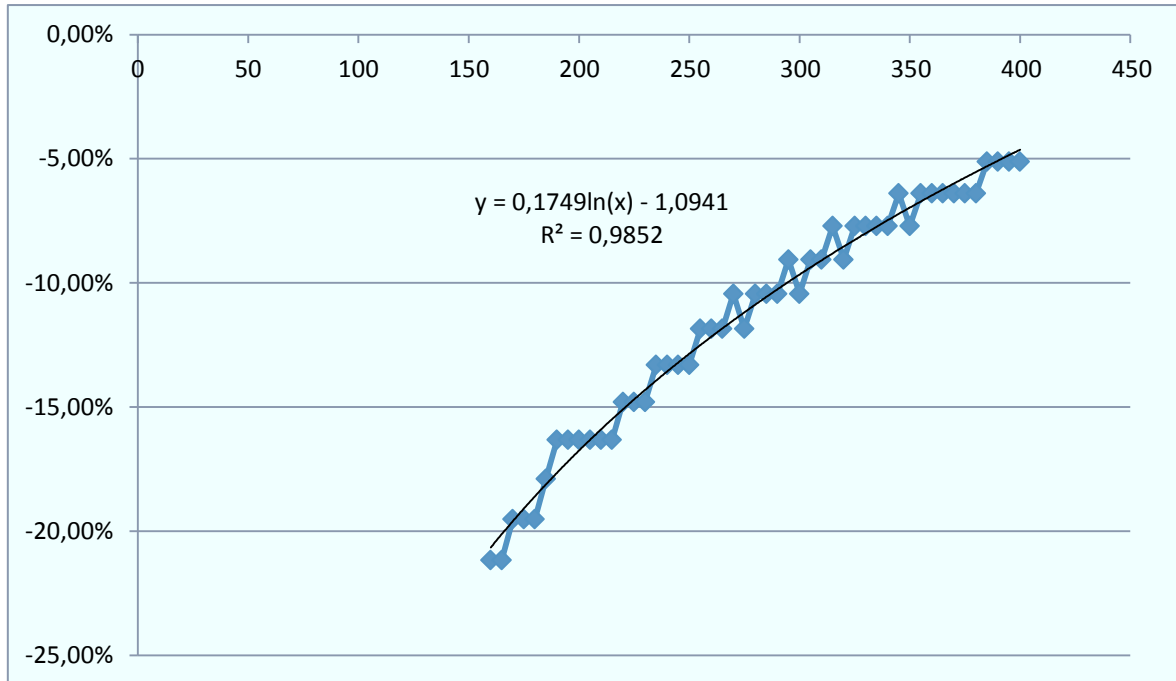


Figura 4.17. Variación del error respecto al tiempo de ensayo

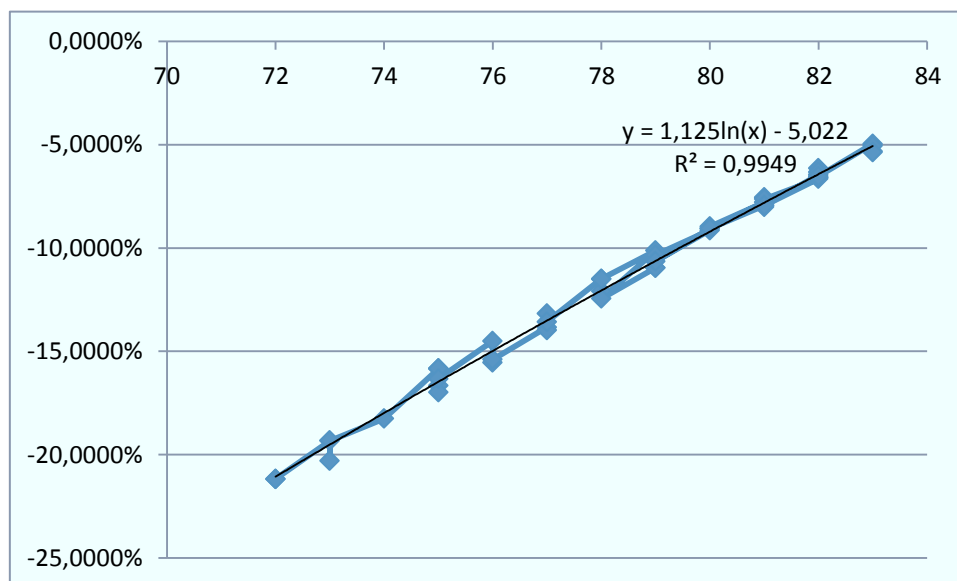


Figura 4.18. Variación del error respecto a la variación del ΔT

Con los datos obtenidos de esta parte de la investigación, se procede a determinar la conductividad térmica del aislante.

Esta prueba es muy similar a la anterior, con la diferencia que en esta ocasión se utilizarán nueve probetas, seis de un espesor de 15mm y tres de un espesor de 20mm (Fig. 4.17.)



Figura 4.17. Probetas del Aislante de cascarilla de arroz molida.

En estos ensayos debido a las propiedades aislantes de la cascarilla de arroz, la temperatura de cámara (t_1) llegó a niveles superior que en los ensayos con aluminio, alcanzando un máximo alrededor de los 700°C , motivo por el cual durante los ensayos, las probetas humeaban (Fig. 4.18) sin afectar a las

propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, ya que según estudios previos⁵ estas se mantienen estables hasta los 750°C.

Para comprobar que no se afectaron los datos que tomados, ninguna probeta fue usada dos veces, ya que las mismas se quemaban (se negrean) en un porcentaje cercano al 50% de su espesor (Fig 4.19.a) e inclusive en un porcentaje superior si son llevados a temperaturas más extremas (Fig 4.19.b), llegando al extraordinario caso de hacerse ceniza blanca (Fig 4.19.c).



Figura 4.18. Prueba de conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida.

⁵ Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales-Carolina Giovanna Cadena, Antonio José Bula Silvera.



Figura 4.19. Prueba de conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida.

Una vez finalizadas los nueve ensayos realizados durante cuatrocientos minutos y con toma de datos cada cinco, se tabuló todo lo obtenido, elaborando una tabla resumen (tabla 4.9.) con los promedios de los datos,

| # | T (MIN) | t1 (°C) | t2 (°C) |
|----|---------|---------|---------|
| 0 | 0 | 17 | 17 |
| 1 | 5 | 155 | 17 |
| 2 | 10 | 193 | 18 |
| 3 | 15 | 221 | 25 |
| 4 | 20 | 238 | 31 |
| 5 | 25 | 249 | 38 |
| 6 | 30 | 261 | 41 |
| 7 | 35 | 272 | 45 |
| 8 | 40 | 289 | 54 |
| 9 | 45 | 311 | 67 |
| 10 | 50 | 328 | 75 |
| 11 | 55 | 345 | 83 |
| 12 | 60 | 363 | 91 |
| 13 | 65 | 381 | 100 |
| 14 | 70 | 397 | 108 |
| 15 | 75 | 414 | 116 |
| 16 | 80 | 430 | 123 |
| 17 | 85 | 445 | 130 |
| 18 | 90 | 460 | 138 |
| 19 | 95 | 474 | 143 |
| 20 | 100 | 487 | 147 |
| 21 | 105 | 500 | 152 |
| 22 | 110 | 513 | 156 |
| 23 | 115 | 524 | 160 |
| 24 | 120 | 535 | 165 |
| 25 | 125 | 545 | 169 |
| 26 | 130 | 555 | 173 |
| 27 | 135 | 565 | 177 |
| 28 | 140 | 574 | 181 |
| 29 | 145 | 583 | 185 |
| 30 | 150 | 591 | 188 |
| 31 | 155 | 599 | 192 |
| 32 | 160 | 605 | 195 |
| 33 | 165 | 612 | 198 |
| 34 | 170 | 618 | 201 |
| 35 | 175 | 624 | 204 |
| 36 | 180 | 627 | 207 |
| 37 | 185 | 634 | 210 |
| 38 | 190 | 639 | 213 |
| 39 | 195 | 643 | 215 |
| 40 | 200 | 647 | 218 |
| 41 | 205 | 650 | 220 |
| 42 | 210 | 653 | 223 |
| 43 | 215 | 655 | 225 |
| 44 | 220 | 659 | 228 |

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 45 | 225 | 662 | 230 |
| 46 | 230 | 664 | 232 |
| 47 | 235 | 666 | 234 |
| 48 | 240 | 668 | 237 |
| 49 | 245 | 671 | 239 |
| 50 | 250 | 673 | 241 |
| 51 | 255 | 675 | 243 |
| 52 | 260 | 677 | 245 |
| 53 | 265 | 679 | 247 |
| 54 | 270 | 681 | 249 |
| 55 | 275 | 683 | 251 |
| 56 | 280 | 685 | 252 |
| 57 | 285 | 687 | 254 |
| 58 | 290 | 689 | 256 |
| 59 | 295 | 691 | 258 |
| 60 | 300 | 692 | 259 |
| 61 | 305 | 694 | 261 |
| 62 | 310 | 696 | 263 |
| 63 | 315 | 698 | 264 |
| 64 | 320 | 699 | 266 |
| 65 | 325 | 701 | 268 |
| 66 | 330 | 703 | 269 |
| 67 | 335 | 704 | 271 |
| 68 | 340 | 706 | 272 |
| 69 | 345 | 708 | 274 |
| 70 | 350 | 709 | 275 |
| 71 | 355 | 711 | 277 |
| 72 | 360 | 712 | 278 |
| 73 | 365 | 714 | 280 |
| 74 | 370 | 715 | 281 |
| 75 | 375 | 717 | 282 |
| 76 | 380 | 718 | 284 |
| 77 | 385 | 719 | 285 |
| 78 | 390 | 721 | 286 |
| 79 | 395 | 722 | 288 |
| 80 | 400 | 723 | 289 |

Tabla 4.9. Resumen de datos conductividad térmica del nuevo aislante de cascarilla de arroz molida.

En cada tabla de datos, se calculó del coeficiente de conductividad térmica utilizando los siguientes datos de las probetas de cascarilla de arroz en la ec. 2:

$$\Delta Q = 186,47 \text{ w}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \text{ (K)}$$

$$A = 0,0529 \text{ m}^2$$

$$e = 0,015 \text{ mm y } 0,020 \text{ mm}$$

$$k = \frac{\Delta Q * e}{A * \Delta t} \quad (\text{ec. 2}),$$

Posteriormente se promedió los coeficientes de conductividad térmica calculados resumidos en la tabla 4.10. a partir de los 270 minutos, momento en el cual el sistema se encontraba en estado estable,

| # | T (MIN) | k | # | T (MIN) | k |
|----|---------|--------|----|---------|---------------|
| 54 | 270 | 0,1367 | 68 | 340 | 0,1361 |
| 55 | 275 | 0,1366 | 69 | 345 | 0,1361 |
| 56 | 280 | 0,1366 | 70 | 350 | 0,1360 |
| 57 | 285 | 0,1366 | 71 | 355 | 0,1360 |
| 58 | 290 | 0,1365 | 72 | 360 | 0,1360 |
| 59 | 295 | 0,1365 | 73 | 365 | 0,1360 |
| 60 | 300 | 0,1364 | 74 | 370 | 0,1359 |
| 61 | 305 | 0,1364 | 75 | 375 | 0,1359 |
| 62 | 310 | 0,1363 | 76 | 380 | 0,1359 |
| 63 | 315 | 0,1363 | 77 | 385 | 0,1358 |
| 64 | 320 | 0,1363 | 78 | 390 | 0,1358 |
| 65 | 325 | 0,1362 | 79 | 395 | 0,1358 |
| 66 | 330 | 0,1362 | 80 | 400 | 0,1358 |
| 67 | 335 | 0,1361 | | | 0,1362 |

Tabla 4.10. Resumen de coeficiente de conductividad térmica.

Con este proceso se determinó que el coeficiente de conductividad térmica del aislante térmico es de:

$$k = 0,1362 \pm 5,028\% \frac{W}{mK}$$

Con lo cuál está comprobado que el aislante térmico a base de cascarilla de arroz molida aglutinado con almidón de yuca, si funciona tal lo esperado y requerido.

Nota: La tabulación de los datos de todas las pruebas realizadas, se encuentran en los anexos de esta investigación.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

5.1. Tecnificación de la molienda para el proceso de preparación de la Cascarilla de arroz

Definición de pasos previos a la molienda

1. La cascarilla debe pasar por un proceso de lavado, donde, por sedimentación se logra separar las partículas ajenas a la cascarilla. El proceso consiste en agitar periódicamente la cascarilla en el agua, dejar sedimentar y separar la suciedad, cambiando el agua; esto se repite hasta que el color del agua sea claro sin partículas en la capa superficial.
2. Escurrir la cascarilla y dejar secar en hornos solares, para mejorar el tiempo de secado, y disminuir el porcentaje de humedad.
3. Para una mejor facilidad de la molienda la cascarilla pasa a un horno de secado (Fig. 5.1) donde se seca la cascarilla al 10% de humedad, o menor.
4. El proceso de molienda se realiza en un molino de piedras. (Fig. 5.2)
5. La tecnificación del proceso de molienda (Fig. 5.3) se lo puede aplicar en un proceso en cadena, donde la producción sea más eficiente y rápida, para lo cual se necesita equipos como: mezcladores automáticos, separadores de partículas, una banda que pase a través de hornos de secado continuo, y de ahí pasar directamente a molinos industriales.



Figura 5.1. Horno de secado usado para retirar la humedad de las probetas.



Figura 5.2. Molino de piedras, Este molino consta de piedras de 30 cm de diámetro, las cuales permiten realizar molidos de forma eficiente, sin desperdiciar materia prima.



Figura 5.3. Proceso propuesto de tecnificación de la molienda.

5.2. Desarrollo de probetas de prueba variando porcentaje de aglutinante

En cuanto a lo investigado respecto al porcentaje de aglutinante se habla de una proporción del 7 al 15% del mismo, usando esto como punto de partida, llevándose a cabo varias mezclas con distintos porcentajes de aglutinante (10%, 11%, 12,5%, 15%, y 20%) con todos se presentó una mezcla fácil de homogenizar pero con distintas características.

Cuadro de resultados, mediante una Matriz de decisión:

Parámetros a tomar en cuenta en orden de importancia:

- Resistencia
- Capacidad de no descomponerse.
- Apariencia (homogeneidad)
- Facilidad de preparación de la mezcla
- Mejor tiempo de secado

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | puntos | % |
|-----|--|-----|-----|---|---|---|---|--------|------|
| 1=2 | Resistencia | - | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,3 |
| 2=1 | Capacidad de no descomponerse. | 0,5 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,3 |
| 3 | Apariencia (homogeneidad) | | | - | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,2 |
| 4 | Facilidad de preparación de la mezcla | | | | - | 1 | 1 | 2 | 0,13 |
| 5 | Mejor tiempo de secado | | | | | - | 1 | 1 | 0,07 |

Ninguno de los parámetros será menor que 0,05

15

Calificaciones del 1 al 10, siendo 10 lo mejor, y 1 lo peor.

| Ord. | Parámetro | Peso | 10% | | 11% | | 12,50% | | 15% | |
|------|--|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | | | Cal. | Pun. | Cal. | Pun. | Cal. | Pun. | Cal. | Pun. |
| 1 | Resistencia | 0,3 | 6 | 1,8 | 7 | 2,1 | 9 | 2,7 | 10 | 3 |
| 2 | Capacidad de no descomponerse. | 0,3 | 8 | 2,4 | 8 | 2,4 | 8 | 2,4 | 6 | 1,8 |
| 3 | Apariencia (homogeneidad) | 0,2 | 6 | 1,2 | 7 | 1,4 | 9 | 1,8 | 9 | 1,8 |
| 4 | Facilidad de preparación de la mezcla | 0,13 | 7 | 0,91 | 7 | 0,91 | 8 | 1,04 | 7 | 0,91 |
| 5 | Mejor tiempo de secado | 0,07 | 8 | 0,56 | 8 | 0,56 | 8 | 0,56 | 6 | 0,42 |
| | | | Tot. | 6,87 | | 7,37 | | 8,5 | | 7,93 |

La matriz de decisión arrojó que la alternativa número 3 es la mejor.

Nota: La probeta que se realizó con 20% de aglutinante, fue un caso aparte, ya que fue elaborada con cascarilla quemada, llegando a este porcentaje porque en proporciones mas bajas de aglutinante esta mezcla no se compacta; además esta mezcla no presenta descomposición por hongos, ya que la misma no permite este proceso biológico, pero si recupera gran cantidad de humedad del ambiente.

5.3. Elaboración de aislamiento ecológico

La elaboración del aislante fue un proceso donde los conocimientos y lo empírico se mezcló para dar como resultado probetas de calidad, fueron muchos los intentos y los procesos que se siguió para finalmente encontrar un proceso que sea eficiente, con los recursos que se disponía.

1. Luego del proceso de molienda, se realiza la mezcla, calentando el agua, luego se vierte el aglutinante y se mezcla hasta tener una pasta homogénea, y muy viscosa (Fig. 5.4.).



Figura 5.4. Mezcla del aglutinante diluido en agua caliente a 75°C, por cada mg de aglutinante se colocó 5ml de agua.

2. Se pone la mezcla en la cascarilla molida (Fig. 5.5.), se revuelve hasta tener una mezcla homogénea sin grumos de aglutinante (Fig. 5.6.).



Figura 5.5. Mezcla sin homogenizar del aglutinante y la cascarilla de arroz molida.



Figura 5.6. Mezcla final, para preparar las planchas rígidas de aislante ecológico

3. La mezcla se vierte en los moldes contruidos (Fig. 5.7.b). (VER ANEXO), los mismos que son recubiertos de una envoltura de aluminio prensado con plástico (Fig. 5.7.a), ya que esto permite que la probeta salga fácilmente sin pegarse a las paredes del molde.



Figura 5.7.a. Recubrimiento de aluminio prensado colocado en el molde.



Figura 5. 7. b. Mezcla vertida en el molde previo a su compactación.

4. Se pone la tapa del molde y se lo lleva a la prensa a una presión de 1,5 ton (Fig. 5.8), solo la probeta de 20% con cascarilla quemada fue llevada a 4 ton.



Figura 5.8. Mezcla sometida a 1,5 ton, de presión para su compactación.

5. Se coloca los pernos de fijación de la tapa y se libera de la prensa. Llevando el molde con la mezcla en su interior al horno eléctrico (Fig. 5.9), previamente calentado para tener una temperatura de secado más uniforme.



Figura 5.9. Horno previamente calentado a 160°C

6. Se seca completamente la probeta, tomando alrededor de 3 horas hasta eliminar la humedad suministrada durante la fabricación.
7. Una vez terminado el secado, se saca el molde del horno y se deja enfriar por 30 minutos, para no romper la probeta aún caliente.
8. Una vez listo esto, se retira del molde con la ayuda del aluminio prensado; se despega el mismo de la probeta y finalmente tenemos la plancha de aislante térmico de cascarilla molida listo para realizar los ensayos (Fig. 5.10).



Figura 5.10. Probeta lista para ser llevada a pruebas, $e=15\text{mm}$.

5.4. Desarrollo de la curva de comportamiento del aislante

La curva del comportamiento del aislante (Fig. 5.11.) se elaboró desde la toma inicial de datos y durante los 400 minutos eliminando los datos atípicos que salían del rango normal; en el capítulo anterior se presentó la tabulación de los correspondientes valores de la conductividad, en función del tiempo. A continuación se presenta la curva de la conductividad respecto al tiempo.

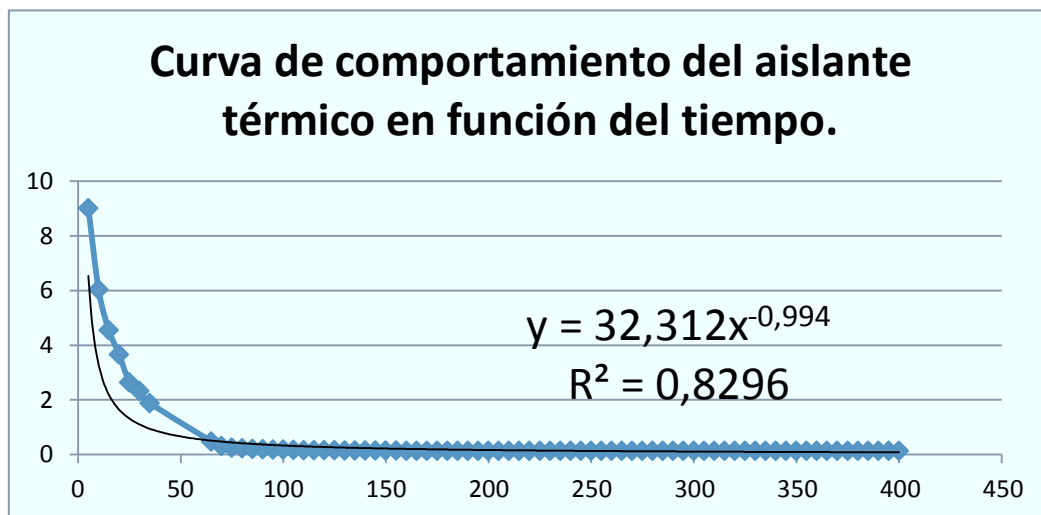


Figura 5.11. Curva del comportamiento del aislante ecológico.

5.5. Modelamiento del Aislante en ANSYS

5.5.1. Estado Estable

A continuación se adjunta el informe final, con el detalle de cada ítem, que se obtuvo al realizar el modelamiento del aislante térmico en el programa de análisis por elementos finitos ANSYS, en el cuál se detallan los parámetros y variables que se tomó en cuenta para obtener la distribución de las temperaturas del mismo cuando se encontraba en el estado estable, y de esta manera conocer el comportamiento del aislante durante las pruebas.

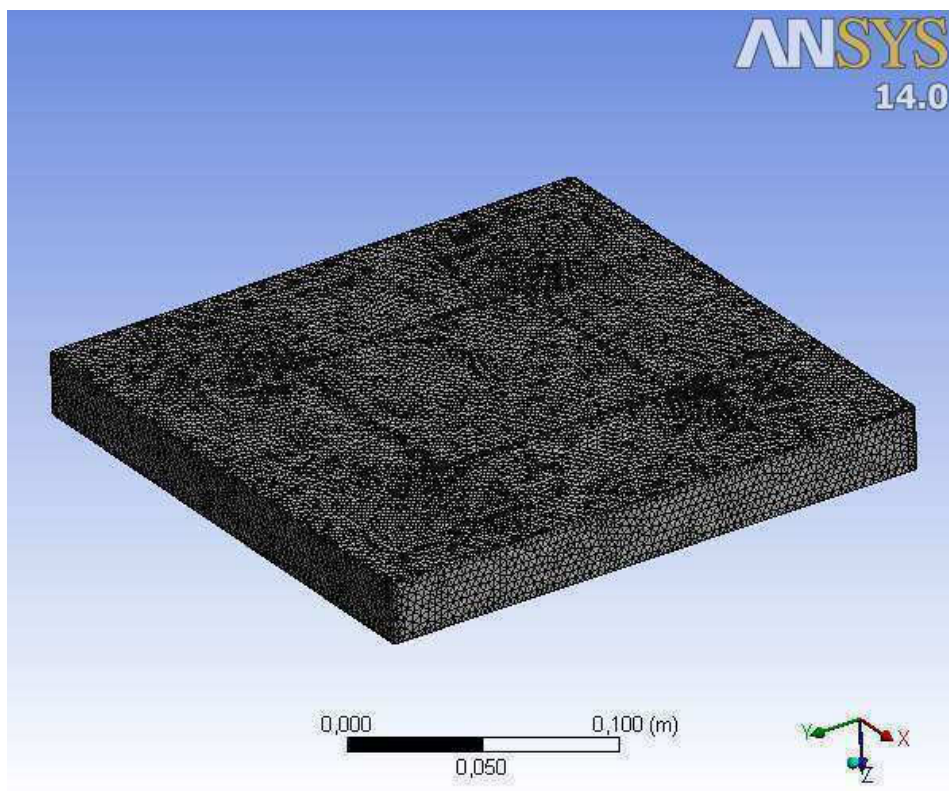


Figura 5.12. Plancha de Aislante térmico realizado el mallado en el programa ANSYS previo análisis en Estado Estable.

Contenido

- **Unidades:** En la tabla 5.1. se indican las unidades seleccionadas para llevar a cabo el modelado en ANSYS.

Se trabajó en el sistema métrico: metro, kilogramo, newton y grados Celsius.

- **Modelo:** En esta parte del informe se indican los parámetros que definen la forma, la ubicación y el mallado de la plancha de cascarilla de arroz molida.
 - **Geometría:** Se indican las propiedades del archivo del aislante térmico, que en este caso fue importado desde Inventor (Tabla 5.2). Además se muestra las propiedades geométricas y físicas del aislante con las que fue modelado en el programa ANSYS (Tabla 5.3.).
 - **Sistema de Coordenadas:** En la tabla 5.4. se indica las coordenadas en las que se encuentra la pieza a analizar, y cuales son estas durante el modelado del aislante.
 - **Información del Material:**

Cascarilla de Arroz molida aglutinada con Almidón de Yuca:

Como se sabe el material del aislante es cascarilla de arroz molida con aglutinante de yuca, mismo que se creó y se le ingresó los parámetros térmicos necesarios, quedando totalmente definida la parte térmica del material, listo para poder realizar el modelado térmico en ANSYS. Estas propiedades se encuentran resumidas en la tabla 5.5.

- **Mallado:** En la tabla 5.6. se indican todas las características del mallado para realizar el modelado, aparte de los parámetros que se tomaron en cuenta para mallar el objeto en este caso la plancha de cascarilla de arroz.
- **Estado Estable Térmico:** En los literales siguientes se explicará lo que se detalla en cada tabla, como los parámetros que definen la temperatura inicial, las cargas térmicas y sobre todo las configuraciones del análisis en estado estable realizado en ANSYS.
 - **Temperatura Inicial:** Como condición inicial en el modelado, se estableció una temperatura inicial de 22°C como se muestra en la tabla 5.8., la misma que era la temperatura ambiente en la que se empezaban aproximadamente los ensayos de conductividad térmica. Al tratarse de un ensayo en estado estable, el tiempo de análisis fue el

mínimo permitido por el programa (1 segundo), tiempo en el cual llega hasta las temperaturas máxima que registro el material en las pruebas.

- **Configuración del Análisis:** En la tabla 5.9., se muestra como se configuró el modelado en ANSYS, fijando la duración de la simulación, como se analiza la radiosidad durante el ensayo, el número de iteraciones y el tipo y resolución de elemento finito que se utilizó, en este caso es un hemicubo.
- **Carga térmica:** La carga térmica que tuvo el aislante vario en una de sus caras de un rango de 22°C a alrededor de los 700°C, mientras que en la otra vario de 22°C a alrededor de los 270°C, razón por lo cual se usó un par de temperaturas promedio como carga térmica para el modelado, las mismas que fueron tomadas al mismo instante y en el momento que la probeta se hallaba en estado estable, lo que se encuentra resumido en la tabla 5.10.

En la Fig. 5.12. y 5.13. se muestra la transición de las cargas térmicas durante el intervalo que se realizó el modelado, estas gráficas son en línea recta constante ya que simula el estado estable a 22°C que se encuentra la probeta antes del ensayo hasta alcanzar de manera constante el estado estable con las temperatura finales señaladas.

- **Solución:** En esta sección se detalla los resultados en tablas y figuras del modelado, concretamente en las figuras se puede observar el comportamiento térmico del aislante térmico como se explicará más adelante.
 - **Información de Solución:** En la tabla 5.11. se detalla la información referente a la solución del modelado, que incluye parámetros de refinamiento de mallado, como se muestra la solución en el programa, la forma en que aparece el mallado (líneas, visibilidad de conexiones, entre otros.), además de otros datos meramente informativos.
 - **Resultados:** En la tabla 5.12. se muestran los valores obtenidos de temperatura, de flujo direccional en X de calor, de flujo total de calor en estado estable y el error térmico que existe en el modelado. En cuanto

al flujo total de calor que se obtiene en la simulación, es idealizando el modelo, es decir sin pérdidas, que en el ensayo de conductividad térmica se daban debido a convección y conducción hacia la caja en la que se realizaba el ensayo, el valor que se obtuvo de la curva de calibración de la caja de ensayos fue de 186,47 W (real). Por lo tanto la parte de flujo total nos sirve para ver tan solo la forma en la que esta direccionado el mismo como se observa en la Fig. 5.16.

En la Fig. 5.14., se puede observar la estratificación interna de temperaturas que se dan en el aislante durante el estado estable, teniendo como máxima temperatura 710°C en el área que esta en contacto directo con la cámara de la caja.

Y finalmente en las Fig. 5.15. y 5.17. se observa el flujo direccional de calor en el eje X y el error térmico del flujo total de calor que nos da el modelado.

Unidades

| Sistema de unidades | Métrico (m, kg, N, s, V, A) Grados RPM Celsius |
|---------------------|--|
| Ángulo | Grados |
| Velocidad angular | RPM |
| Temperatura | Celsius |
| Longitud | Metro |
| Peso | Kilogramos |
| Fuerza | Newton |

Tabla 5.1. Tabla de unidades utilizadas en ANSYS.

Modelo

Geometría

| Nombre del objeto | <i>Geometría</i> |
|--|---|
| Estado | Definido completamente |
| Fuente | C:\Users\Felipe\Dropbox\Tesis\Tesis final\Planos y solidos\aislante.ipt |
| Tipo | Inventor |
| Unidad de longitud | Centímetros |
| Control de Elementos | Controlados por Programa |
| Estilo de Visualización | Color de Sólido |
| <u>Cuadro Delimitador</u> | |
| Longitud X | 0,23 m |
| Longitud Y | 0,23 m |
| Longitud Z | 2,55e-002 m |
| <u>Propiedades</u> | |
| Volumen | 1,3274e-003 m ³ |
| Masa | 2,0442 kg |
| <u>Estadísticas</u> | |
| Cuerpos | 1 |
| Nodos | 205273 |
| Elementos | 128316 |
| Malla métrica | Ninguna |
| <u>Opciones básicas de la geometría</u> | |
| Cuerpo Sólido | Si |
| Cuerpos Superficiales | Si |
| Cuerpos Lineales | No |
| Parámetros | Si |
| <u>Opciones Avanzadas de Geometría</u> | |
| Tipo de Análisis | 3-D |
| Descomposición de Caras Divididas | Si |
| Procesamiento de Cercado y Simetría | Si |

Tabla 5.2. Propiedades del archivo del Aislante en Inventor.

| | |
|------------------------------------|--|
| Nombre del objeto | <i>aislante.ipt</i> |
| Estado | Mallado |
| <u>Propiedades Gráficas</u> | |
| Visible | Si |
| <u>Definición</u> | |
| Suprimido | No |
| Comportamiento de rigidez | Flexible |
| Sistema de Coordenadas | Sistema de Coordenadas Default |
| Temperatura de Referencia | Ambiente |
| <u>Material</u> | |
| Material Asignado | Cascarilla de Arroz Molida Aglutinada con Yuca |
| Efectos no Lineales | Si |
| Efectos de Tensión Térmica | Si |
| <u>Cuadro Delimitador</u> | |
| Longitud X | 0,23 m |
| Longitud Y | 0,23 m |
| Longitud Z | 2,55e-002 m |
| <u>Propiedades</u> | |
| Volumen | 1,3274e-003 m ³ |
| Masa | 2,0442 kg |
| Centroide X | -5,6045e-019 m |
| Centroide Y | -8,7298e-019 m |
| Centroide Z | 1,2452e-002 m |
| Momento de Inercia Ip1 | 9,0899e-003 kg·m ² |
| Momento de Inercia Ip2 | 9,0899e-003 kg·m ² |
| Momento de Inercia Ip3 | 1,7965e-002 kg·m ² |
| <u>Estadísticas</u> | |
| Nodos | 205273 |
| Elementos | 128316 |
| Malla Métrica | Ninguna |

Tabla 5.3. Propiedades del aislante térmico en ANSYS.

Sistema de Coordenadas

| Nombre del Objeto | <i>Sistema Global de Coordenadas</i> |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Estado | Completamente Definido |
| <u>Definición</u> | |
| Tipo | Cartesiano |
| ID del Sistema de Coordenadas | 0, |
| Origen | |
| Origen X | 0, m |
| Origen Y | 0, m |
| Origen Z | 0, m |
| <u>Vectores Direccionales</u> | |
| Información Eje X | [1, 0, 0,] |
| Información Eje Y | [0, 1, 0,] |
| Información Eje Z | [0, 0, 1,] |

Tabla 5.4. Sistema de coordenadas.

Material

Cascarilla de Arroz molida aglutinada con Almidón de Yuca

| | |
|-----------------------|---|
| Densidad | 1540, kg m ⁻³ |
| Conductividad Térmica | 0,1362 W m ⁻¹ C ⁻¹ |
| Calor Específico | 1,558e-002 J kg ⁻¹ C ⁻¹ |

Tabla 5.5. Sistema de coordenadas.

Mallado

| Nombre del objeto | <i>Mallado</i> |
|------------------------|----------------|
| Estado | Resuelto |
| <u>Defaults</u> | |
| Preferencia física | Mecánica |
| Relevancia | 100 |

| <u>Tamaño</u> | |
|--|----------------------------|
| Uso de la función avanzada de tamaño | Si |
| Centro de Relevancia | Grueso |
| Tamaño del elemento | 2,e-003 m |
| Tamaño inicial de elemento | Ensamblaje Activo |
| Suavizado | Alto |
| Transición | Rápida |
| Longitud Ángulo central | Grueso |
| Longitud mínima de borde | 5,e-004 m |
| <u>Crecimiento</u> | |
| Usar crecimiento Automático | No |
| Opción de crecimiento | Transición suave |
| Tasa de transición | 0,272 |
| Capas Máximas | 5 |
| Índice de crecimiento | 1,2 |
| Algoritmo de crecimiento | Pre |
| <u>Parche de Opciones de conformado</u> | |
| Triángulo mallador de superficie | Controlado por el programa |
| <u>Avanzado</u> | |
| Revisión de tamaño | Estándar Mecánico |
| Elemento de nodos de tamaño medio | Controlado por el programa |
| Elementos de cara plana | No |
| Número de intentos | 4 |
| Intentos extras para el Ensamblaje | Si |
| Comportamiento de Cuerpo Rígido | Dimensionalmente Reducido |
| Cambio de Forma de Mallado | Deshabilitado |
| <u>Estadísticas</u> | |
| Nodos | 205273 |
| Elementos | 128316 |
| Mallado Métrico | No |

Tabla 5.6. Parámetros y opciones del mallado para modelado.

Estado Estable Térmico

Análisis

| Nombre del objeto | <i>Estado Estable Térmico</i> |
|--------------------------|-------------------------------|
| Estado | Resuelto |
| <u>Definición</u> | |
| Tipo de Física | Térmico |
| Tipo de Análisis | Estado Estable |
| Motor de Solución | ANSYS Mechanical APDL |
| <u>Opciones</u> | |
| Generar solo entrada | No |

Tabla 5.7. Información general del análisis.

Temperatura Inicial- Condición Inicial

| Nombre del Objeto | <i>Temperatura Inicial</i> |
|---------------------------|----------------------------|
| Estado | Completamente Definido |
| <u>Definición</u> | |
| Temperatura Inicial | Temperatura Uniforme |
| Valor temperatura Inicial | 22, °C |

Tabla 5.8. Condiciones Iniciales de Modelado.

Configuración del análisis

| Nombre del Objeto | <i>Configuración del Análisis</i> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Estado | Completamente Definido |
| <u>Pasos de Control</u> | |
| Número de Pasos | 1, |
| Número de Paso Actual | 1, |
| Tiempo Final de Paso | 1, s |
| <u>Controles de Solver</u> | |
| Tipo de Solver | Controlado por el Programa |

| <u>Controles de Radiosidad</u> | |
|--|--|
| Convergencia de Flujo | 1,e-004 |
| Iteración Máxima | 50000, |
| Tolerancia del Solver | 0,1 |
| Resolución Hemicubo | 10, |
| <u>Controles no lineares</u> | |
| Convergencia de Calor | Controlado por el programa |
| Convergencia de Temperatura | Controlado por el programa |
| Búsqueda de Líneas | Controlado por el programa |
| <u>Controles de Salida</u> | |
| Calcular Flujo Térmico | Si |
| Misceláneos General | No |
| Calcular el resultado | En todos los puntos de tiempo |
| Número máximo de sets de resultados | Controlado por el programa |
| <u>Manejo del Análisis de Datos</u> | |
| Directorio de Archivos del Solver | C:\Users\Felipe\Dropbox\Tesis\Tesis final\Estado Estable_files\dp0\SYS\MECH\ |
| Análisis Futuro | Estado Transitorio |
| <u>Directorio de Archivos Temporales del Solver</u> | |
| Grabar MAPDL db | No |
| Borrar Archivos Innecesarios | Si |
| Unidades Solver | Activas del Sistema |
| Unidades del sistema Solver | mks |

Tabla 5.9. Parámetros de Configuración del Análisis del Modelado.

Carga térmica

| Nombre de Objeto | Temperatura 1 | Temperatura 2 |
|--------------------------|------------------------|---------------|
| Estado | Definido completamente | |
| Alcance | | |
| Método de Alcance | Selección Geométrica | |
| Geometría | 1 Cara | |
| Definición | | |
| Tipo | Temperatura | |
| Magnitud | 710, °C | 275, °C |

Tabla 5.10. Definición de carga térmica en el Aislante Térmico.

Carga térmica 1.

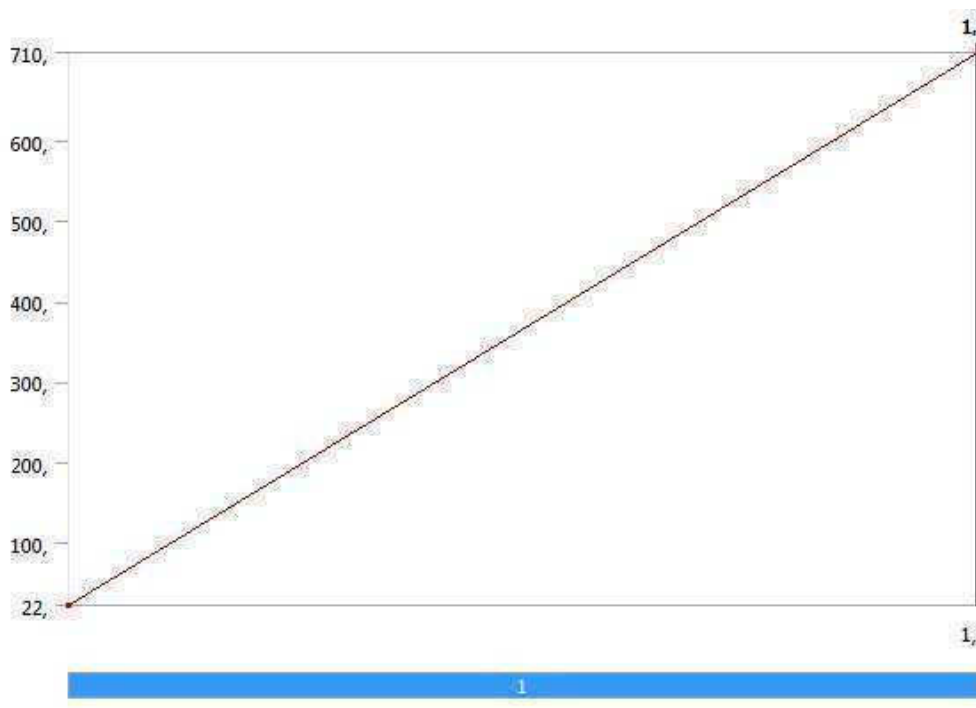


Figura 5.12. Transición de Carga térmica 1 desde el estado en reposo hasta el estado estable.

Carga térmica 2.

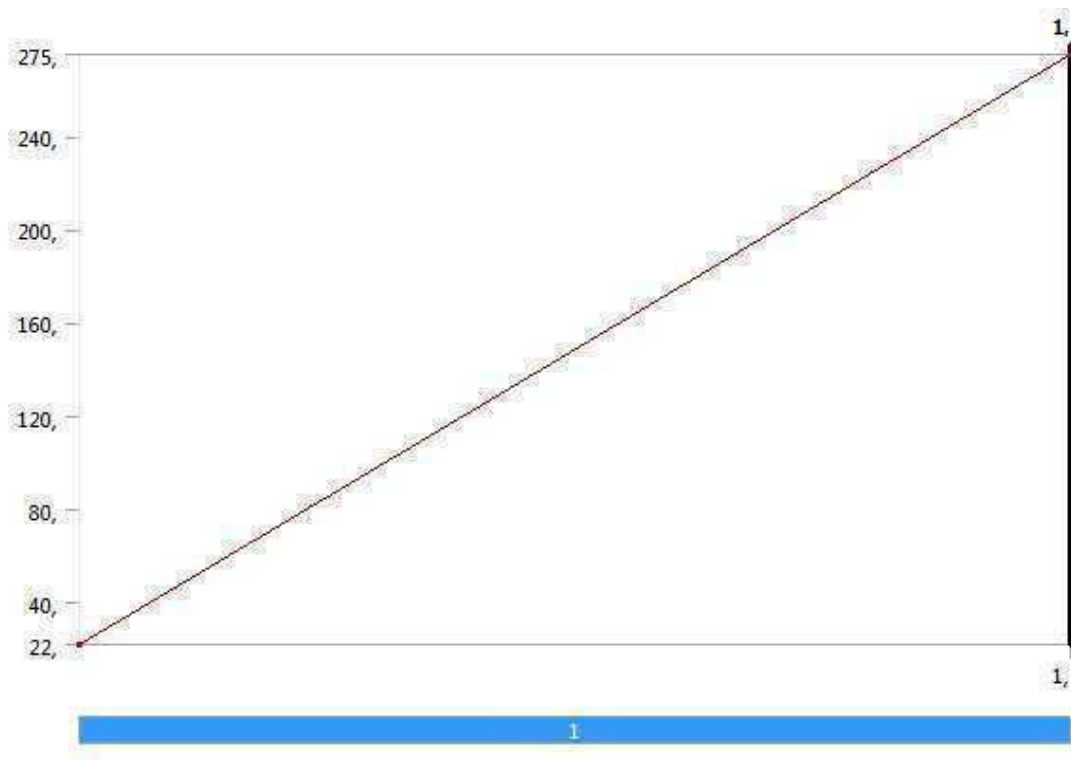


Figura 5.13. Transición de Carga térmica 2 desde el estado en reposo hasta el estado estable.

Solución

| Nombre del objeto | Información de Solución |
|--|-------------------------|
| Estado | Resuelto |
| <u>Refinamiento de Mallado Adaptativo</u> | |
| Max Bucles de Refinamiento | 10, |
| Profundidad de refinamiento | 2, |
| <u>Información Solución</u> | |
| Salida de Solución | Ventana Solver |
| Intervalo de Actualización | 0,25 s |
| Mostrar Puntos | Todos |
| <u>EF Visibilidad de Conexión</u> | |
| Visibilidad Activa | Si |
| Mostrar | Todos los Conectores EF |
| Dibujar Conexiones junto a | Todos los Nodos |

| | |
|-----------------------|------------------|
| Color de Línea | Tipo de Conexión |
| Visible en Resultados | No |
| Grosor de Línea | Única |
| Tipo de muestra | Líneas |

Tabla 5.11. Información de Solución.

Resultados

| | <i>Temperatura</i> | <i>Flujo Direccional de Calor</i> | <i>Flujo Total de Calor</i> | <i>Error Térmico</i> |
|---|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Estado | Resuelto | | | |
| <u>Alcance</u> | | | | |
| Método de Alcance | Selección Geométrica | | | |
| Geometría | Todos los cuerpos | | | |
| <u>Definición</u> | | | | |
| Por | Tiempo | | | |
| Calcular tiempo | Yes | | | |
| <u>Identificador</u> | | | | |
| Suprimido | No | | | |
| Orientación | X Axis | | | |
| Resultados | | | | |
| Mínimo | 275, °C | -7188,4 W/m ² | 522,59 W/m ² | 1,8257e-019 |
| Máximo | 710, °C | 8287,6 W/m ² | 15628 W/m ² | 0,31262 |
| <u>Información</u> | | | | |
| Tiempo | 1, s | | | |
| Paso de Carga | 1 | | | |
| Sub-paso | 1 | | | |
| Número de Iteración | 1 | | | |
| <u>Resultados del Punto de Integración</u> | | | | |
| Opciones | de | Promediado | | |
| Muestra | | | | |

Tabla 5.12. Tabla de resultados.

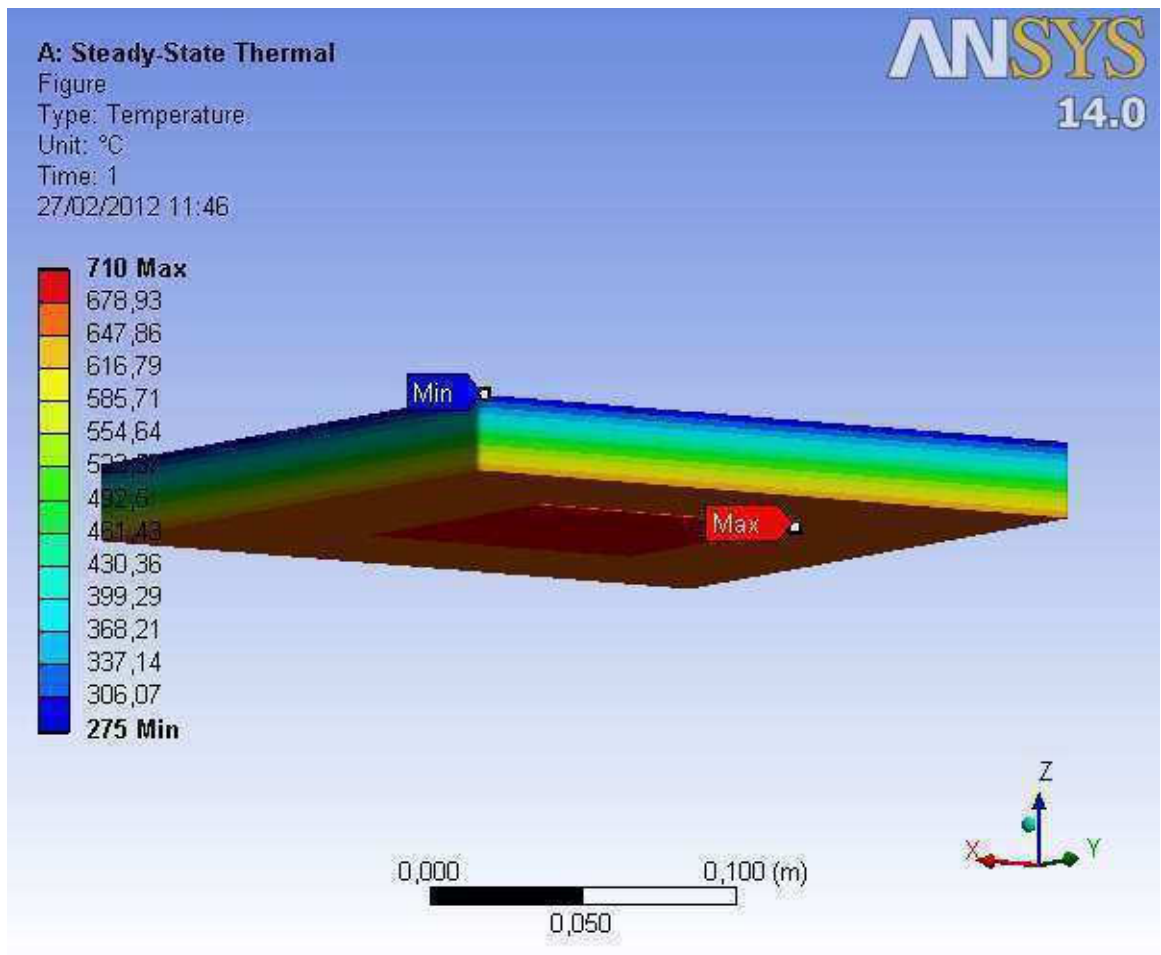


Figura 5.14. Distribución de temperaturas en Estado Estable.

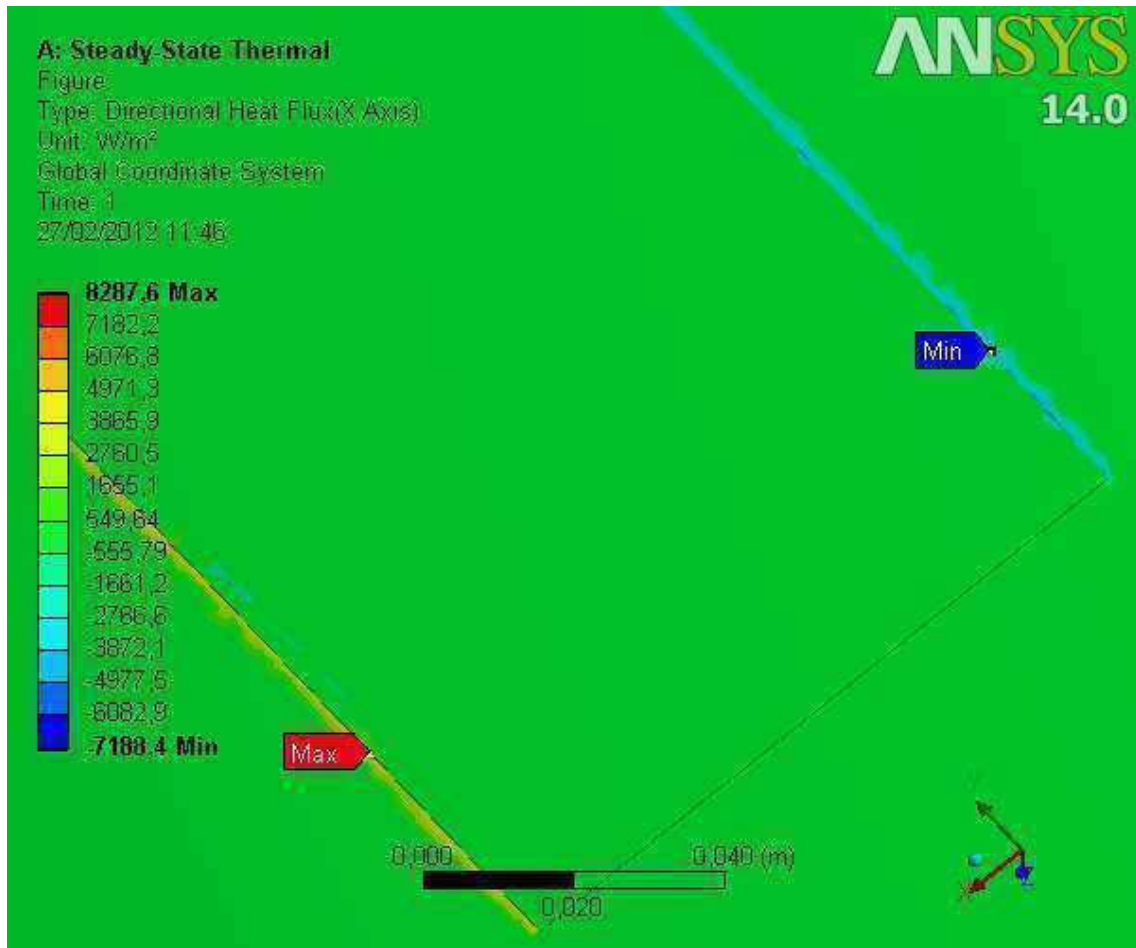


Figura 5.15. Flujo de calor Direccional en el Eje X en el estado estable.

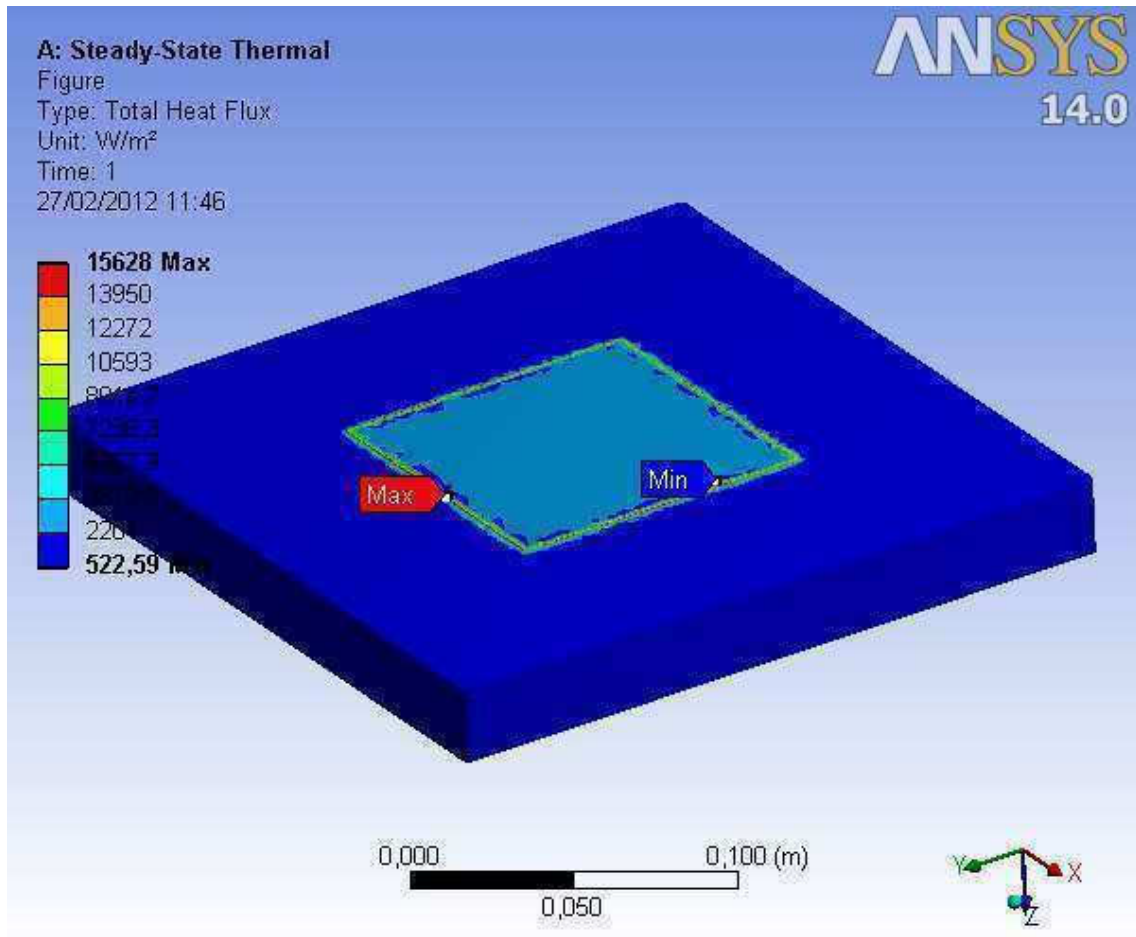


Figura 5.16. Flujo de calor total en el Estado estable.

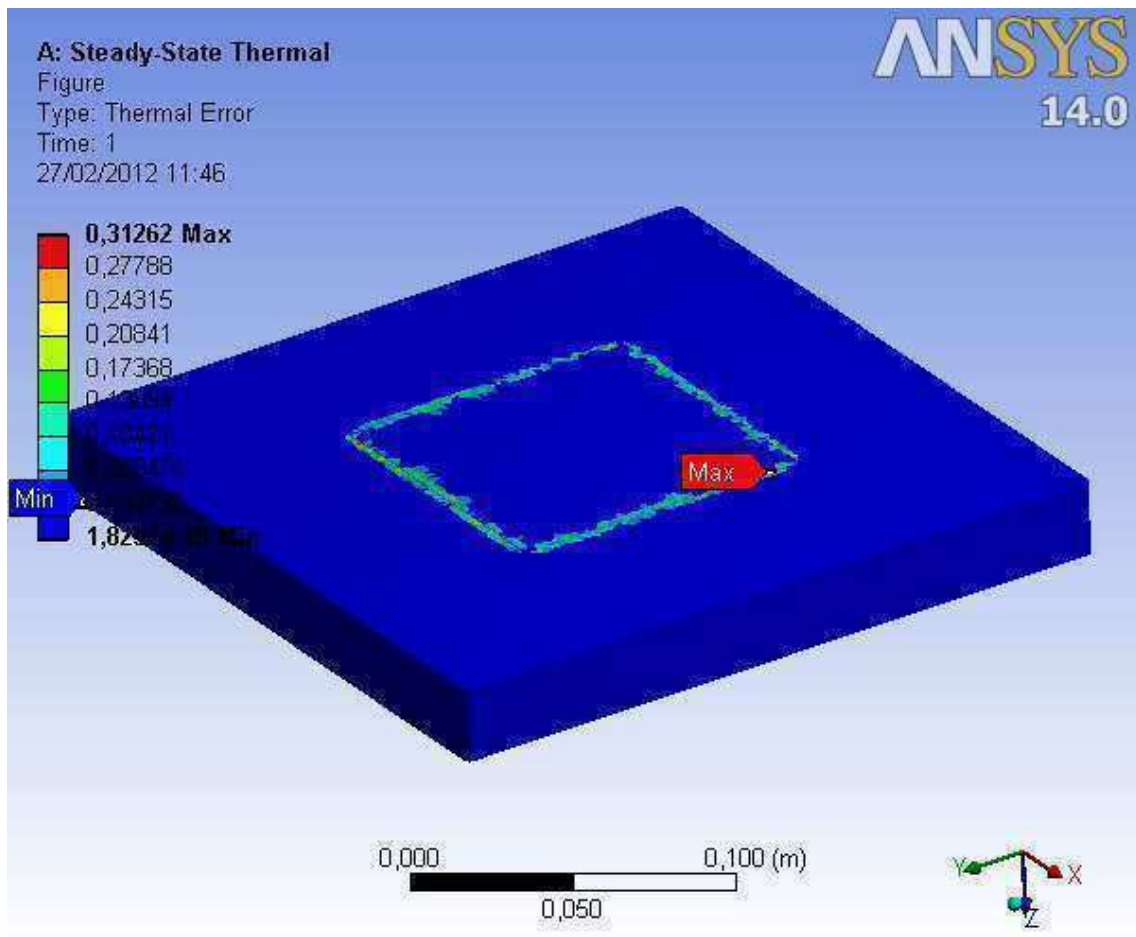


Figura 5.17. Error térmico en el Estado Estable.

5.5.2. Estado Transitorio

En esta parte, igualmente se adjunta el informe final del modelado en este caso del estado transitorio, a diferencia del numeral 5.5.1., acá tan sólo se explicara de manera amplia los ítems en los que haya variación con respecto al informe del estado estable, pero se continuará indicando en que tablas se encuentran los parámetros.

Este análisis fue llevado a cabo con la finalidad de determinar y mostrar como se va distribuyendo la temperatura y el flujo de calor en el aislante térmico de cascarilla de arroz molida, durante el tiempo que le tomó alcanzar el estado estable, razón por la cual los valores obtenidos durante este variaran en cierto grado de los obtenidos durante los ensayos de la investigación.

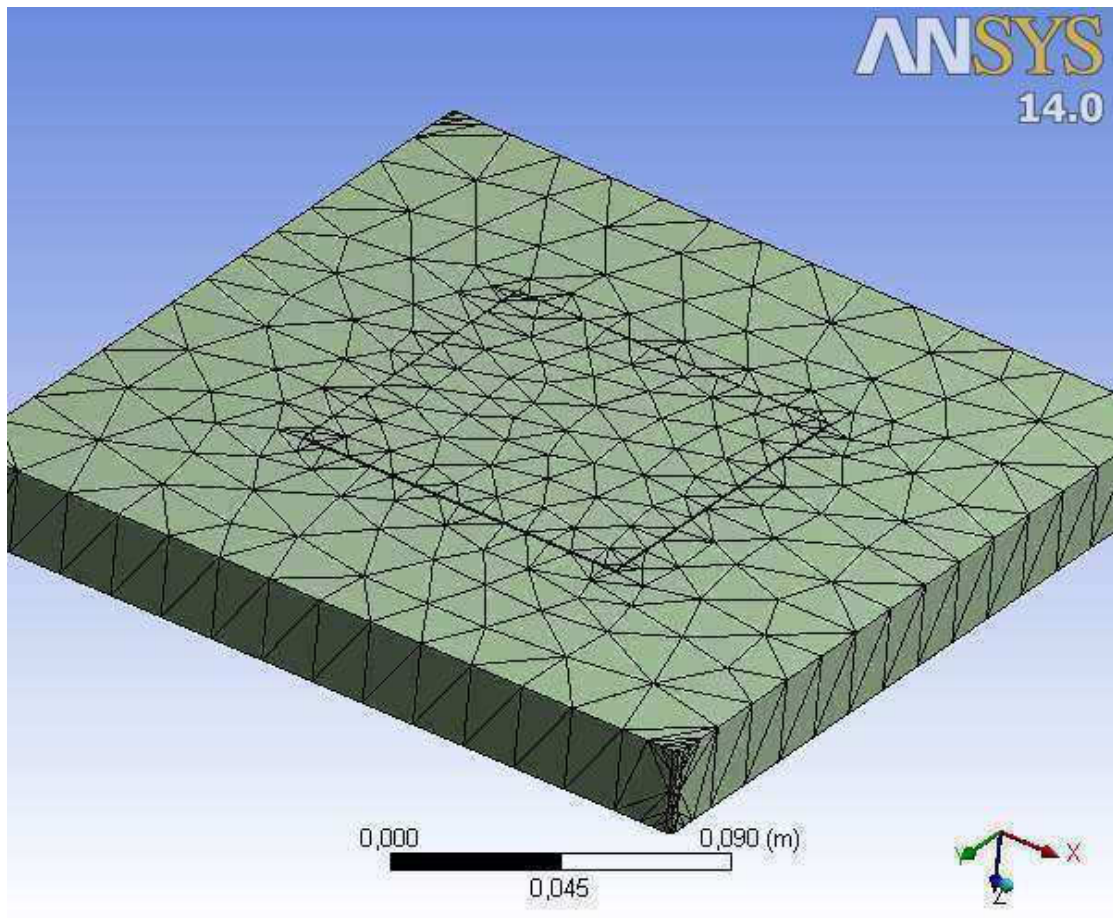


Figura 5.18. Plancha de Aislante térmico realizado el mallado en el programa ANSYS previo análisis en Estado Transitorio.

Contenido

- **Unidades:** Se mantienen las mismas unidades del modelado anterior, las mismas que están especificadas en el informe de estado estable en la tabla 5.1.

- **Modelo:**
 - **Geometría:** La geometría del aislante no cambia, ya que se mantienen los mismos parámetros geométricos de las tablas 5.2. y 5.3.
 - **Sistema de Coordenadas:** Se mantiene el mismo sistema de coordenadas.
 - **Información del Material:** **Cascarilla de Arroz molida aglutinada con Almidón de Yuca** El material se mantiene (tabla 5.5.).
 - **Mallado:** En el mallado de este modelado por tratarse de una operación mucho más compleja y que abarca una gran cantidad de recursos del sistema, existen diferencia con el anterior en lo referente a tamaño del elemento finito, el nivel de suavizado, el número de elementos finitos, reducción en el número de nodos, entre otros; estos parámetros se los puede apreciar en la tabla 5.13.

- **Estado Transitorio Térmico:** En los literales siguientes se explicará la configuración que se realizó en el ANSYS, además de los parámetros que se tomaron en cuenta para poder llevar a cabo el modelado en el Estado Transitorio Térmico.

- **Condiciones Iniciales:**
 - **Análisis:** Lo referente al análisis se lo explica en la tabla 5.14., en la que se detalla que el tipo de operación que se realiza es un modelado térmico, específicamente un análisis transitorio, todo esto se lo definió en el Workbench del ANSYS, y se lo resolvió usando la herramienta Mechanical APDL, que es la utilidad en la que se resuelven los elementos finitos.

- **Temperatura Inicial:** Al igual que en el modelado del Estado Estable, se uso una temperatura inicial de 22°C como se muestra en la tabla 5.15., esto debido que esa era la temperatura ambiente en la que se empezaban aproximadamente los ensayos de conductividad térmica. A diferencia que en el estado estable, el tiempo de análisis fue 1000 min, como se muestra en la tabla 5.16.
- **Configuración del Análisis:** Como se indico en el estado estable, el elemento finito que se usa es un Hemicubo, en este caso con una relevancia de 10, por lo tanto es más grande que el usado en el análisis anterior.

El análisis se simuló con una duración de 1000 minutos de la prueba, con tiempos de intervalo mínimo de 1s a máximo de 100s, debido a esto fue que se optó por usar un Hemicubo de menor relevancia que en el modelado anterior.

Se toma en cuenta durante el modelado (tabla 5.16.), un solo paso de solución a pesar de presentar un número máximo de 60000 intervalos, estos es por que la solución se realiza con un flujo de calor constante a lo largo de todos los 1000 min, de haberse integrado un valor distinto de flujo de calor en determinado punto de la simulación, esto hubiese dado inicio a un nuevo paso de cálculo dentro de la solución por elementos finitos.

Todo lo mencionado se lo puede encontrar resumido en la tabla 5.16., en el que se menciona también que controles no lineares están controlados por el programa.

- **Carga térmica:** En lo que respecta a esta parte (tabla 5.17.), Se definió el flujo de calor con un valor de $\Delta Q=186,47$, el cual fue obtenido de la curva de calibración, el alcance de ubicación y selección de acción de este flujo de calor se lo hizo de manera geométrica es decir indicando en que cara actúa y el sentido que tiene.

Por tal motivo, las temperaturas se generan automáticamente en una tabla según el intervalo de tiempo que va tomando el programa, hasta llegar al tiempo de finalización del ensayo computacional, alcanzando las temperaturas máximas a las que llegaron cada una de las caras (tabla 5.18. y 5.19.).

- **Solución:**

- **Información de Solución:** En la tabla 5.10. se detalla la información referente a la solución del modelado, que incluye parámetros de refinamiento de mallado, como se muestra la solución en el programa, la forma en que aparece el mallado (líneas, visibilidad de conexiones, entre otros.), además de otros datos meramente informativos.
- **Resultados:** En la tabla 5.20. se muestran los valores obtenidos de temperatura, a diferencia del modelo de estado estable, aquí se muestran mínimos y máximos de temperaturas obtenidas. En la tabla 5.21., se muestra el flujo direccional en X de calor, y el flujo total de calor en estado transitorio que en este caso está establecido en 186,47 W, dando un calor total máximo de 34789 W/m² durante el periodo de modelado, esto sin tomar en cuenta pérdidas por convección y conducción hacia el banco de pruebas.

En la gráfica de la Fig. 5.19., se observa el incremento de las temperaturas de ambas caras del material a lo largo del modelado durante los 1000 minutos, ambas son curvas lineales, esto debido al hecho que el material aislante tiene un comportamiento isotrópico hasta cerca de los 750°C

En el caso de la Fig.5.20., se puede ver como el calor se distribuye en 3D a lo largo del espesor del material, siendo la temperatura máxima la que está en contacto directo con la cámara del banco de pruebas, motivo por el cual la temperatura se expande en forma de olas (Fig. 5.23.) hacia la parte externa del aislante y sus extremos, lo mismo se puede observar en 2D en las dos caras del material (Fig.5.21. y Fig. 5.22.).

Finalmente en la Fig. 5.24., se observa que al igual que la temperatura el flujo de calor total también ocurre en forma de olas en 3D.

Mallado

| Nombre del Objeto | <i>Mallado</i> |
|--|----------------------------|
| Estado | Resuelto |
| <u>Defaults</u> | |
| Preferencia Física | Mecánica |
| <u>Tamaño</u> | |
| Usar función Avanzada de tamaño | Si |
| Centro de Relevancia | Grueso |
| Tamaño de Elemento | 5, mm |
| Tamaño Inicial de partícula | Ensamblaje Activo |
| Suavizado | Medio |
| Transición | Rápida |
| Ángulo de Centro | Grueso |
| Separación mínima del borde | 5,e-004 m |
| <u>Crecimiento</u> | |
| Usar crecimiento automático | No |
| Opción de crecimiento | Transición Suave |
| Relación de transición | 0,272 |
| Máximo de Capas | 5 |
| Tasa de crecimiento | 1,2 |
| <u>Opciones de parchado de conformado</u> | |
| Superficie Triangular Malladora | Controlada por el Programa |
| <u>Avanzado</u> | |
| Revisión de Superficie | Estándar Mecánica |
| Elementos de lados rectos | No |
| Número de intentos | 4 |
| Intentos extras para ensamblajes | Si |
| Comportamiento de cuerpo rígido | Dimensionalmente Reducido |
| Cambio de forma de mallado | Deshabilitado |
| <u>Estadísticas</u> | |

| | |
|------------------|------|
| Nodos | 4354 |
| Elementos | 2352 |

Tabla 5.13. Parámetros de Mallado.

Estado Transitorio Térmico

Análisis

| | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Nombre Objeto | <i>Estado Transitorio</i> |
| Estado | Resuelto |
| <u>Definición</u> | |
| Tipo de Física | Térmica |
| Tipo de Análisis | Transitorio |
| Objetivo de Solver | Mechanical APDL |
| <u>Opciones</u> | |
| Generar Sólo Entrada | No |

Tabla 5.14. Descripción de Análisis.

Condiciones Iniciales

Temperatura Inicial

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Nombre Objeto | <i>Temperatura Inicial</i> |
| Estado | Completamente Definido |
| <u>Definición</u> | |
| Temperatura Inicial | Temperatura Uniforme |
| Valor Inicial de Temperatura | 22, °C |

Tabla 5.15. Condiciones de temperatura Inicial.

Configuración del Análisis

| Nombre del Objeto | <i>Configuración del Análisis</i> |
|---------------------------------------|--|
| Estado | Completamente Definido |
| <u>Pasos de Control</u> | |
| Número de pasos | 1, |
| Paso Actual | 1, |
| Tiempo de final del paso | 1000, min |
| Tiempo inicial de paso | 10, s |
| Mínimo tiempo de paso | 1, s |
| Máximo tiempo de paso | 100, s |
| <u>Controles de Solver</u> | |
| Tipo de Solver | Térmico Transitorio |
| <u>Controles de Radiosidad</u> | |
| Convergencia de Flujo | 1,e-004 |
| Máximas Iteraciones | 60000, |
| Tolerancia Solver | 0,1 |
| Resolución Hemicubo | 10, |
| <u>Controles no-lineares</u> | |
| Convergencia del Calor y Temp. | Controlados por el Programa |
| Formulación no-linear | Elementos Diferenciales |
| <u>Controles de Salida</u> | |
| Calcular Flujo Térmico | Yes |
| Calcular resultados en | Todos los puntos de tiempo |
| Sistema de Unidades del Solver | mks |

Tabla 5.16. Configuraciones del Análisis.

Carga Térmica

| Nombre del Objeto | <i>Flujo de Calor</i> | <i>Temperatura 1</i> | <i>Temperatura 2</i> |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Estado | Completamente Definido | | |
| <u>Alcance</u> | | | |
| Método de Alcance | Selección Geométrica | | |
| Geometría | 1 Cara | | |
| <u>Definición</u> | | | |
| Tipo | Flujo de Calor | Temperatura | |
| Magnitud | 186,47 W/m ² | Tabulado | |

Tabla 5.17. Carga Térmica.

Temperatura 1

| Pasos | Tiempo [s] | Temperatura [°C] |
|-------|------------|------------------|
| 1 | 0, | 22, |
| | 60000, | 275, |

Tabla 5.18. Desarrollo Temperatura 1.

Temperatura 2

| Pasos | Tiempo [s] | Temperatura [°C] |
|-------|------------|------------------|
| 1 | 0, | 22, |
| | 1000, | 709, |

Tabla 5.19. Desarrollo Temperatura 2.

Solución:

Resultados

| | <i>Temperatura Global Máxima</i> | <i>Temperatura Global Mínima</i> |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Estado | Resuelto | |
| <u>Definición</u> | | |
| Tipo | Temperatura | |
| Supreso | No | |
| <u>Alcance</u> | | |
| Método de Alcance | Global Máximo | Global Mínimo |
| <u>Resultados</u> | | |
| Mínimo | 28,87 °C | 24,526 °C |
| Máximo | 709, °C | 275, °C |

Tabla 5.20. Resultados Temperatura.

Resultados Globales

| | <i>Temperatura</i> | <i>Flujo Total de Flujo de Calor</i> | <i>de Flujo de Calor Direccional</i> |
|--|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Estado | Resuelto | | |
| <u>Alcance</u> | | | |
| Método de Alcance | Selección Geométrica | | |
| Geometría | Todos los Cuerpos | | |
| <u>Definición</u> | | | |
| Tipo | Temperatura | Flujo Total de Flujo de Calor | de Flujo de Calor Direccional |
| Por | Tiempo | | |
| Se Muestra Tiempo | Último | | |
| Calcular Histórico de Tiempo | Si | | |
| Resultados | | | |
| Mínimo | 275, °C | 4,1032e-002 W/m ² | -5831,1 W/m ² |
| Máximo | 709, °C | 34789 W/m ² | 7565,6 W/m ² |
| <u>Valor Mínimo Durante el Tiempo</u> | | | |
| Mínimo | 24,526 °C | 2,2686e-004 W/m ² | -5831,1 W/m ² |
| Máximo | 275, °C | 4,1032e-002 W/m ² | -58,566 W/m ² |
| <u>Valor Máximo Durante el Tiempo</u> | | | |
| Mínimo | 28,87 °C | 349,42 W/m ² | 75,992 W/m ² |
| Máximo | 709, °C | 34789 W/m ² | 7565,6 W/m ² |

Resultados Puntos de Integración

Opción de muestra

Promedio

Tabla 5.21. Resultados Globales.

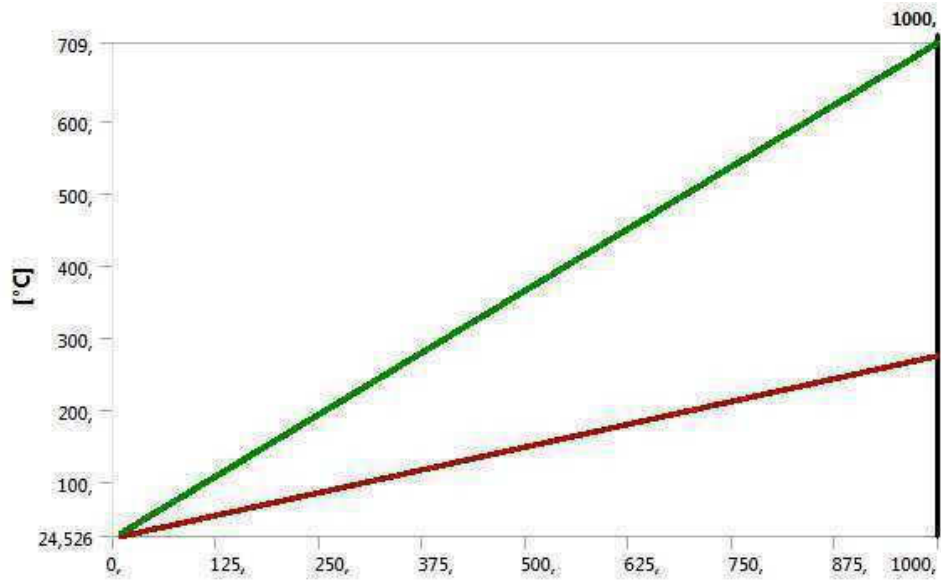


Figura 5.19. Resultados Temperatura Máxima y Mínima.

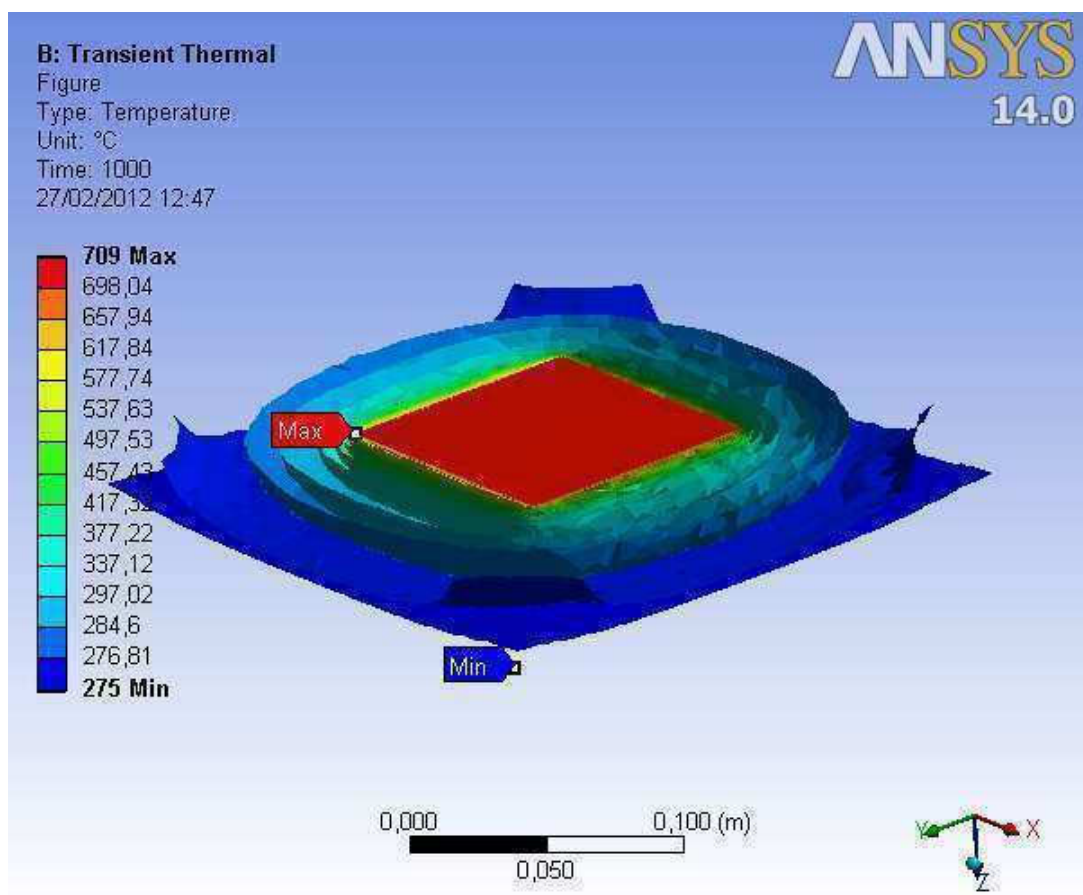
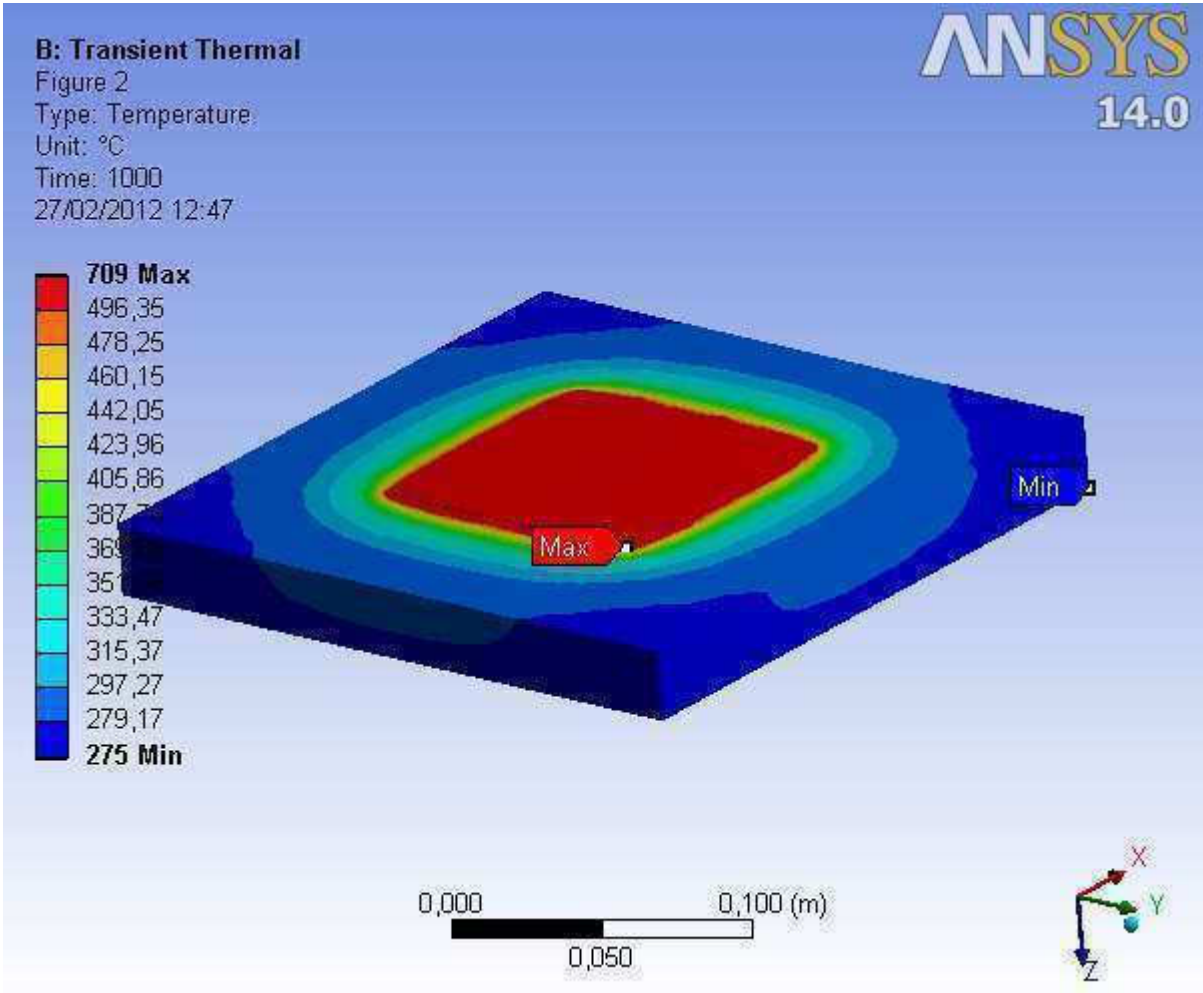
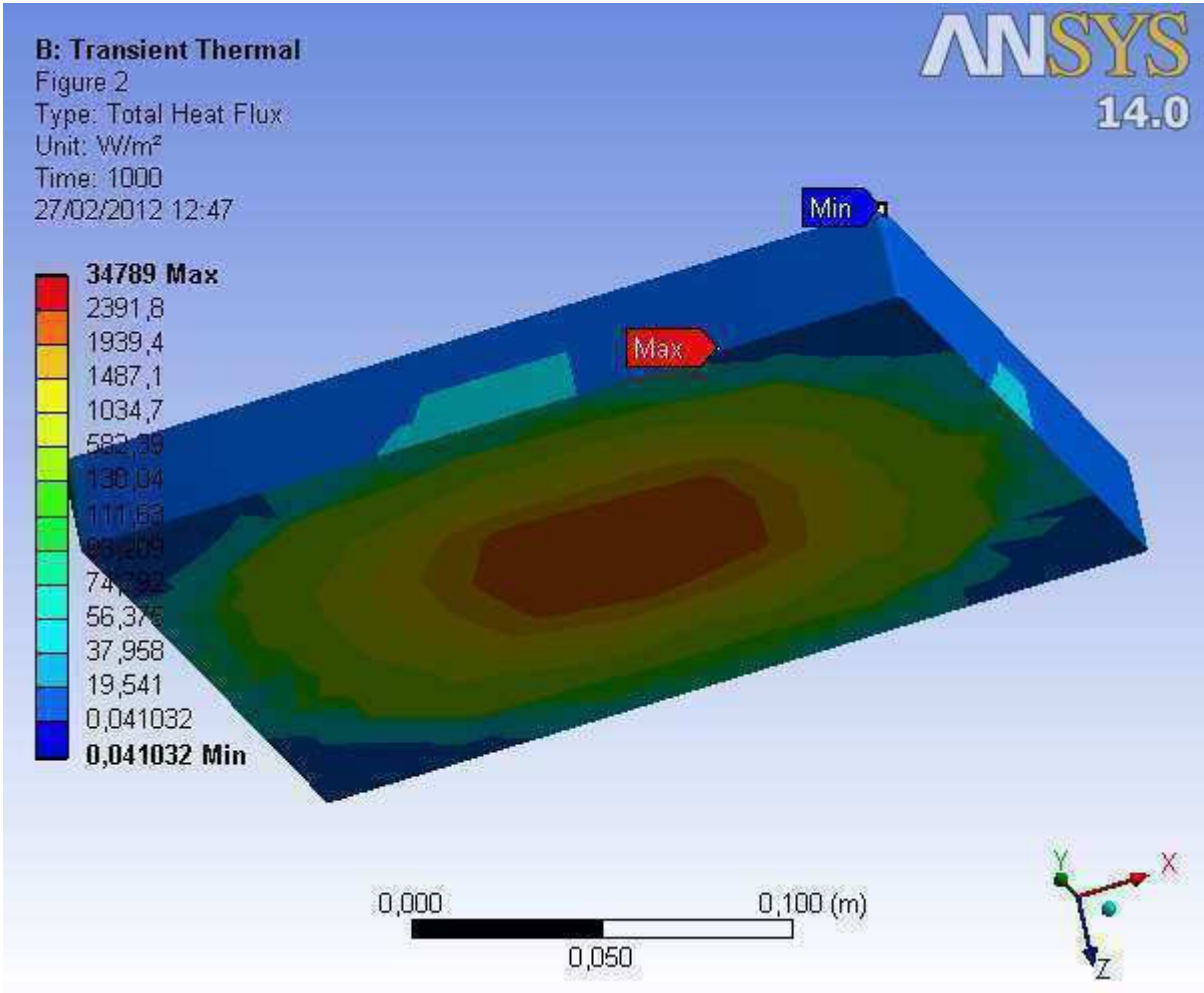


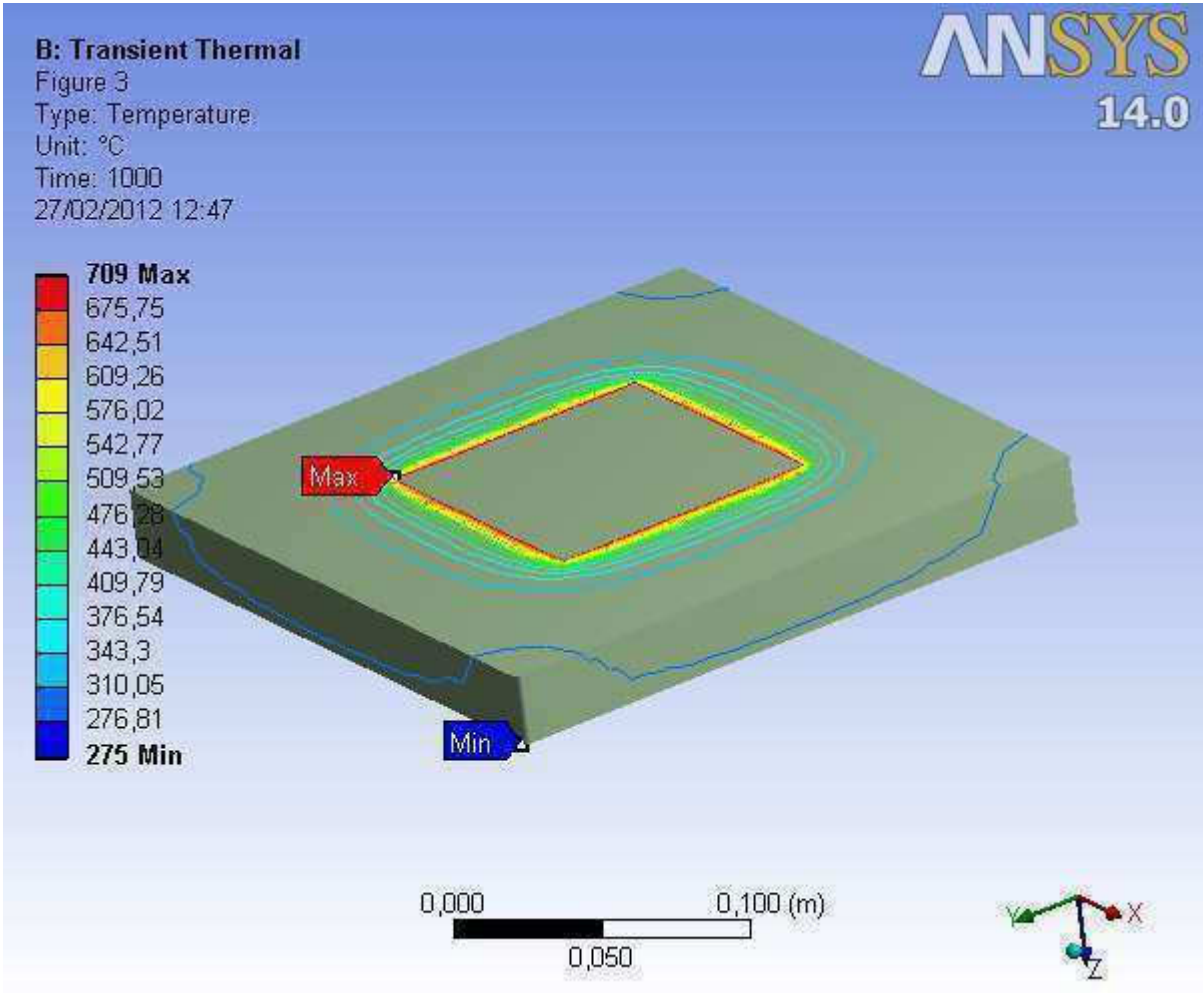
Figura 5.20. Distribución en Capas de la Temperatura.



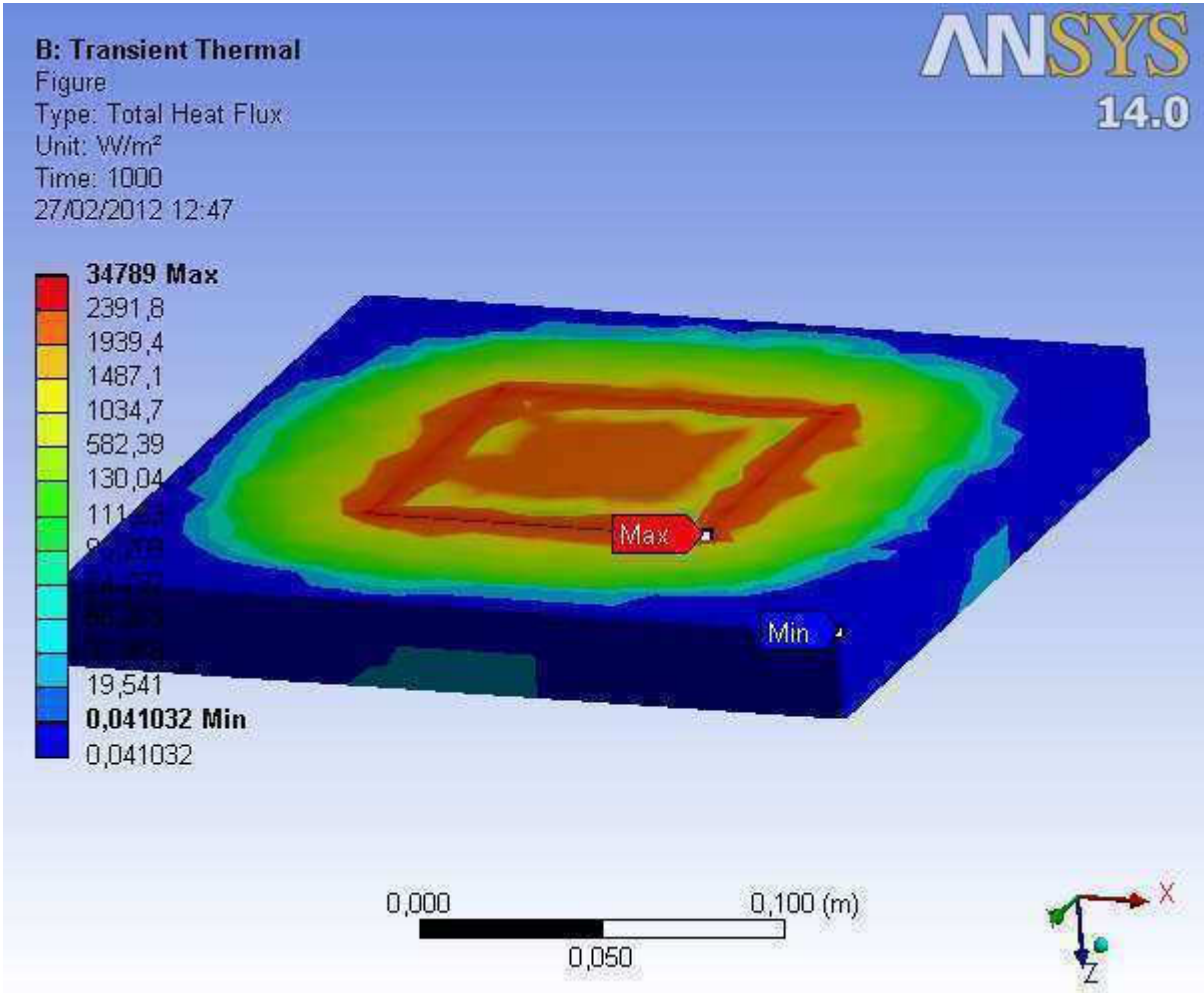
5.21. Distribución de la Temperatura.



5.22. Distribución de la Temperatura.



5.23. Isolíneas de Temperatura.



5.24. Flujo de Calor Total.

CAPÍTULO 6. ENSAYOS DE CAMPO

6.1. Normativa ASTM

6.1.1. ASTM C 168: Terminología relacionada con aislamiento térmico⁶

En esta sección se presenta las especificaciones para las diferentes terminologías y simbologías usadas, entre las más relevantes:

$k = \lambda$ Conductividad Térmica

$$k = \frac{Q}{A} * \frac{L}{\Delta T}$$

Donde:

Q: Calor útil

A: Área transversal al flujo de calor.

L: espesor de la plancha de aislante

ΔT : Diferencia de temperatura

Como está indicado en el capítulo 4, la forma para determinar la conductividad térmica de las planchas de aislante ecológico, fue esta ecuación (1) según ASTM C 168.

Resistencia térmica R

Es la cantidad determinada por la diferencia de temperatura, en el estado estacionario, entre dos superficies definidas de un material o una construcción que induce un calor de la unidad caudal a través de una unidad de área.

$$R = \frac{\Delta T}{q}$$

Donde:

⁶ Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,06.

ΔT : diferencia de temperaturas

q : es el vector de flujo de calor $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

6.1.2. ASTM C 209: Métodos de prueba para el Tablero de fibras celulósicas de aislamiento

En este volumen de la Norma, se encuentran las pruebas para determinar algunas propiedades mecánicas, que se ponen a consideración:

6.1.2.1. Resistencia a la flexión ASTM C 209, ítem 10

Descripción de la prueba.

Determinar la carga transversal mediante la colocación de la muestra en los bordes de cojinetes horizontales 12 pulgadas (305 mm) de separación y de aplicar la carga en la mitad muestra, de modo que la cabeza de las máquinas de ensayo, a través del cual se aplica la carga, se mueve a una velocidad de 6 ± 2 pulg. / min (152 ± 51 mm / min) hasta que ocurra una falla.

Medidas de la probeta 76×381 mm²

$$MOR = \frac{6P}{t^2}$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa)

P = Carga Transversal (N)

t = Espesor (mm)

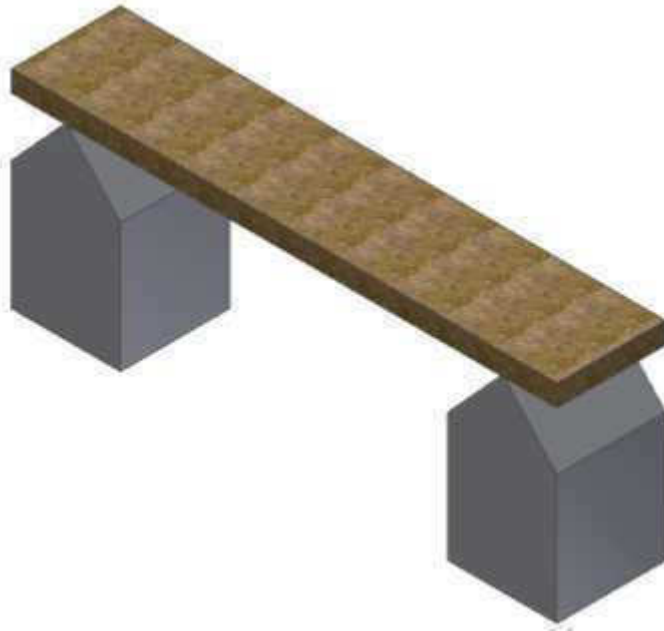


Figura 6.1, Esquema de la prueba para medir la flexión.

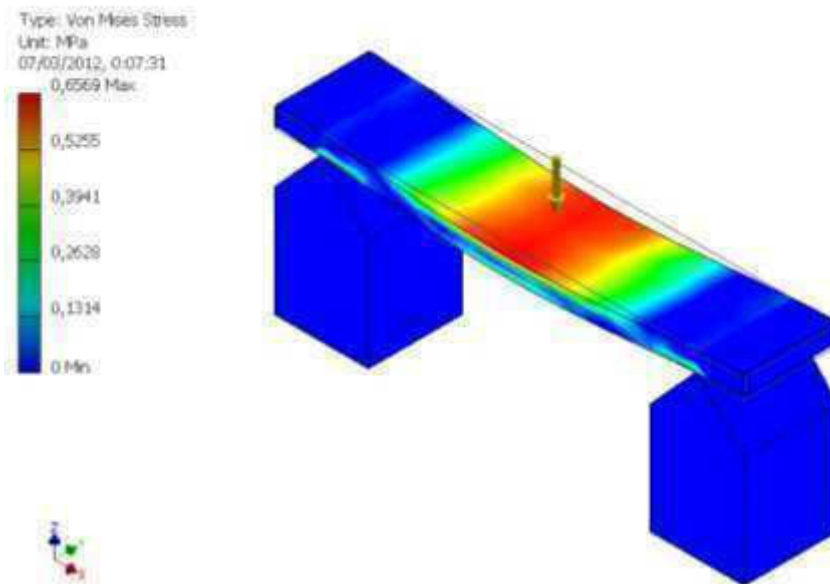


Figura 6.2, Simulación en Autodesk Inventor

6.1.2.2. Resistencia a la tracción paralela a la superficie ASTM C 209, ítem 12

Establecer la máquina de ensayo para una velocidad de separación de las mordazas de $2 \pm 1/4$ pulg. / Min (51 ± 6 mm / min).

Fijar las muestras en las mandíbulas a una distancia mínima de 6 pulgadas (152 mm). Las muestras de ruptura dentro de 1/2 pulgada (13 mm) de las mordazas se tendrá en cuenta.

La probeta debe tener las dimensiones mostradas.

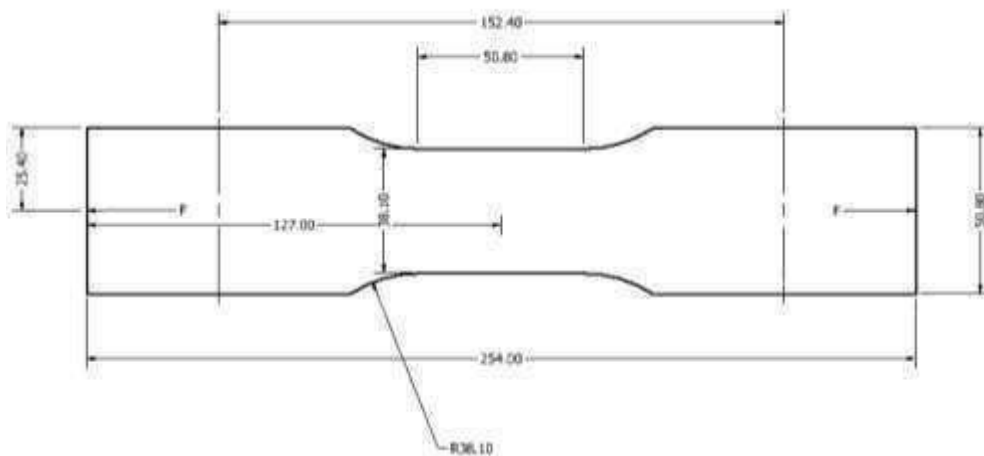


Figura 6.3, medidas para la probeta de resistencia a la atracción paralela.



Figura 6.4, esquema de la probeta para la prueba de resistencia a la tracción.

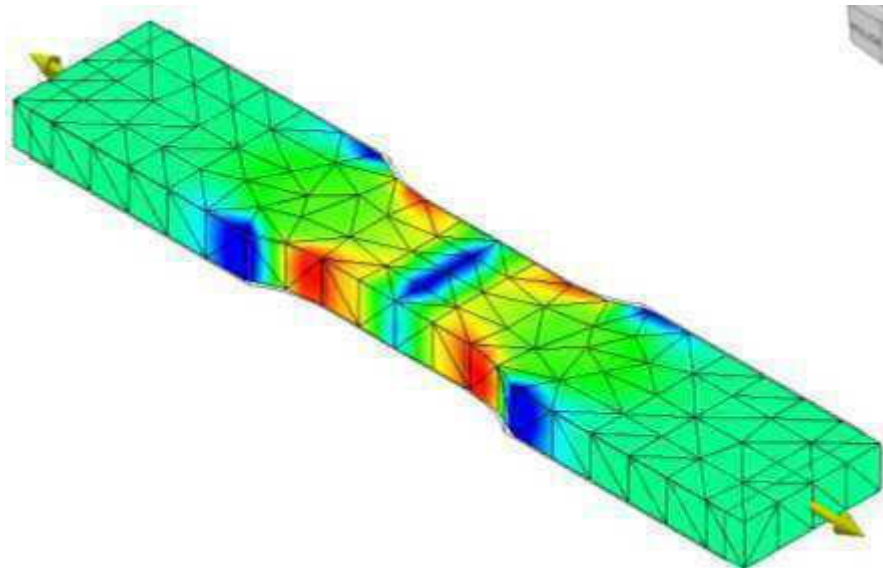


Figura 6.5.a, Simulación en Autodesk Inventor para la prueba de resistencia a la tracción.

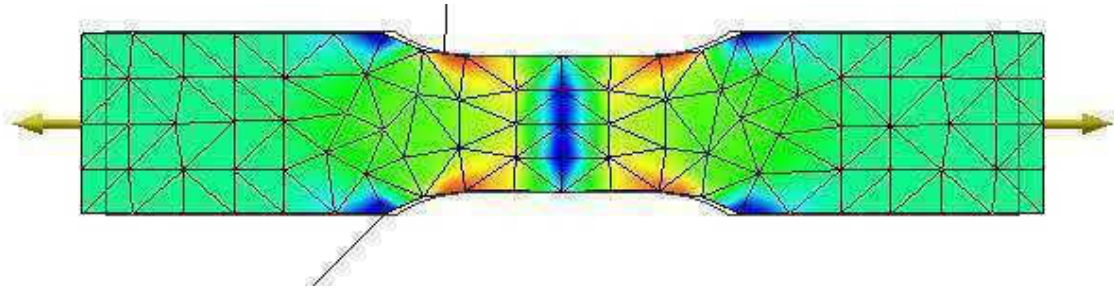


Figura 6.5.b, Simulación en Autodesk Inventor para la prueba de resistencia a la tracción.

6.1.2.3. Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie ASTM C 209, ítem 13

El aparato deberá ser tal como se muestra en la fig. 6.6 y constará de dos bloques de 2 por 2 por 1 1/4 pulgadas (51 por 51 por 32 mm).

Pegue las dos superficies de las muestras a los bloques con un adhesivo adecuado. Después de que el adhesivo ha establecido un período de tiempo suficiente, aplicar una carga a una velocidad de $2 \pm 1/4$ pulg. / Min (51 ± 6 mm / min) a los ganchos hasta la separación dentro del bloque.

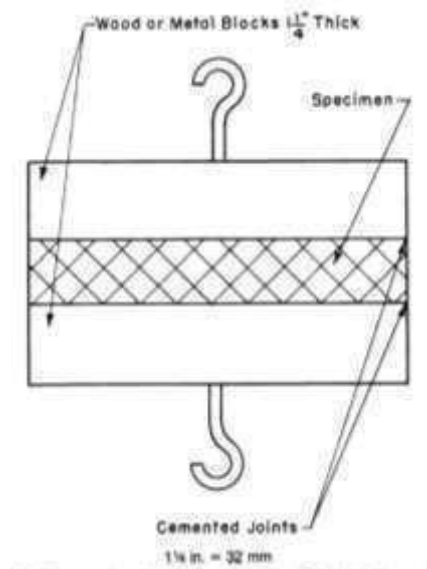


Figura 6.6, tomado de la Norma ASTM C 209, ítem 13



Figura 6.7, esquema de la probeta para la prueba de tracción perpendicular.

6.1.3. ASTM C 177: Método de prueba estándar para el estado de equilibrio para las mediciones de flujo de calor y las propiedades térmicas de transmisión por medio del aparato de la placa caliente.

Este inciso fue tomado como guía para realizar los ensayos, ajustando a las necesidades y bajo condiciones de funcionamiento que se establecieron y se realizaron en esta investigación; todo el proceso que se describió en el capítulo 4.

| Nominal Thickness in. (mm) | Tolerance ± % |
|-------------------------------|------------------|
| 3/8 (10) | 12 |
| 7/16 (11) | 12 |
| 1/2 (13) | 10 |
| 9/16 (14) | 10 |
| 5/8 (16) | 10 |
| 25/32 (20) | 8 |
| 1 (25) | 7 |
| 1 1/2 (38) | 6 |
| 2 (51) | 5 |
| 2 1/2 (64) | 5 |
| 3 (76) | 5 |

Tabla 6.1, Tolerancia para la conductividad térmica según el espesor, fuente ASTM C 208, tabla 3

6.1.4. ASTM C 870: Práctica para el acondicionamiento de los materiales de aislamiento térmico

El equilibrio para la prueba se considera que se alcanzó cuando la tasa de incremento en la masa del espécimen no es superior a la especificada para el material que está siendo probado. En ausencia de un valor determinado, un aumento de menos del 0,1% de la masa de la muestra después de una exposición de 24 horas se considera satisfactorio.

Aire mantuvo a una humedad relativa de $50 \pm 5\%$ ya una temperatura de 23 ± 2 °C (73 ± 4 °F).

$$C = \frac{R}{100 + R} * 100$$

Donde:

C= contenido de humedad %

R= humedad recuperada %

6.1.5. ASTM C 1045: Práctica para el cálculo de la transmisión térmica

Este volumen de la norma es el complemento de la ASTM C177 y la ASTM C168, tomando solo la propiedad que en la ASTM C168 no se menciona, la cual es:

Transmitancia térmica, U (a veces llamado coeficiente global de transferencia de calor), y se calcula:

$$U = \frac{Q}{A * (T_1 - T_2)}$$

6.2. Tabulación y comparación de parámetros mecánicos y termofísicos

6.2.1. ASTM C 177

Determinación de la densidad.

| # | Masa (g) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | (único valor variable) | |
|----|----------|---------------|------------|------------------------|-------------------------------|
| | | | | Espesor (mm) | Densidad (Kg/m ³) |
| 1 | 500 | 250 | 250 | 16,1 | 496,8944099 |
| 2 | 500 | 250 | 250 | 15,7 | 509,5541401 |
| 3 | 500 | 250 | 250 | 15,1 | 529,8013245 |
| 4 | 500 | 250 | 250 | 14,4 | 555,5555556 |
| 5 | 500 | 250 | 250 | 14,3 | 559,4405594 |
| 6 | 500 | 250 | 250 | 14,4 | 555,5555556 |
| 7 | 500 | 250 | 250 | 14,5 | 551,7241379 |
| 8 | 500 | 250 | 250 | 15,1 | 529,8013245 |
| 9 | 500 | 250 | 250 | 15,1 | 529,8013245 |
| 10 | 500 | 250 | 250 | 15,5 | 516,1290323 |
| | | | | 15,02 | 533,4257364 |

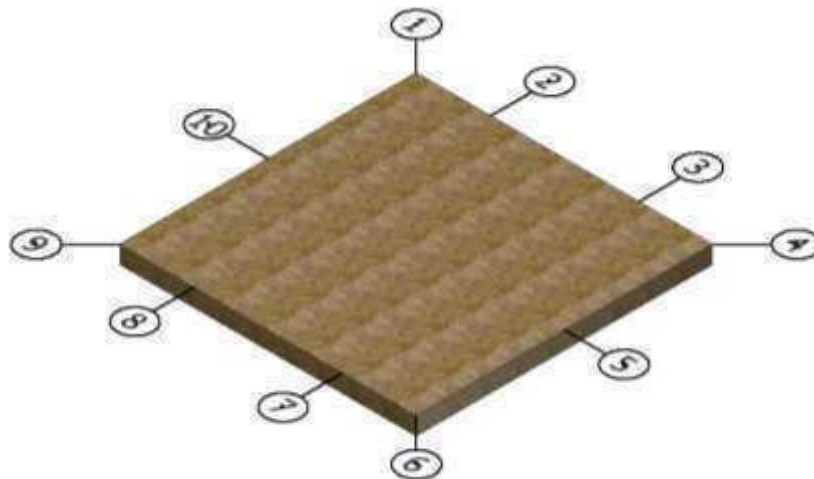


Figura 6.8, Esquema de la posición de los puntos medidos para obtener el espesor.

6.2.2. ASTM C 168

$k = \lambda$ Conductividad Térmica

$$k = \frac{Q}{A} * \frac{L}{\Delta T}$$

| # | T (MIN) | k |
|----|---------|--------|
| 54 | 270 | 0,1367 |
| 55 | 275 | 0,1366 |
| 56 | 280 | 0,1366 |
| 57 | 285 | 0,1366 |
| 58 | 290 | 0,1365 |
| 59 | 295 | 0,1365 |
| 60 | 300 | 0,1364 |
| 61 | 305 | 0,1364 |
| 62 | 310 | 0,1363 |
| 63 | 315 | 0,1363 |
| 64 | 320 | 0,1363 |
| 65 | 325 | 0,1362 |
| 66 | 330 | 0,1362 |
| 67 | 335 | 0,1361 |

| # | T (MIN) | k |
|----|---------|---------------|
| 68 | 340 | 0,1361 |
| 69 | 345 | 0,1361 |
| 70 | 350 | 0,1360 |
| 71 | 355 | 0,1360 |
| 72 | 360 | 0,1360 |
| 73 | 365 | 0,1360 |
| 74 | 370 | 0,1359 |
| 75 | 375 | 0,1359 |
| 76 | 380 | 0,1359 |
| 77 | 385 | 0,1358 |
| 78 | 390 | 0,1358 |
| 79 | 395 | 0,1358 |
| 80 | 400 | 0,1358 |
| | | 0,1362 |

$$k = 0,1362 \pm 5,028\% \frac{W}{mK}$$

| Descripción/ composición | Temperatura (K) | Densidad ρ (Kg/m ³) | Conductividad térmica, k (W/m ² *K) | Calor específico, C_p (J/Kg*K) |
|---|-----------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| Asfalto | 300 | 2115 | 0,062 | 920 |
| Baquelita | 300 | 1300 | 1,4 | 1465 |
| Ladrillo refractario | | | | |
| Carborundo | 872 | -- | 18,5 | -- |
| | 1672 | -- | 11 | -- |
| Ladrillo de cromita | 473 | 3010 | 2,3 | 835 |
| | 823 | | 2,5 | |
| | 1173 | | 2 | |
| Óxido de silicio diatomáceo, refractario | 478 | -- | 0,25 | -- |
| | 1145 | -- | 0,3 | |
| Arcilla refractaria cocida a 1600 K | 773 | 2050 | 1 | 960 |
| | 1073 | -- | 1,1 | |
| | 1373 | -- | 1,1 | |
| Arcilla refractaria cocida a 1725 K | 773 | 2325 | 1,3 | 960 |
| | 1073 | | 1,4 | |
| | 1373 | | 1,4 | |
| Ladrillo de arcilla refractaria | 478 | 2645 | 1 | 960 |
| | 922 | | 1,5 | |
| | 1478 | | 1,8 | |
| Magnesita | 478 | -- | 3,8 | 1130 |
| | 922 | -- | 2,8 | |
| | 1478 | | 1,9 | |
| Arcilla | 300 | 1460 | 1,3 | 880 |
| Carbón, antracita | 300 | 1350 | 0,26 | 1260 |
| Concreto (piedra mezclada) | 300 | 2300 | 1,4 | 880 |
| Algodón | 300 | 80 | 0,06 | 1300 |
| Productos alimenticios | | | | |
| Plátano (75,7% de contenido de agua) | 300 | 980 | 0,481 | 3350 |
| Manzana, roja (75% de contenido de agua) | 300 | 840 | 0,513 | 3600 |
| Pan, batido | 300 | 720 | 0,223 | -- |
| Pan, completamente horneado | 300 | 280 | 0,121 | -- |
| Carne de pollo, blanca (74,4% de contenido de agua) | 198 | -- | 1,6 | -- |
| | 233 | -- | 1,49 | |
| | 253 | | 1,35 | |
| | 263 | | 1,2 | |
| | 273 | | 0,476 | |
| | 283 | | 0,48 | |
| | 293 | | 0,489 | |
| Vidrio | | | | |
| Plata (cal de sosa) | 300 | 2500 | 1,4 | 750 |
| Pyrex | 300 | 2225 | 1,4 | 835 |

| Descripción/ composición | Temperatura (K) | Densidad P (Kg/m ³) | Conductividad térmica, k (W/m*K) | Calor específico, C _p (J/Kg*K) |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| Hielo | 273 | 920 | 1,88 | 2040 |
| | | -- | 2,03 | 1945 |
| Cuero (suela) | 300 | 998 | 0,159 | -- |
| Papel | 300 | 930 | 0,18 | 1340 |
| Parafina | 300 | 900 | 0,24 | 2890 |
| Roca | | | | |
| Granito, Barre | 300 | 2630 | 2,79 | 775 |
| Caliza, Salem | 300 | 2320 | 2,15 | 810 |
| Mármol, Halston | 300 | 2680 | 2,8 | 830 |
| Cuarcita, Sioux | 300 | 2640 | 5,38 | 1105 |
| Arenisca, Berea | 300 | 2150 | 2,9 | 745 |
| Caucho, vulcanizado | | | | |
| Suave | 300 | 1100 | 0,13 | 2010 |
| Duro | 300 | 1190 | 0,16 | -- |
| Arena | 300 | 1515 | 0,27 | 800 |
| Tierra | 300 | 2050 | 0,52 | 1840 |
| Nieve | 273 | 110 | 0,049 | -- |
| | | 500 | 0,19 | -- |
| Teflón | 300 | 2200 | 0,35 | -- |
| | 400 | | 0,45 | -- |
| Tejido humano | | | | |
| Piel | 300 | -- | 0,37 | -- |
| Capa de grasa (adiposo) | 300 | -- | 0,2 | -- |
| Músculo | 300 | -- | 0,41 | -- |
| Madera, hilos cruzados | | | | |
| Balsa | 300 | 140 | 0,055 | -- |
| Ciprés | 300 | 465 | 0,097 | -- |
| Abeto | 300 | 415 | 0,11 | 2720 |
| Roble | 300 | 545 | 0,17 | 2385 |
| Pino amarillo | 300 | 640 | 0,15 | 2805 |
| Pino blanco | 300 | 435 | 0,11 | -- |
| Madera, radial | | | | |
| Roble | 300 | 545 | 0,19 | 2385 |
| Ciprés | 300 | 420 | 0,14 | 2720 |

Tabla 6.2, Fundamentos de Transferencia de Calor, FRANK P. Incropera, **Tabla A.3.**

Como resultado se obtuvo, que las probetas tiene una conductividad térmica similar a una madera, y en cuanto a una comparación entre aislantes comerciales tenemos:

| Material | K (W/m*k) |
|-------------------------------|-----------|
| Lana mineral | 0,0303 |
| Poliestireno expandido | 0,0330 |
| Cascarilla de arroz | 0,0360 |
| Fibra de vidrio | 0,0380 |
| Corcho aglomerado | 0,0450 |

Tabla 6.3, PDF, Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales, Tabla 1

| # | Composición | Proceso de aglomeración | Densidad (Kg/m ³) | Masa (gr) |
|---|---|-------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1 | Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano. Comprimido | 1 | 336,54 | 472,84 |
| 2 | Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano. | 2 | 203,02 | 280,98 |
| 3 | Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca, fibra de fique. | 1 | 380,77 | 571,16 |
| 4 | Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano, sin comprimir. | 2 | 194,96 | 267,88 |

Tabla 6.4, PDF, Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales, Tabla 2

| Muestra/material | K (W/m*k) |
|--|-----------|
| 1: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano. Comprimido | 0,09651 |
| 2: Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano. | 0,2117 |
| 3: Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca, fibra de fique. | 0,0901 |
| 4: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano, sin comprimir. | 0,0653 |

Tabla 6.5, Conductividad térmica de algunos aglomerados según PDF Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales, Tabla 3

Al comparar el aglomerado de cascarilla de arroz molida con 12,5% de almidón de yuca, se presentó un valor de conductividad que es competitivo al valor de otros aglomerados similares que se presenta en esta tabla, y a la vez permite ver que el factor principal que afectó a un mejor desempeño de nuestro material es la densidad, ya que la misma es de 533,43 Kg/m³.

6.2.3. Resistencia térmica R

$$R = \frac{\Delta T}{q}$$

Donde:

ΔT : diferencia de temperaturas

q : es el vector de flujo de calor $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

| CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| # | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | |
| 70 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,132 | 0,130 | 0,127 | 0,133 | 0,133 | 0,144 | 0,123 |
| 71 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,127 | 0,133 | 0,133 | 0,145 | 0,123 |
| 72 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,127 | 0,133 | 0,133 | 0,145 | 0,123 |
| 73 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,127 | 0,134 | 0,133 | 0,145 | 0,123 |
| 74 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,127 | 0,134 | 0,134 | 0,145 | 0,123 |
| 75 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,126 | 0,134 | 0,134 | 0,146 | 0,123 |
| 76 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,130 | 0,126 | 0,134 | 0,134 | 0,146 | 0,123 |
| 77 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,129 | 0,126 | 0,134 | 0,134 | 0,146 | 0,123 |
| 78 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,131 | 0,129 | 0,126 | 0,134 | 0,134 | 0,146 | 0,123 |
| 79 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,130 | 0,129 | 0,126 | 0,135 | 0,134 | 0,146 | 0,123 |
| 80 | 0,105 | 0,101 | 0,102 | 0,130 | 0,129 | 0,126 | 0,135 | 0,135 | 0,147 | 0,123 |
| | | | | | | | | | | 0,123 |

$$R = 0,123 \frac{K m^2}{W}$$

6.2.4. Resistencia a la flexión ASTM C 209, ítem 10

Medidas de la probeta 76x381 mm²

$$MOR = \frac{6P}{t^2}$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa)

P = Carga Transversal (N)

t = Espesor (mm)

| | t (mm) | Carga (Kg)*9,8(m/s ²) | MOR (MPa) |
|-----------------|--------|-----------------------------------|-----------|
| Prueba 1 | 15 | 40,875 | 1,090 |
| Prueba 2 | 15 | 42,750 | 1,140 |
| Prueba 3 | 15 | 41,663 | 1,111 |
| | | | 1,114 |

| Resultados | |
|-------------------|----------------------------|
| | Carga Aplicada (Kg) |
| Prueba 1 | 4,2 |
| Prueba 2 | 4,4 |
| Prueba 3 | 4,3 |

6.2.5. Resistencia a la tracción paralela a la superficie ASTM C 209, ítem 12

| | F (N) | ÁREA (mm ²) | Resistencia a la tracción paralela (Mpa) |
|----------|--------|-------------------------|--|
| Prueba 1 | 3924,5 | 571,5 | 6,8670 |
| Prueba 2 | 4104,5 | 571,5 | 7,1820 |
| Prueba 3 | 4000,1 | 571,5 | 6,9993 |
| | | Promedio | 7,0161 |

6.2.6. Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie ASTM C 209, ítem 13

| | F (N) | ÁREA (mm ²) | Resistencia a la tracción perpendicular (Mpa) |
|----------|---------|-------------------------|---|
| Prueba 1 | 13735,7 | 571,5 | 24,035 |
| Prueba 2 | 14365,8 | 571,5 | 25,137 |
| Prueba 3 | 14000,3 | 571,5 | 24,498 |
| | | Promedio | 24,556 |

6.2.7. ASTM C 870: Práctica para el acondicionamiento de los materiales de aislamiento térmico

$$C = \frac{R}{100 + R} * 100$$

Donde:

C= contenido de humedad %

R= humedad recuperada %

| | Masa inicial (g) | Masa Final (g) | C % |
|-----------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| Prueba 1 | 100 | 198 | 98,00% |
| Prueba 2 | 103 | 202 | 96,12% |
| Prueba 3 | 102 | 202 | 98,04% |
| | | Promedio | 97,39 |

6.2.8. Resumen de resultados

| Propiedad | Valor |
|--|----------------------|
| Densidad (Kg/m³) | 533,43 |
| Conductividad (W/m*K) | 0,1362±5,028% |
| Resistencia térmica (K m²)/W | 0,123 |
| Resistencia a la flexión ASTM C 209, ítem 10 (MPa) | 1,114 |
| Resistencia a la tracción paralela a la superficie ASTM C 209, ítem 12 (MPa) | 7,0161 |
| Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie ASTM C 209, ítem 13 (MPa) | 24,556 |
| Recuperación de humedad % | 97,39 |

Los resultados arrojan un material, deficiente en propiedades mecánicas, más en las termofísicas están considerablemente bien, lo más importante de estos resultados es la investigación y la gran ventana que dejo hacia mejoras aplicables para hacer de este un material altamente competitivo.

El factor más crítico que se encontró es la capacidad de recuperación de humedad, factor que deja muy por debajo de los competidores.

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1. Análisis de Producción Nacional de la Cascarilla de Arroz

El comportamiento de la producción nacional de arroz a través del periodo comprendido entre los años 2000 – 2010, se puede observar a continuacion en la tabla 7.1, donde existe una tendencia fluctuante y múltiples factores que han insidido.

| Producción Nacional de Arroz | | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|---|-------------|
| Año | Superficie sembrada | Superficie cosechada | Producción de arroz en cáscara, seco y limpio | Rendimiento |
| | (Ha.) | (Ha.) | (Tm.) | (Tm./Ha.) |
| 2000 | 349.726 | 338.653 | 971.806 | 2,87 |
| 2001 | 355.223 | 346.407 | 1.018.696 | 2,94 |
| 2002 | 358.650 | 352.145 | 1.063.620 | 3,02 |
| 2003 | 343.240 | 332.837 | 908.113 | 2,73 |
| 2004 | 358.094 | 348.320 | 950.357 | 2,73 |
| 2005 | 380.254 | 365.044 | 1.109.508 | 3,04 |
| 2006 | 402.345 | 374.181 | 1.254.269 | 3,35 |
| 2007 | 385.872 | 355.002 | 1.134.633 | 3,20 |
| 2008 | 365.000 | 338.270 | 1.054.787 | 3,12 |
| 2009 | 380.345 | 361.328 | 1.098.516 | 3,04 |
| 2010 | 382.230 | 363.119 | 1.132.267 | 3,12 |

Tabla 7.1. Producción nacional de arroz periodo 2000 - 2010.

Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO. www.magap.gob.ec;

El incremento de la producción en determinados años se debe a un aumento de la superficie sembrada, mayor utilización de insumos, mejoras en el servicio de transferencia de tecnología (utilización de variedades mejoradas), y disponibilidad de infraestructura de comercialización en las zonas productivas, que han contribuido a otorgarle seguridad de mercado al agricultor.

La disminución en la producción se produce básicamente por las condiciones climáticas reinantes, que es uno de los principales limitantes que influyen como sequías, inundaciones, falta de luminosidad, plagas, enfermedades, etc., que ocasionan un menor aprovechamiento de la tierra y pérdida de granos; por eso

existe la diferencia notable en determinados años entre la superficie sembrada y cosechada.

En la Fig. 7.1., se puede observar como se ha ido dando la producción nacional en el intervalo de tiempo antes mencionado.

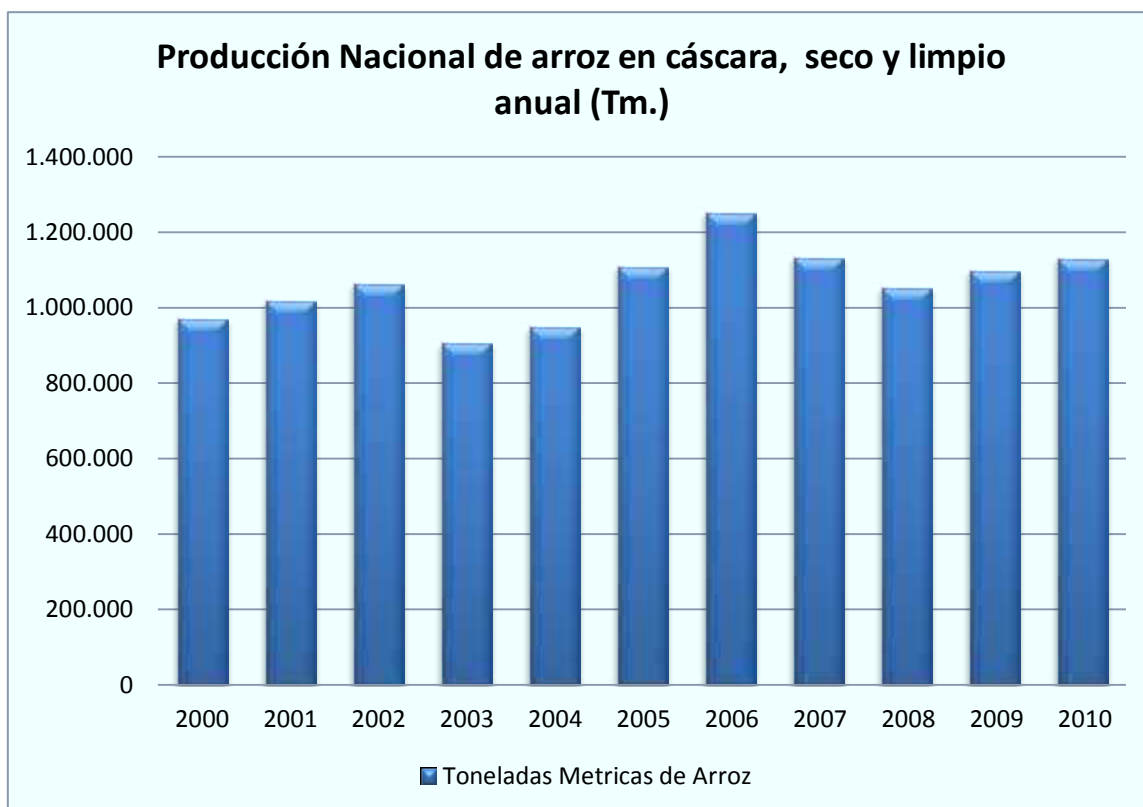


Figura 7.1 Producción de arroz en cáscara, seco y limpio (Tm.)
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO;

En la tabla 7.2., se indica la superficie sembrada, cosechada, la producción de arroz en cascara seco y limpio de la provincia del Guayas para el periodo 2000 - 2010, y en la tabla 7.3. se indica para la provincia de los Ríos.

| Producción de arroz en la Provincia del Guayas | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------|--|--------------------|
| Año | Superficie sembrada | Superficie cosechada | Producción de arroz en cáscara, seco y limpio | Rendimiento |
| | (Ha.) | (Ha.) | (Tm.) | (Tm./Ha.) |
| 2000 | 185,429 | 179,074 | 552,218 | 3.08 |
| 2001 | 192,018 | 187,320 | 590,639 | 3.15 |
| 2002 | 198,608 | 195,566 | 629,060 | 3.22 |
| 2003 | 194,925 | 187,837 | 512,496 | 2.73 |
| 2004 | 206,312 | 200,275 | 584,963 | 2.92 |
| 2005 | 212,510 | 205,149 | 670,817 | 3.27 |
| 2006 | 231,957 | 221,996 | 787,777 | 3.55 |
| 2007 | 227,978 | 210,846 | 709,941 | 3.37 |
| 2008 | 211,947 | 193,685 | 650,282 | 3.36 |
| 2009 | 229,927 | 225,312 | 726,654 | 3.23 |
| 2010 | 231,066 | 226,428 | 748,980 | 3.31 |

Tabla 7.2 Producción de arroz en la provincia del Guayas período 2000 - 2010.
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO.

| Producción de Arroz en la Provincia de Los Ríos | | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|--|--------------------|
| Año | Superficie sembrada | Superficie cosechada | Producción de arroz en cáscara, seco y limpio | Rendimiento |
| | (Ha.) | (Ha.) | (Tm.) | (Tm./Ha.) |
| 2000 | 131,886 | 128,333 | 370,294 | 2.89 |
| 2001 | 130,629 | 127,828 | 370,476 | 2.90 |
| 2002 | 129,373 | 127,323 | 370,657 | 2.91 |
| 2003 | 120,562 | 119,640 | 326,425 | 2.73 |
| 2004 | 124,295 | 121,974 | 322,007 | 2.64 |
| 2005 | 139,536 | 135,205 | 388,686 | 2.87 |
| 2006 | 141,605 | 126,299 | 401,531 | 3.18 |
| 2007 | 136,502 | 126,091 | 370,867 | 2.94 |
| 2008 | 131,103 | 122,993 | 339,029 | 2.76 |
| 2009 | 127,476 | 114,607 | 312,812 | 2.73 |
| 2010 | 128,108 | 115,175 | 322,423 | 2.80 |

Tabla 7.3 Producción de arroz en la provincia de Los Ríos período 2000 - 2010.
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO.

7.1.1. Producción de arroz por estaciones:

En el Ecuador el cultivo de arroz se realiza tanto en el invierno como en el verano dependiendo solo del agua de riego.

Existen zonas que realizan una sola cosecha al año, en la estación lluviosa, por no estar beneficiadas de las cercanías de los ríos, depresiones naturales o canales de riego.

La tabla 7.4 indica una predominante producción durante el ciclo de invierno mientras que en la tabla 7.5 muestra la producción de arroz durante el ciclo de verano. En promedio el 66% de la producción nacional de arroz le corresponde al invierno y el 33% al verano en condiciones normales.

| Producción Nacional de Arroz Estación - Invierno | | | |
|---|--|---|--|
| Años | Producción arroz cáscara húmedo/sucio (Tm.) | Producción arroz cáscara seco/limpio (Tm.) | Producción arroz pilado (qq.) |
| 2000 | 753.388 | 604.518 | 8.378.632 |
| 2001 | 760.130 | 609.928 | 8.453.610 |
| 2002 | 769.307 | 627.225 | 8.693.349 |
| 2003 | 782.989 | 628.271 | 8.707.837 |
| 2004 | 830.361 | 666.282 | 9.234.673 |
| 2005 | 801.506 | 643.128 | 8.913.764 |
| 2006 | 823.661 | 660.905 | 9.160.153 |
| 2007 | 800.765 | 642.534 | 8.905.525 |
| 2008 | 739.348 | 593.253 | 8.222.491 |
| 2009 | 772.997 | 620.630 | 8.601.931 |
| 2010 | 797.232 | 639.699 | 8.866.228 |

Tabla 7.4 Producción nacional de arroz en la estación de invierno
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO.

| Producción Nacional de Arroz Estación - Verano | | | |
|---|--|---|--|
| Años | Producción arroz cáscara húmedo/sucio (Tm.) | Producción arroz cáscara seco/limpio (Tm.) | Producción arroz pilado (qq.) |
| 2000 | 383.644 | 307.835 | 4.266.606 |
| 2001 | 398.724 | 319.936 | 4.434.320 |
| 2002 | 376.608 | 304.201 | 4.216.232 |
| 2003 | 381.225 | 305.894 | 4.239.703 |
| 2004 | 505.133 | 405.318 | 5.616.718 |
| 2005 | 466.165 | 374.051 | 5.184.348 |
| 2006 | 542.618 | 435.397 | 6.034.608 |

| | | | |
|-------------|---------|---------|-----------|
| 2007 | 570.423 | 457.707 | 6.343.832 |
| 2008 | 569.444 | 456.921 | 6.332.937 |
| 2009 | 595.570 | 477.886 | 6.623.499 |
| 2010 | 613.868 | 492.568 | 6.827.241 |

Tabla 7.5 Producción nacional de arroz en la estación de verano.
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO.

En la tabla 7.6 se indica la superficie sembrada de arroz en la provincia de Guayas y Los Ríos, así como también de los cantones de Quevedo y Ventanas, también se indica el total nacional tanto en el periodo de invierno o de secano como el periodo de verano o periodo seco.

| Superficie arroceras en Invierno y Verano | | |
|---|----------------------|--------------------|
| Provincia/Cantón | Periodo invierno Ha. | Periodo verano Ha. |
| Guayas | 98.690 | 100.492 |
| Los Ríos | 90.316 | 30.715 |
| Quevedo | 903 | 280 |
| Ventanas | 5.429 | 450 |
| Total Nacional | 223.820 | 141.527 |

Tabla 7.6 Superficie arroceras en invierno y verano, año 2008
Fuente: MAGAP (Ministerio de agricultura ganadería y pesca).

7.1.2. Subproductos del arroz pilado

El producto obtenido por el agricultor, grano conocido comercialmente con el nombre de “arroz Paddy” o “arroz vestido” se somete a un tratamiento con el objetivo de darle un aspecto que guste al consumidor.

Acerca de la conformación del grano de arroz y sus partes, se dice que es un fruto cariósido al igual que la avena, la cebada y el trigo. Es ovalado y mide de 8-10 mm de longitud. En la base tiene dos glumas estériles pequeñas y sobre ellas otras glumas fluorescentes conocidas como lema y palea, que constituyen la cascarilla del grano, que le da una superficie abrasiva y rígida que le protege de daños mecánicos y de ataques por insectos; constituyen el 18 - 23 % del grano entero. Debajo de la cascarilla se encuentra el pericarpio, la testa que es la cubierta de la semilla, la capa de aleurona y el endospermo, en la tabla 7.7 se indican los productos obtenidos a partir del proceso de pilado del arroz.

| Descripción | % |
|---|-----|
| Arroz pilado entero (18% pulido) | 63 |
| Arrocillo (>1/4 y 5% <3/4) + yelem | 5 |
| Polvillo | 8,5 |
| Tamo o Cascarilla | 22 |
| Impurezas | 1,5 |
| Yelem = Arrocillo muy fino. | |

Tabla 7.7 Productos obtenidos a partir del proceso de pilado del arroz.

Fuente: MAGAP (Ministerio de agricultura ganadería y pesca).

En la tabla 7.8 se muestra las toneladas métricas de cascarilla de arroz que se obtiene a partir de la producción anual de arroz en cascara seco limpio, considerando que en el pilado de arroz un 22% es tamo o cascarilla como se observa en la tabla 7.7.

| Producción anual de cascarilla de arroz | | |
|---|--------------------------------------|---------------------------|
| Año | Producción de arroz en cáscara (Tm.) | Cascarilla de arroz (Tm.) |
| 2000 | 912.354 | 200.718 |
| 2001 | 929.865 | 204.570 |
| 2002 | 931.427 | 204.914 |
| 2003 | 934.166 | 205.516 |
| 2004 | 1.071.601 | 235.752 |
| 2005 | 1.017.179 | 223.779 |
| 2006 | 1.096.303 | 241.186 |
| 2007 | 1.100.242 | 242.053 |
| 2008 | 1.050.175 | 231.038 |
| 2009 | 1.098.516 | 241.673 |
| 2010 | 1.132.267 | 249.098 |

Tabla 7.8 Producción anual de cascarilla de arroz.

Fuente: MAGAP (Ministerio de agricultura ganadería y pesca).

En la tabla 7.9 se indica la superficie sembrada, cosechada en hectáreas, la producción de arroz en cascara seco - limpio en toneladas métricas y la producción de cascarilla de arroz en la provincia de Guayas, Los Ríos y los cantones de Quevedo y Ventanas, además se indica la producción nacional.

| Superficie sembrada y Producción de cascarilla de arroz | | | | |
|---|---------------------------|----------------------------|--|---------------------------|
| Provincia/Cantón | Superficie sembrada (Ha.) | Superficie cosechada (Ha.) | Producción de arroz en cascara seco y limpio (Tm.) | Cascarilla de arroz (Tm.) |
| Guayas | 231.066 | 226.428 | 748.980 | 164.775 |
| Los Ríos | 128.108 | 115.175 | 322.423 | 70.933 |
| Quevedo | 4.065 | 3.862 | 10.813 | 2.378 |
| Ventanas | 11.835 | 11.244 | 31.483 | 6.926 |
| Total | 382.230 | 363.119 | 1.132.267 | 249.098 |

Tabla 7.9 Superficie sembrada y producción de cascarilla en el año 2010.
Fuente: MAGAP (Ministerio de agricultura ganadería y pesca).

Con todos los datos que se han presentado en este literal (7.1.), se puede determinar la abundancia de materia prima que existe para la realización del aislante térmico de cascarilla de arroz molida, y como se ha venido mencionando y se ha comprobado, este es un desecho por lo cual su costo es bajo y de fácil acceso para la producción industrial en masa en un futuro de el material mencionado.

7.2. Costos de Desarrollo

A continuación se detallan los costos que conllevaron el desarrollo del nuevo material aislante.

| | |
|---|-----|
| ANEXO No 1 : COSTO DE MATERIA PRIMA (\$) | |
| CASCARILLA DE ARROZ | 2 |
| COSTO POR qq. (\$) | 2,5 |
| ALMIDON DE YUCA | 4 |
| COSTO POR lb. (\$) | 1,8 |
| ALUMINIO PRENSADO CON PLASTICO | 1 |
| COSTO POR ROLLOS. (\$) | 15 |
| ANEXO No 2 : COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA | |
| NUMERO DE INGENIEROS | 2 |
| SUELDO POR HORA (\$) | 5 |
| ANEXO No 3 : MATERIALES (\$) | |

| | |
|--|-------|
| LANA DE VIDRIO | 1 |
| COSTO POR ROLLO. (\$) | 60 |
| PLANCHAS DE ALUMINIO | 2 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 54 |
| PLANCHA DE ACERO AL CARBONO 2mm | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 17 |
| PLANCHA DE ACERO 6mm | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 55 |
| PLANCHA DE ACERO 25,4mm | 0,25 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 195 |
| PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 41,42 |
| ELECTRODOS | 2 |
| COSTO POR KG. (\$) | 3 |
| LADILLOS REFRACTARIOS | 12 |
| COSTO POR UND. (\$) | 9 |
| CEMENTO REFRACTARIO | 1 |
| COSTO POR qq. (\$) | 32 |
| TERMOCUPLAS | 4 |
| COSTO POR UND. (\$) | 23 |
| RESISTENCIAS ELECTRICAS | 25 |
| COSTO POR UND. (\$) | 1 |
| MALLA METALICA | 1 |
| COSTO POR ROLLO. (\$) | 3,5 |
| NIQUELINAS | 3 |
| COSTO POR UND. (\$) | 5 |
| | |
| ANEXO No 4 : COSTOS INDIRECTOS(\$) | |
| INTERNET | 20 |
| HOJAS | 15 |
| SUMINISTROS DE OFICINA | 10 |
| TRANSPORTE | 70 |
| | |
| ANEXO No 5 : COSTOS DE SERVICIOS (\$) | |
| AGUA | 15 |
| ELECTRICIDAD | 180 |

| COSTOS MATERIALES DE DESARROLLO | | | |
|--|-----------------|-----------------------|---------------|
| MATERIALES | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
| LANA DE VIDRIO | 1 | 60 | 60 |
| PLANCHAS DE ALUMINIO | 2 | 54 | 108 |
| PLANCHA DE ACERO AL CARBONO 2mm | 1 | 17 | 17 |
| PLANCHA DE ACERO 6mm | 1 | 55 | 55 |
| PLANCHA DE ACERO 25,4mm | 0,25 | 195 | 48,75 |
| PLANCHAS DE COBRE | 1 | 41,42 | 41,42 |
| ELECTRODOS | 2 | 3 | 6 |
| LADILLOS REFRACTARIOS | 12 | 9 | 108 |
| CEMENTO REFRACTARIO | 1 | 32 | 32 |
| TERMOCUPLAS | 4 | 23 | 92 |
| RESISTENCIAS ELECTRICAS | 25 | 1 | 25 |
| MALLA METALICA | 1 | 3,5 | 3,5 |
| NIQUELINAS | 3 | 5 | 15 |
| TOTAL | | | 611,67 |

| COSTO MANO DE OBRA | | | |
|-----------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| MANO DE OBRA DIRECTA | HORAS | TASA SALARIAL | TOTAL |
| INGENIEROS | 20 | 5 | 200 |
| TOTAL | | | 200 |

| COSTO MANO DE OBRA | | | |
|-----------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| MANO DE OBRA DIRECTA | HORAS | TASA SALARIAL | TOTAL |
| INGENIEROS | 20 | 5 | 200 |
| TOTAL | | | 200 |

| COSTOS INDIRECTOS | COSTO |
|--------------------------|--------------|
| INTERNET | 20 |
| HOJAS | 15 |
| SUMINISTROS DE OFICINA | 10 |
| TRANSPORTE | 70 |
| TOTAL | 115 |

| SERVICIOS | COSTO |
|--------------|------------|
| AGUA | 15 |
| ELECTRICIDAD | 180 |
| TOTAL | 195 |

| | |
|----------------------------------|----------------|
| COSTO TOTAL DE DESARROLLO | 1121,67 |
|----------------------------------|----------------|

7.3. Costos de Producción

Para obtener el costo de producción por metro cuadrado del aislante térmico, se calcularon todos los costos que intervinieron en el mismo. Cabe recalcar que el valor obtenido es de una producción que se puede considerar artesanal, motivo por el cual el valor de producción disminuiría drásticamente al industrializar el proceso y fabricar en masa.

| | |
|---|-------|
| ANEXO No 1 : COSTO DE MATERIA PRIMA (\$) | |
| CASCARILLA DE ARROZ | 2 |
| COSTO POR qq. (\$) | 2,5 |
| ALMIDON DE YUCA | 4 |
| COSTO POR lb. (\$) | 1,8 |
| ALUMINIO PRENSADO CON PLASTICO | 1 |
| COSTO POR ROLLOS. (\$) | 15 |
| ANEXO No 2 : COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA | |
| NUMERO DE INGENIEROS | 2 |
| SUELDO POR HORA (\$) | 5 |
| ANEXO No 3 : MATERIALES (\$) | |
| LANA DE VIDRIO | 1 |
| COSTO POR ROLLO. (\$) | 60 |
| PLANCHAS DE ALUMINIO | 2 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 54 |
| PLANCHA DE ACERO AL CARBONO 2mm | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 17 |
| PLANCHA DE ACERO 6mm | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 55 |
| PLANCHA DE ACERO 25,4mm | 0,25 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 195 |
| PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE | 1 |
| COSTO POR PLANCHA. (\$) | 41,42 |
| ELECTRODOS | 2 |
| COSTO POR KG. (\$) | 3 |
| LADILLOS REFRACTARIOS | 12 |
| COSTO POR UND. (\$) | 9 |
| CEMENTO REFRACTARIO | 1 |

| | |
|--|-----|
| COSTO POR qq. (\$) | 32 |
| TERMOCUPLAS | 4 |
| COSTO POR UND. (\$) | 23 |
| RESISTENCIAS ELECTRICAS | 25 |
| COSTO POR UND. (\$) | 1 |
| MALLA METALICA | 1 |
| COSTO POR ROLLO. (\$) | 3,5 |
| NIQUELINAS | 3 |
| COSTO POR UND. (\$) | 5 |
| ANEXO No 4 : COSTOS INDIRECTOS(\$) | |
| INTERNET | 20 |
| HOJAS | 15 |
| SUMINISTROS DE OFICINA | 10 |
| TRANSPORTE | 70 |
| ANEXO No 5 : COSTOS DE SERVICIOS (\$) | |
| AGUA | 15 |
| ELECTRICIDAD | 180 |

| COSTO DE PRODUCCIÓN DE PLANCHA 1,4 X 2,2 | | | | |
|---|----------------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| MATERIA PRIMA | % UTILIZACIÓN | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
| CASCARIILA DE ARROZ | 0,4 | 0,8 | 2,5 | 2 |
| ALMIDON DE YUCA | 0,4 | 1,6 | 1,8 | 2,88 |
| ALUMINIO PRENSADO CON PLASTICO | 0,1 | 0,1 | 15 | 1,5 |
| TOTAL POR UNIDAD | | | | 6,38 |
| NÚMERO DE METROS | | | | 3,08 |
| TOTAL POR METRO | | | | 2,07 |

| MANO DE OBRA DIRECTA | HORAS | TASA SALARIAL | TOTAL |
|-----------------------------|--------------|----------------------|---------------|
| OBRERO | 0,3 | 1,825 | 0,5475 |
| TOTAL | | | 0,5475 |
| TOTAL POR METRO | | | 0,18 |

| SERVICIOS | COSTO | |
|--|--------------|-------------|
| AGUA | 0,1 | |
| ELECTRICIDAD | 1,5 | |
| TOTAL | 1,6 | |
| TOTAL POR METRO | 0,52 | |
| COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN POR METRO | | 2,77 |

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- El aislante, presentó resultados, favorables para su implementación, sobretodo para el uso en paredes y techos de casas, departamentos, entre otros.
- La presencia de humedad es sumamente perjudicial, para el aislante, ya que el almidón de yuca, recupera con facilidad la misma cuando se moja permitiendo el crecimiento de hongos.
- La calidad del aislante en cuanto a facilidad de manejo de la mezcla, fue bastante buena, ya que los componentes se combinan fácilmente y de manera homogénea, usando un 12,5% en peso de aglutinante (por cada 1mg del mismo se usó 5-7ml de agua) y el resto de cascarilla de arroz molida
- La mezcla soporta diferentes tiempos de secado (2horas, 4 horas, 8 horas) sin mostrar cambios en la estructura de las planchas de aislante, por lo cual se lo puede secar en hornos de secado rápido, sin afectar las propiedades físicas del mismo.
- La presión usada fue determinada mediante prueba descrita en el literal 4.2, y en base a la compactación y reducción de volumen se optó por usar 1,5 Ton. Siendo la más adecuada, por la rigidez que daba a la plancha de aislante y por la baja afectación que esta conlleva a la conductividad térmica (mayor presión, mayor conductividad térmica).
- En cuanto a los resultados dimensionales y a la experiencia de uso, el aislante es funcional a partir de un espesor de 15mm para planchas que no superen los 800x1200(mm²) de área transversal, y de 25mm en planchas no mayores a 1200x2400(mm²), esto debido a la fragilidad que presenta en dimensiones mayores en los espesores indicados.
- El degradamiento del aislante se ve modificado, por la humedad, el tiempo estimado de degradación en condiciones de trabajo en Sangolquí es de ocho años (tiempo calculado por el método de degradación en agua).

- Aplicándose los códigos C209, C177 y C870, detallados en los literales 6.1.2., 6.1.3. y 6.1.4. respectivamente, el aislante cumplió con los parámetros mínimos requeridos para aislantes celulósicos en planchas rígidas, tan solo no cumpliendo con la prueba de recuperación de humedad.
- Tras el análisis de propagación de errores realizado al banco de pruebas se obtuvo que los valores obtenidos de la conductividad térmica del aislante, tiene un error de medición del 5,028%, esto acarreado desde las mediciones de intensidad, voltaje y temperaturas. Siendo este un valor aceptable para validar la investigación

8.2. Recomendaciones

- El proceso de fabricación del aislante, tiene varios procesos que al optimizarlos en la tecnificación se logrará reducir el costo de producción, en un 15%.
- Se recomienda el uso de resistencias eléctricas y no de niquelinas, ya que soportan mejor la variación y la alta cantidad de corriente, además son más estables y de menor costo.
- Para mejorar la resistencia del aislante a la humedad, es necesario realizar un nuevo estudio referente al aglutinante, ya que este debe ser de origen sintético o no natural (derivados de petróleo), situación que se encuentra fuera del alcance de la presente investigación. Con esto también se obtendrá mejores resultados en cuanto a la conductividad térmica, ya que con una mejor cohesión por parte del aglutinante, la fuerza de prensado y la compactación pueden ser menores.
- Se puede usar fibras vegetales o a su vez una malla metálica delgada en la mitad de la plancha para mejorar las propiedades mecánicas de las mismas y de esta manera poder realizar prensados mas grandes con un menor espesor.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (2004). Norma ASTM Vol. 04.06. –Aislamiento térmico y ambientes acústicos-.
- Cengel, Y. (2004). *Transferencia de Calor, 2ª Edición*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Valverde, A., Sarria, B., Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*.
- Inkropera, Transferencia de Calor, 4ª Edición
- Pitts, Transferencia de Calor, 1ª Edición, McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 1977
- José C. Chanchí Golondrino, Diego F. Bonilla Campos, John A. Gaviria Rojas, John J. Giraldo López (2008), Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca
- Carolina Giovanna Cadena, Antonio José Bula Silvera (2002), Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales
- KUMAR, Satish. The Need For An Adaptive Thermal Comfort Standard In Tropical Environments. En Basin News, N° 18, noviembre, 1999.
- MANSARAY, K.G; GHALY, A.E. Agglomeration Characteristics of Silica Sand-Rice Husk Ash Mixtures at Elevated Temperatures. En Energy Sources, Vol. 20, 1998.
- MARTIRENA HERNÁNDEZ, J; BETANCOURT RODRÍGUEZ, S; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, R. Biomasa For The Manufacture Of Building Materials: The Efficiency At Small Scale Of Production. En Basin News, N° 18, noviembre, 1999.

- PESENCA. Uso racional de energía en molinos de arroz en Colombia. Barranquilla, Presencia, 1990.
- FORMOSOS PERMUY, Antonio. Formoso, 2000 Procedimientos industriales al alcance de todos, 13va ed. Madrid, Selecciones Gráficas, 1975.
- ANSYS-Mechanical-Intro_13.0_1st-ed_pdf
- D'HAINAUT, L., 1978. Cálculo de incertidumbres en las medidas. (Editorial Trillas, S.A.: México).
- GETE–ALONSO, J.C. y DEL BARRIO V., 1989. Medida y realidad. (Editorial Alhambra, S.A Madrid).
- GIAMBERARDINO, V., Teoría de los errores. (Editorial Reverté Venezolana, S.A.: Caracas).
- HECTOR, G. y ROSAS L., 1984. El método científico aplicado a las ciencias experimentales. (Editoria Trillas, S.A.: México).
- LAREDO, E., PUMA, M. y SANCHEZ, A. Errores, Gráficos y Estadística. (Universidad Simón Bolívar Caracas).
- LOPEZ, V., 1991. Técnicas de laboratorio. (EDUNSA: Ediciones y Distribuciones Universitarias, S.A Barcelona).
- MAIZTEGUI, A. y GLEISER, R., 1976. Introducción a las mediciones de laboratorio.
- SANCHEZ del RIO, C., 1989. Análisis de errores. (EUDEMA: Ediciones de la Universidad Complutense, S.A.: Madrid).

ANEXOS

Datos Ensayos para determinar la Curva de Calibración del Banco de Pruebas de Conductividad Térmica

Ensayo 1

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----|-----|-----|-----|------------|-------|------------|----------|------------|
| 267 | 33 | 91 | 60 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 329 | 55 | 123 | 84 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1491,74 |
| 364 | 69 | 141 | 97 | 5 | 15 | 44 | 8204,56 | 932,34 |
| 390 | 78 | 154 | 107 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 559,40 |
| 410 | 85 | 165 | 114 | 5 | 25 | 51 | 9509,83 | 745,87 |
| 426 | 91 | 173 | 120 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | 372,93 |
| 439 | 96 | 180 | 126 | 5 | 35 | 54 | 10069,23 | 186,47 |
| 451 | 101 | 186 | 130 | 5 | 40 | 56 | 10442,17 | 372,93 |
| 462 | 104 | 191 | 134 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | 186,47 |
| 471 | 108 | 196 | 138 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 479 | 111 | 200 | 141 | 5 | 55 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 487 | 114 | 204 | 144 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 494 | 116 | 208 | 146 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 501 | 119 | 211 | 149 | 5 | 70 | 62 | 11560,97 | 0,00 |
| 507 | 121 | 214 | 151 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 513 | 123 | 217 | 153 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 518 | 125 | 220 | 155 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 186,47 |
| 523 | 127 | 223 | 157 | 5 | 90 | 66 | 12306,84 | 186,47 |
| 528 | 129 | 225 | 159 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 532 | 130 | 227 | 161 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 537 | 132 | 230 | 162 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 541 | 134 | 232 | 164 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 545 | 135 | 234 | 166 | 5 | 115 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 548 | 136 | 236 | 167 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 552 | 138 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 556 | 139 | 239 | 170 | 5 | 130 | 69 | 12866,24 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 559 | 140 | 241 | 171 | 5 | 135 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 562 | 141 | 243 | 172 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 186,47 |
| 565 | 143 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 568 | 144 | 246 | 174 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 571 | 145 | 247 | 176 | 5 | 155 | 71 | 13239,18 | -186,47 |
| 574 | 146 | 249 | 177 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 577 | 147 | 250 | 178 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 579 | 148 | 252 | 179 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 582 | 149 | 253 | 180 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 584 | 150 | 254 | 181 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 587 | 150 | 255 | 181 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 589 | 151 | 257 | 182 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 591 | 152 | 258 | 183 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 594 | 153 | 259 | 184 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 596 | 154 | 260 | 185 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 598 | 155 | 261 | 186 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 155 | 262 | 187 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 602 | 156 | 263 | 187 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 604 | 157 | 264 | 188 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 158 | 265 | 189 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 608 | 158 | 266 | 189 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 610 | 159 | 267 | 190 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 160 | 268 | 191 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 160 | 269 | 192 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 615 | 161 | 270 | 192 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 617 | 162 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 162 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 620 | 163 | 273 | 194 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 622 | 163 | 273 | 195 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 623 | 164 | 274 | 195 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 625 | 165 | 275 | 196 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 626 | 165 | 276 | 197 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 628 | 166 | 277 | 197 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 629 | 166 | 277 | 198 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 631 | 167 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 632 | 167 | 279 | 199 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 634 | 168 | 280 | 199 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 168 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |
| 637 | 169 | 281 | 200 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 638 | 169 | 282 | 201 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 639 | 170 | 282 | 201 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 641 | 170 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 171 | 284 | 202 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 643 | 171 | 284 | 203 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 644 | 172 | 285 | 203 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 646 | 172 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 647 | 173 | 286 | 204 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 173 | 287 | 205 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 173 | 287 | 205 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 174 | 288 | 206 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 652 | 174 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 653 | 175 | 289 | 206 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 175 | 290 | 207 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 2

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----|-----|-----|-----|------------|-------|------------|----------|------------|
| 266 | 32 | 89 | 58 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 327 | 56 | 123 | 85 | 5 | 10 | 38 | 7085,76 | 1305,27 |
| 367 | 69 | 142 | 98 | 5 | 15 | 44 | 8204,56 | 1118,80 |
| 389 | 77 | 153 | 108 | 5 | 20 | 45 | 8391,03 | 186,47 |
| 411 | 86 | 166 | 113 | 5 | 25 | 53 | 9882,77 | 1491,74 |
| 425 | 91 | 174 | 121 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | 0,00 |
| 437 | 96 | 182 | 126 | 5 | 35 | 56 | 10442,17 | 559,40 |
| 450 | 100 | 187 | 132 | 5 | 40 | 55 | 10255,70 | -186,47 |
| 464 | 103 | 190 | 133 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | 372,93 |
| 472 | 107 | 194 | 136 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 479 | 111 | 201 | 142 | 5 | 55 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 485 | 112 | 203 | 143 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 495 | 117 | 208 | 146 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 501 | 119 | 213 | 151 | 5 | 70 | 62 | 11560,97 | 0,00 |
| 508 | 120 | 212 | 149 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 513 | 123 | 218 | 154 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 516 | 123 | 219 | 154 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 186,47 |
| 524 | 128 | 223 | 157 | 5 | 90 | 66 | 12306,84 | 186,47 |
| 528 | 129 | 227 | 161 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 533 | 129 | 225 | 159 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 537 | 132 | 231 | 163 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 539 | 132 | 231 | 163 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 546 | 136 | 234 | 166 | 5 | 115 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 548 | 136 | 238 | 169 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 553 | 137 | 236 | 166 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 556 | 139 | 240 | 171 | 5 | 130 | 69 | 12866,24 | -186,47 |
| 557 | 138 | 240 | 170 | 5 | 135 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 563 | 142 | 243 | 172 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 186,47 |
| 565 | 143 | 246 | 175 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 569 | 143 | 244 | 172 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 571 | 145 | 248 | 177 | 5 | 155 | 71 | 13239,18 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 572 | 144 | 248 | 176 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 578 | 148 | 250 | 178 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 579 | 148 | 254 | 181 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 583 | 148 | 251 | 178 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 584 | 150 | 255 | 182 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 585 | 148 | 254 | 180 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 590 | 152 | 257 | 182 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 591 | 152 | 260 | 185 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 595 | 152 | 257 | 182 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 596 | 154 | 261 | 186 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 596 | 153 | 260 | 185 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 601 | 156 | 262 | 187 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 602 | 156 | 265 | 189 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 605 | 156 | 262 | 186 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 158 | 266 | 190 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 156 | 265 | 188 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 611 | 160 | 267 | 190 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 160 | 270 | 193 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 614 | 159 | 267 | 190 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 615 | 161 | 271 | 193 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 615 | 160 | 270 | 192 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 620 | 163 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 620 | 163 | 275 | 196 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 162 | 271 | 193 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 623 | 164 | 275 | 196 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 163 | 274 | 195 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 627 | 166 | 276 | 197 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 628 | 166 | 278 | 198 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 630 | 165 | 276 | 197 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 631 | 167 | 279 | 199 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 631 | 166 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 635 | 169 | 280 | 199 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 168 | 281 | 201 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 638 | 168 | 280 | 199 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 638 | 169 | 283 | 202 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 637 | 168 | 281 | 200 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 171 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 171 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 170 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 644 | 172 | 286 | 204 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 645 | 171 | 285 | 203 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 174 | 286 | 204 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 173 | 288 | 206 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 172 | 286 | 204 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 174 | 289 | 207 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 651 | 173 | 288 | 205 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 654 | 176 | 289 | 206 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 175 | 291 | 208 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 3

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 268 | 32 | 89 | 58 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 329 | 55 | 124 | 85 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1491,74 |
| 362 | 67 | 140 | 96 | 5 | 15 | 44 | 8204,56 | 932,34 |
| 391 | 79 | 154 | 107 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 559,40 |
| 410 | 85 | 167 | 116 | 5 | 25 | 51 | 9509,83 | 745,87 |
| 426 | 91 | 174 | 121 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | 372,93 |
| 437 | 94 | 179 | 125 | 5 | 35 | 54 | 10069,23 | 186,47 |
| 452 | 102 | 186 | 130 | 5 | 40 | 56 | 10442,17 | 372,93 |
| 462 | 104 | 193 | 136 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | 186,47 |
| 471 | 108 | 197 | 139 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 477 | 109 | 199 | 140 | 5 | 55 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 488 | 115 | 204 | 144 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 494 | 116 | 210 | 148 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 502 | 118 | 209 | 147 | 5 | 70 | 62 | 11560,97 | 0,00 |
| 507 | 121 | 215 | 152 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 511 | 121 | 216 | 152 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 519 | 126 | 220 | 155 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 186,47 |
| 523 | 127 | 225 | 159 | 5 | 90 | 66 | 12306,84 | 186,47 |
| 529 | 128 | 223 | 157 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 532 | 130 | 228 | 162 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 535 | 130 | 229 | 161 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 542 | 135 | 232 | 164 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 545 | 135 | 236 | 168 | 5 | 115 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 549 | 135 | 234 | 165 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 552 | 138 | 239 | 169 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 554 | 137 | 238 | 169 | 5 | 130 | 69 | 12866,24 | -186,47 |
| 560 | 141 | 241 | 171 | 5 | 135 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 562 | 141 | 245 | 174 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 186,47 |
| 566 | 142 | 242 | 171 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 568 | 144 | 247 | 175 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 569 | 143 | 246 | 175 | 5 | 155 | 71 | 13239,18 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 575 | 147 | 249 | 177 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 577 | 147 | 252 | 180 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 580 | 147 | 250 | 177 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 582 | 149 | 254 | 181 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 582 | 148 | 253 | 180 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 588 | 151 | 255 | 181 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 589 | 151 | 259 | 184 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 592 | 151 | 256 | 181 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 594 | 153 | 260 | 185 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 594 | 152 | 259 | 184 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 599 | 156 | 261 | 186 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 155 | 264 | 189 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 603 | 155 | 261 | 185 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 604 | 157 | 265 | 189 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 604 | 156 | 264 | 188 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 609 | 159 | 266 | 189 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 610 | 159 | 269 | 192 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 159 | 266 | 189 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 160 | 270 | 193 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 159 | 269 | 191 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 618 | 163 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 162 | 274 | 196 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 621 | 162 | 271 | 192 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 622 | 163 | 274 | 196 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 621 | 162 | 273 | 194 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 626 | 166 | 275 | 196 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 626 | 165 | 277 | 198 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 629 | 165 | 276 | 196 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 629 | 166 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 630 | 166 | 277 | 197 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 633 | 168 | 279 | 199 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 634 | 168 | 281 | 200 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 636 | 167 | 279 | 199 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 637 | 169 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 636 | 167 | 281 | 200 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 171 | 282 | 201 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 641 | 170 | 284 | 203 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 643 | 170 | 283 | 201 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 643 | 171 | 285 | 204 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 643 | 171 | 284 | 202 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 647 | 173 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 647 | 173 | 287 | 205 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 172 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 173 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 173 | 287 | 205 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 653 | 175 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 653 | 175 | 290 | 207 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 653 | 174 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 4

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 265 | 35 | 92 | 61 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 331 | 55 | 122 | 83 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1491,74 |
| 366 | 71 | 143 | 99 | 5 | 15 | 44 | 8204,56 | 932,34 |
| 389 | 76 | 156 | 109 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 559,40 |
| 408 | 84 | 166 | 115 | 5 | 25 | 51 | 9509,83 | 745,87 |
| 428 | 90 | 174 | 121 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | 372,93 |
| 440 | 95 | 181 | 127 | 5 | 35 | 54 | 10069,23 | 186,47 |
| 452 | 103 | 185 | 129 | 5 | 40 | 56 | 10442,17 | 372,93 |
| 463 | 102 | 192 | 135 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | 186,47 |
| 470 | 108 | 197 | 139 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 477 | 113 | 198 | 139 | 5 | 55 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 489 | 115 | 205 | 145 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 494 | 118 | 206 | 144 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 499 | 121 | 211 | 149 | 5 | 70 | 62 | 11560,97 | 0,00 |
| 507 | 120 | 214 | 151 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 513 | 121 | 217 | 153 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 516 | 124 | 218 | 153 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 186,47 |
| 522 | 129 | 221 | 155 | 5 | 90 | 66 | 12306,84 | 186,47 |
| 528 | 128 | 227 | 161 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 531 | 128 | 229 | 163 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 538 | 134 | 231 | 163 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 539 | 134 | 232 | 164 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 543 | 135 | 235 | 167 | 5 | 115 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 546 | 135 | 237 | 168 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 554 | 137 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 556 | 139 | 237 | 168 | 5 | 130 | 69 | 12866,24 | -186,47 |
| 559 | 138 | 240 | 170 | 5 | 135 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 560 | 139 | 241 | 170 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 186,47 |
| 565 | 143 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 566 | 142 | 248 | 176 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 570 | 147 | 247 | 176 | 5 | 155 | 71 | 13239,18 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 574 | 145 | 250 | 178 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 579 | 145 | 252 | 180 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 581 | 150 | 250 | 177 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 580 | 151 | 252 | 179 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 586 | 148 | 253 | 180 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 589 | 148 | 256 | 182 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 589 | 151 | 257 | 182 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 593 | 151 | 259 | 184 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 594 | 155 | 258 | 183 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 595 | 154 | 260 | 185 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 157 | 260 | 185 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 154 | 261 | 186 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 601 | 157 | 262 | 186 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 602 | 158 | 265 | 189 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 157 | 264 | 188 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 157 | 265 | 188 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 609 | 161 | 266 | 189 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 160 | 268 | 191 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 611 | 161 | 270 | 193 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 163 | 271 | 193 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 617 | 161 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 162 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 164 | 274 | 195 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 621 | 161 | 274 | 196 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 623 | 163 | 274 | 195 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 163 | 274 | 195 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 626 | 164 | 277 | 198 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 630 | 164 | 276 | 196 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 628 | 166 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 630 | 166 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 632 | 168 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 634 | 166 | 281 | 200 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 166 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 638 | 170 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 636 | 169 | 283 | 202 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 172 | 281 | 200 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 641 | 172 | 282 | 201 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 173 | 284 | 202 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 642 | 171 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 646 | 171 | 286 | 204 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 172 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 175 | 287 | 205 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 646 | 175 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 175 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 172 | 287 | 205 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 654 | 175 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 652 | 173 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 653 | 173 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 5

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 265 | 35 | 92 | 61 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 331 | 55 | 122 | 83 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1491,74 |
| 366 | 71 | 143 | 99 | 5 | 15 | 44 | 8204,56 | 932,34 |
| 389 | 76 | 156 | 109 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 559,40 |
| 408 | 84 | 166 | 115 | 5 | 25 | 51 | 9509,83 | 745,87 |
| 428 | 90 | 174 | 121 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | 372,93 |
| 440 | 95 | 181 | 127 | 5 | 35 | 54 | 10069,23 | 186,47 |
| 452 | 103 | 185 | 129 | 5 | 40 | 56 | 10442,17 | 372,93 |
| 463 | 102 | 192 | 135 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | 186,47 |
| 470 | 108 | 197 | 139 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 477 | 113 | 198 | 139 | 5 | 55 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 489 | 115 | 205 | 145 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 494 | 118 | 206 | 144 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 499 | 121 | 211 | 149 | 5 | 70 | 62 | 11560,97 | 0,00 |
| 507 | 120 | 214 | 151 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 513 | 121 | 217 | 153 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 516 | 124 | 218 | 153 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 186,47 |
| 522 | 129 | 221 | 155 | 5 | 90 | 66 | 12306,84 | 186,47 |
| 528 | 128 | 227 | 161 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 531 | 128 | 229 | 163 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 538 | 134 | 231 | 163 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 539 | 134 | 232 | 164 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 543 | 135 | 235 | 167 | 5 | 115 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 546 | 135 | 237 | 168 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 554 | 137 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 556 | 139 | 237 | 168 | 5 | 130 | 69 | 12866,24 | -186,47 |
| 559 | 138 | 240 | 170 | 5 | 135 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 560 | 139 | 241 | 170 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 186,47 |
| 565 | 143 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 566 | 142 | 248 | 176 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 570 | 147 | 247 | 176 | 5 | 155 | 71 | 13239,18 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 574 | 145 | 250 | 178 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 579 | 145 | 252 | 180 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 581 | 150 | 250 | 177 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 580 | 151 | 252 | 179 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 586 | 148 | 253 | 180 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 589 | 148 | 256 | 182 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 589 | 151 | 257 | 182 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 593 | 151 | 259 | 184 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 594 | 155 | 258 | 183 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 595 | 154 | 260 | 185 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 157 | 260 | 185 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 154 | 261 | 186 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 601 | 157 | 262 | 186 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 602 | 158 | 265 | 189 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 157 | 264 | 188 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 157 | 265 | 188 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 609 | 161 | 266 | 189 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 160 | 268 | 191 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 611 | 161 | 270 | 193 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 613 | 163 | 271 | 193 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 617 | 161 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 162 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 164 | 274 | 195 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 621 | 161 | 274 | 196 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 623 | 163 | 274 | 195 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 163 | 274 | 195 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 626 | 164 | 277 | 198 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 630 | 164 | 276 | 196 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 628 | 166 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 630 | 166 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 632 | 168 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 634 | 166 | 281 | 200 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 166 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 638 | 170 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 636 | 169 | 283 | 202 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 172 | 281 | 200 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 641 | 172 | 282 | 201 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 173 | 284 | 202 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 642 | 171 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 646 | 171 | 286 | 204 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 172 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 175 | 287 | 205 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 646 | 175 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 175 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 172 | 287 | 205 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 654 | 175 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 652 | 173 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 653 | 173 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 6

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 266 | 34 | 90 | 58 | 5 | 5 | 32 | 5966,95 | - |
| 328 | 56 | 122 | 85 | 5 | 10 | 37 | 6899,29 | 932,34 |
| 363 | 67 | 140 | 97 | 5 | 15 | 43 | 8018,09 | 1118,80 |
| 390 | 79 | 155 | 106 | 5 | 20 | 49 | 9136,90 | 1118,80 |
| 410 | 83 | 166 | 116 | 5 | 25 | 50 | 9323,36 | 186,47 |
| 427 | 90 | 175 | 121 | 5 | 30 | 54 | 10069,23 | 745,87 |
| 439 | 97 | 182 | 127 | 5 | 35 | 55 | 10255,70 | 186,47 |
| 449 | 102 | 186 | 131 | 5 | 40 | 55 | 10255,70 | 0,00 |
| 463 | 103 | 191 | 132 | 5 | 45 | 59 | 11001,57 | 745,87 |
| 470 | 107 | 196 | 140 | 5 | 50 | 56 | 10442,17 | -559,40 |
| 480 | 109 | 201 | 139 | 5 | 55 | 62 | 11560,97 | 1118,80 |
| 486 | 112 | 202 | 142 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | -372,93 |
| 496 | 116 | 207 | 145 | 5 | 65 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 503 | 118 | 213 | 148 | 5 | 70 | 65 | 12120,37 | 559,40 |
| 508 | 120 | 216 | 152 | 5 | 75 | 64 | 11933,91 | -186,47 |
| 515 | 125 | 215 | 152 | 5 | 80 | 63 | 11747,44 | -186,47 |
| 519 | 127 | 219 | 155 | 5 | 85 | 64 | 11933,91 | 186,47 |
| 523 | 127 | 222 | 158 | 5 | 90 | 64 | 11933,91 | 0,00 |
| 528 | 129 | 226 | 157 | 5 | 95 | 69 | 12866,24 | 932,34 |
| 534 | 129 | 228 | 160 | 5 | 100 | 68 | 12679,77 | -186,47 |
| 537 | 130 | 230 | 164 | 5 | 105 | 66 | 12306,84 | -372,93 |
| 542 | 136 | 233 | 162 | 5 | 110 | 71 | 13239,18 | 932,34 |
| 544 | 136 | 232 | 165 | 5 | 115 | 67 | 12493,31 | -745,87 |
| 546 | 138 | 238 | 166 | 5 | 120 | 72 | 13425,64 | 932,34 |
| 551 | 138 | 240 | 170 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | -372,93 |
| 555 | 137 | 237 | 171 | 5 | 130 | 66 | 12306,84 | -745,87 |
| 560 | 138 | 239 | 172 | 5 | 135 | 67 | 12493,31 | 186,47 |
| 563 | 141 | 245 | 171 | 5 | 140 | 74 | 13798,58 | 1305,27 |
| 567 | 145 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | -559,40 |
| 567 | 144 | 246 | 175 | 5 | 150 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 572 | 144 | 248 | 175 | 5 | 155 | 73 | 13612,11 | 372,93 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 573 | 144 | 250 | 178 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | -186,47 |
| 577 | 146 | 251 | 178 | 5 | 165 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 578 | 148 | 254 | 177 | 5 | 170 | 77 | 14357,98 | 745,87 |
| 581 | 151 | 254 | 180 | 5 | 175 | 74 | 13798,58 | -559,40 |
| 585 | 149 | 256 | 183 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | -186,47 |
| 586 | 150 | 255 | 181 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 591 | 149 | 258 | 183 | 5 | 190 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 591 | 150 | 259 | 184 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 596 | 154 | 259 | 184 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 598 | 152 | 259 | 184 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 597 | 157 | 260 | 185 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 601 | 156 | 263 | 188 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 157 | 264 | 188 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 604 | 158 | 265 | 189 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 606 | 160 | 265 | 189 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 610 | 159 | 265 | 188 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 610 | 158 | 268 | 191 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 611 | 159 | 267 | 190 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 614 | 160 | 268 | 191 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 616 | 162 | 269 | 191 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 619 | 162 | 270 | 192 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 620 | 161 | 273 | 195 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 164 | 272 | 193 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 161 | 272 | 194 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 624 | 162 | 273 | 194 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 624 | 164 | 276 | 197 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 627 | 164 | 275 | 196 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 629 | 167 | 277 | 197 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 630 | 167 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 631 | 166 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 633 | 165 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 635 | 167 | 281 | 200 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 167 | 281 | 201 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 637 | 171 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 640 | 170 | 282 | 201 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 638 | 170 | 282 | 201 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 168 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 641 | 171 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 171 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 644 | 170 | 286 | 204 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 172 | 287 | 205 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 173 | 285 | 203 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 173 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 171 | 287 | 205 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 175 | 289 | 207 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 175 | 288 | 205 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 655 | 176 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 175 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 177 | 290 | 207 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 7

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 266 | 31 | 92 | 62 | 5 | 5 | 30 | 5594,02 | - |
| 328 | 55 | 123 | 85 | 5 | 10 | 38 | 7085,76 | 1491,74 |
| 362 | 69 | 142 | 95 | 5 | 15 | 47 | 8763,96 | 1678,21 |
| 391 | 80 | 156 | 107 | 5 | 20 | 49 | 9136,90 | 372,93 |
| 410 | 83 | 166 | 116 | 5 | 25 | 50 | 9323,36 | 186,47 |
| 427 | 91 | 172 | 122 | 5 | 30 | 50 | 9323,36 | 0,00 |
| 439 | 98 | 180 | 125 | 5 | 35 | 55 | 10255,70 | 932,34 |
| 452 | 101 | 188 | 128 | 5 | 40 | 60 | 11188,04 | 932,34 |
| 464 | 104 | 193 | 132 | 5 | 45 | 61 | 11374,50 | 186,47 |
| 473 | 110 | 196 | 137 | 5 | 50 | 59 | 11001,57 | -372,93 |
| 479 | 110 | 200 | 143 | 5 | 55 | 57 | 10628,63 | -372,93 |
| 485 | 116 | 202 | 145 | 5 | 60 | 57 | 10628,63 | 0,00 |
| 496 | 117 | 207 | 147 | 5 | 65 | 60 | 11188,04 | 559,40 |
| 501 | 120 | 210 | 149 | 5 | 70 | 61 | 11374,50 | 186,47 |
| 507 | 121 | 212 | 152 | 5 | 75 | 60 | 11188,04 | -186,47 |
| 514 | 121 | 216 | 154 | 5 | 80 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 519 | 127 | 219 | 154 | 5 | 85 | 65 | 12120,37 | 559,40 |
| 525 | 126 | 224 | 157 | 5 | 90 | 67 | 12493,31 | 372,93 |
| 527 | 129 | 223 | 157 | 5 | 95 | 66 | 12306,84 | -186,47 |
| 534 | 132 | 226 | 163 | 5 | 100 | 63 | 11747,44 | -559,40 |
| 538 | 131 | 228 | 162 | 5 | 105 | 66 | 12306,84 | 559,40 |
| 540 | 132 | 233 | 164 | 5 | 110 | 69 | 12866,24 | 559,40 |
| 546 | 137 | 232 | 167 | 5 | 115 | 65 | 12120,37 | -745,87 |
| 548 | 137 | 234 | 165 | 5 | 120 | 69 | 12866,24 | 745,87 |
| 554 | 139 | 237 | 168 | 5 | 125 | 69 | 12866,24 | 0,00 |
| 554 | 139 | 239 | 169 | 5 | 130 | 70 | 13052,71 | 186,47 |
| 559 | 142 | 240 | 172 | 5 | 135 | 68 | 12679,77 | -372,93 |
| 564 | 140 | 241 | 170 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 559,40 |
| 563 | 141 | 246 | 171 | 5 | 145 | 75 | 13985,05 | 745,87 |
| 569 | 144 | 245 | 173 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | -559,40 |
| 572 | 147 | 249 | 174 | 5 | 155 | 75 | 13985,05 | 559,40 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 574 | 145 | 248 | 177 | 5 | 160 | 71 | 13239,18 | -745,87 |
| 579 | 148 | 249 | 178 | 5 | 165 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 581 | 149 | 253 | 178 | 5 | 170 | 75 | 13985,05 | 745,87 |
| 584 | 150 | 252 | 179 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | -372,93 |
| 584 | 150 | 253 | 180 | 5 | 180 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 585 | 149 | 256 | 180 | 5 | 185 | 76 | 14171,51 | 559,40 |
| 587 | 153 | 256 | 183 | 5 | 190 | 73 | 13612,11 | -559,40 |
| 591 | 152 | 257 | 184 | 5 | 195 | 73 | 13612,11 | 0,00 |
| 592 | 152 | 260 | 185 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | 372,93 |
| 597 | 152 | 259 | 184 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 597 | 153 | 260 | 185 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 599 | 154 | 263 | 188 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 158 | 264 | 188 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 604 | 156 | 265 | 189 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 604 | 158 | 266 | 190 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 607 | 156 | 267 | 190 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 610 | 159 | 267 | 190 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 611 | 161 | 269 | 192 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 615 | 159 | 268 | 191 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 614 | 159 | 269 | 191 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 616 | 160 | 271 | 193 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 162 | 271 | 193 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 622 | 163 | 272 | 193 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 624 | 164 | 274 | 196 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 622 | 165 | 275 | 196 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 623 | 167 | 274 | 195 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 624 | 164 | 275 | 196 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 628 | 167 | 276 | 196 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 628 | 167 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 632 | 165 | 279 | 199 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 632 | 165 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 632 | 170 | 279 | 198 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 635 | 167 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 639 | 169 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 638 | 168 | 281 | 200 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 637 | 172 | 281 | 200 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 640 | 170 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 172 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 642 | 169 | 284 | 203 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 644 | 173 | 285 | 203 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 645 | 172 | 285 | 203 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 647 | 173 | 286 | 204 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 175 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 175 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 172 | 289 | 207 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 174 | 289 | 206 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 655 | 176 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 655 | 176 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 656 | 175 | 291 | 208 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 8

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 268 | 31 | 89 | 58 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 329 | 56 | 123 | 83 | 5 | 10 | 40 | 7458,69 | 1678,21 |
| 364 | 67 | 139 | 97 | 5 | 15 | 42 | 7831,63 | 372,93 |
| 390 | 77 | 152 | 107 | 5 | 20 | 45 | 8391,03 | 559,40 |
| 409 | 87 | 166 | 114 | 5 | 25 | 52 | 9696,30 | 1305,27 |
| 428 | 91 | 173 | 122 | 5 | 30 | 51 | 9509,83 | -186,47 |
| 439 | 97 | 180 | 127 | 5 | 35 | 53 | 9882,77 | 372,93 |
| 451 | 99 | 184 | 130 | 5 | 40 | 54 | 10069,23 | 186,47 |
| 462 | 104 | 192 | 133 | 5 | 45 | 59 | 11001,57 | 932,34 |
| 473 | 108 | 197 | 137 | 5 | 50 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 480 | 109 | 202 | 142 | 5 | 55 | 60 | 11188,04 | 0,00 |
| 486 | 116 | 204 | 142 | 5 | 60 | 62 | 11560,97 | 372,93 |
| 493 | 115 | 207 | 144 | 5 | 65 | 63 | 11747,44 | 186,47 |
| 502 | 121 | 210 | 147 | 5 | 70 | 63 | 11747,44 | 0,00 |
| 508 | 120 | 214 | 149 | 5 | 75 | 65 | 12120,37 | 372,93 |
| 514 | 125 | 216 | 155 | 5 | 80 | 61 | 11374,50 | -745,87 |
| 520 | 127 | 218 | 154 | 5 | 85 | 64 | 11933,91 | 559,40 |
| 525 | 128 | 223 | 159 | 5 | 90 | 64 | 11933,91 | 0,00 |
| 526 | 129 | 227 | 157 | 5 | 95 | 70 | 13052,71 | 1118,80 |
| 532 | 129 | 227 | 161 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | -745,87 |
| 537 | 134 | 232 | 162 | 5 | 105 | 70 | 13052,71 | 745,87 |
| 542 | 133 | 230 | 162 | 5 | 110 | 68 | 12679,77 | -372,93 |
| 546 | 135 | 235 | 164 | 5 | 115 | 71 | 13239,18 | 559,40 |
| 548 | 135 | 237 | 169 | 5 | 120 | 68 | 12679,77 | -559,40 |
| 554 | 136 | 237 | 168 | 5 | 125 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 554 | 141 | 237 | 169 | 5 | 130 | 68 | 12679,77 | -186,47 |
| 561 | 138 | 239 | 171 | 5 | 135 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 560 | 142 | 241 | 170 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | 559,40 |
| 566 | 142 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 568 | 142 | 245 | 173 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |
| 572 | 144 | 247 | 177 | 5 | 155 | 70 | 13052,71 | -372,93 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 574 | 148 | 251 | 176 | 5 | 160 | 75 | 13985,05 | 932,34 |
| 578 | 148 | 252 | 180 | 5 | 165 | 72 | 13425,64 | -559,40 |
| 577 | 149 | 254 | 180 | 5 | 170 | 74 | 13798,58 | 372,93 |
| 580 | 151 | 255 | 181 | 5 | 175 | 74 | 13798,58 | 0,00 |
| 585 | 148 | 256 | 180 | 5 | 180 | 76 | 14171,51 | 372,93 |
| 585 | 148 | 254 | 180 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | -372,93 |
| 588 | 152 | 256 | 184 | 5 | 190 | 72 | 13425,64 | -372,93 |
| 592 | 151 | 259 | 181 | 5 | 195 | 78 | 14544,45 | 1118,80 |
| 593 | 154 | 259 | 185 | 5 | 200 | 74 | 13798,58 | -745,87 |
| 596 | 154 | 258 | 185 | 5 | 205 | 73 | 13612,11 | -186,47 |
| 597 | 157 | 262 | 186 | 5 | 210 | 76 | 14171,51 | 559,40 |
| 600 | 154 | 260 | 185 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | -186,47 |
| 602 | 158 | 262 | 186 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 603 | 155 | 263 | 187 | 5 | 225 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 608 | 158 | 265 | 188 | 5 | 230 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 610 | 160 | 266 | 188 | 5 | 235 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 611 | 159 | 268 | 191 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | -186,47 |
| 611 | 158 | 269 | 192 | 5 | 245 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 161 | 269 | 192 | 5 | 250 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 615 | 163 | 270 | 192 | 5 | 255 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 617 | 160 | 272 | 194 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 618 | 160 | 272 | 194 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 619 | 164 | 274 | 195 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 622 | 161 | 272 | 194 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 622 | 166 | 273 | 194 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 626 | 163 | 274 | 195 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 627 | 167 | 276 | 197 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 627 | 164 | 278 | 198 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 631 | 166 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 633 | 166 | 277 | 197 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 630 | 168 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 636 | 167 | 281 | 200 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 633 | 168 | 279 | 199 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 635 | 171 | 280 | 199 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 637 | 168 | 283 | 202 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 638 | 171 | 283 | 202 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 639 | 168 | 282 | 201 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 643 | 170 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 169 | 285 | 204 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 646 | 172 | 284 | 202 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 171 | 286 | 204 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 647 | 171 | 285 | 203 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 646 | 172 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 647 | 174 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 175 | 287 | 205 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 653 | 176 | 288 | 205 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 653 | 175 | 289 | 206 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 174 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 176 | 291 | 208 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 9

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 265 | 31 | 90 | 59 | 5 | 5 | 31 | 5780,49 | - |
| 327 | 55 | 122 | 83 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1491,74 |
| 362 | 67 | 139 | 98 | 5 | 15 | 41 | 7645,16 | 372,93 |
| 391 | 78 | 156 | 109 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 1118,80 |
| 411 | 83 | 167 | 113 | 5 | 25 | 54 | 10069,23 | 1305,27 |
| 424 | 93 | 174 | 121 | 5 | 30 | 53 | 9882,77 | -186,47 |
| 441 | 97 | 181 | 125 | 5 | 35 | 56 | 10442,17 | 559,40 |
| 451 | 102 | 187 | 130 | 5 | 40 | 57 | 10628,63 | 186,47 |
| 461 | 104 | 193 | 132 | 5 | 45 | 61 | 11374,50 | 745,87 |
| 469 | 109 | 198 | 136 | 5 | 50 | 62 | 11560,97 | 186,47 |
| 478 | 109 | 201 | 141 | 5 | 55 | 60 | 11188,04 | -372,93 |
| 485 | 113 | 202 | 143 | 5 | 60 | 59 | 11001,57 | -186,47 |
| 496 | 114 | 207 | 148 | 5 | 65 | 59 | 11001,57 | 0,00 |
| 501 | 117 | 213 | 149 | 5 | 70 | 64 | 11933,91 | 932,34 |
| 507 | 119 | 212 | 149 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | -186,47 |
| 511 | 125 | 216 | 153 | 5 | 80 | 63 | 11747,44 | 0,00 |
| 520 | 124 | 222 | 156 | 5 | 85 | 66 | 12306,84 | 559,40 |
| 522 | 125 | 222 | 157 | 5 | 90 | 65 | 12120,37 | -186,47 |
| 526 | 128 | 226 | 161 | 5 | 95 | 65 | 12120,37 | 0,00 |
| 531 | 131 | 229 | 159 | 5 | 100 | 70 | 13052,71 | 932,34 |
| 535 | 133 | 230 | 160 | 5 | 105 | 70 | 13052,71 | 0,00 |
| 541 | 133 | 234 | 165 | 5 | 110 | 69 | 12866,24 | -186,47 |
| 547 | 137 | 234 | 168 | 5 | 115 | 66 | 12306,84 | -559,40 |
| 548 | 134 | 238 | 166 | 5 | 120 | 72 | 13425,64 | 1118,80 |
| 553 | 138 | 237 | 170 | 5 | 125 | 67 | 12493,31 | -932,34 |
| 556 | 140 | 237 | 169 | 5 | 130 | 68 | 12679,77 | 186,47 |
| 560 | 138 | 239 | 171 | 5 | 135 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 563 | 143 | 241 | 173 | 5 | 140 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 565 | 142 | 245 | 173 | 5 | 145 | 72 | 13425,64 | 745,87 |
| 566 | 142 | 244 | 172 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 0,00 |
| 572 | 143 | 247 | 175 | 5 | 155 | 72 | 13425,64 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 574 | 147 | 249 | 175 | 5 | 160 | 74 | 13798,58 | 372,93 |
| 578 | 145 | 251 | 176 | 5 | 165 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 581 | 148 | 251 | 179 | 5 | 170 | 72 | 13425,64 | -559,40 |
| 580 | 149 | 251 | 178 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | 186,47 |
| 586 | 150 | 252 | 181 | 5 | 180 | 71 | 13239,18 | -372,93 |
| 587 | 149 | 257 | 179 | 5 | 185 | 78 | 14544,45 | 1305,27 |
| 589 | 151 | 257 | 184 | 5 | 190 | 73 | 13612,11 | -932,34 |
| 589 | 152 | 260 | 182 | 5 | 195 | 78 | 14544,45 | 932,34 |
| 593 | 154 | 258 | 182 | 5 | 200 | 76 | 14171,51 | -372,93 |
| 594 | 155 | 260 | 185 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | -186,47 |
| 596 | 156 | 262 | 186 | 5 | 210 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 600 | 156 | 262 | 186 | 5 | 215 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 604 | 154 | 263 | 187 | 5 | 220 | 76 | 14171,51 | 0,00 |
| 604 | 158 | 262 | 187 | 5 | 225 | 75 | 13985,05 | -186,47 |
| 605 | 160 | 265 | 189 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | 186,47 |
| 607 | 158 | 264 | 187 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 608 | 159 | 265 | 191 | 5 | 240 | 74 | 13798,58 | -559,40 |
| 613 | 162 | 267 | 192 | 5 | 245 | 75 | 13985,05 | 186,47 |
| 615 | 159 | 271 | 190 | 5 | 250 | 81 | 15103,85 | 1118,80 |
| 613 | 160 | 270 | 194 | 5 | 255 | 76 | 14171,51 | -932,34 |
| 619 | 163 | 270 | 193 | 5 | 260 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 617 | 160 | 274 | 196 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 620 | 164 | 272 | 196 | 5 | 270 | 76 | 14171,51 | -372,93 |
| 621 | 163 | 273 | 195 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | 372,93 |
| 625 | 162 | 272 | 193 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 626 | 163 | 275 | 197 | 5 | 285 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 625 | 164 | 278 | 197 | 5 | 290 | 81 | 15103,85 | 559,40 |
| 627 | 167 | 277 | 197 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | -186,47 |
| 630 | 167 | 275 | 197 | 5 | 300 | 78 | 14544,45 | -372,93 |
| 632 | 165 | 279 | 200 | 5 | 305 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 630 | 166 | 280 | 198 | 5 | 310 | 82 | 15290,32 | 559,40 |
| 636 | 169 | 280 | 199 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 635 | 170 | 279 | 202 | 5 | 320 | 77 | 14357,98 | -745,87 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 639 | 170 | 283 | 200 | 5 | 325 | 83 | 15476,78 | 1118,80 |
| 636 | 167 | 282 | 203 | 5 | 330 | 79 | 14730,91 | -745,87 |
| 640 | 168 | 280 | 200 | 5 | 335 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 639 | 172 | 284 | 201 | 5 | 340 | 83 | 15476,78 | 559,40 |
| 641 | 169 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | -186,47 |
| 645 | 170 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 644 | 172 | 286 | 203 | 5 | 355 | 83 | 15476,78 | 372,93 |
| 647 | 173 | 285 | 205 | 5 | 360 | 80 | 14917,38 | -559,40 |
| 647 | 174 | 285 | 204 | 5 | 365 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 647 | 171 | 286 | 205 | 5 | 370 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 651 | 175 | 288 | 206 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 652 | 175 | 289 | 205 | 5 | 380 | 84 | 15663,25 | 372,93 |
| 651 | 175 | 289 | 207 | 5 | 385 | 82 | 15290,32 | -372,93 |
| 653 | 175 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 656 | 175 | 291 | 208 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 657 | 176 | 289 | 208 | 5 | 400 | 81 | 15103,85 | -372,93 |

Ensayo 10

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 269 | 35 | 90 | 58 | 5 | 5 | 32 | 5966,95 | - |
| 330 | 55 | 123 | 84 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1305,27 |
| 362 | 67 | 141 | 99 | 5 | 15 | 42 | 7831,63 | 559,40 |
| 392 | 76 | 155 | 108 | 5 | 20 | 47 | 8763,96 | 932,34 |
| 411 | 84 | 165 | 115 | 5 | 25 | 50 | 9323,36 | 559,40 |
| 425 | 91 | 174 | 120 | 5 | 30 | 54 | 10069,23 | 745,87 |
| 439 | 96 | 182 | 128 | 5 | 35 | 54 | 10069,23 | 0,00 |
| 452 | 102 | 188 | 128 | 5 | 40 | 60 | 11188,04 | 1118,80 |
| 463 | 102 | 190 | 135 | 5 | 45 | 55 | 10255,70 | -932,34 |
| 472 | 108 | 198 | 140 | 5 | 50 | 58 | 10815,10 | 559,40 |
| 478 | 112 | 199 | 142 | 5 | 55 | 57 | 10628,63 | -186,47 |
| 487 | 115 | 205 | 145 | 5 | 60 | 60 | 11188,04 | 559,40 |
| 494 | 118 | 207 | 146 | 5 | 65 | 61 | 11374,50 | 186,47 |
| 499 | 120 | 213 | 149 | 5 | 70 | 64 | 11933,91 | 559,40 |
| 509 | 122 | 215 | 152 | 5 | 75 | 63 | 11747,44 | -186,47 |
| 514 | 125 | 219 | 154 | 5 | 80 | 65 | 12120,37 | 372,93 |
| 520 | 125 | 218 | 156 | 5 | 85 | 62 | 11560,97 | -559,40 |
| 525 | 127 | 223 | 158 | 5 | 90 | 65 | 12120,37 | 559,40 |
| 529 | 130 | 224 | 159 | 5 | 95 | 65 | 12120,37 | 0,00 |
| 531 | 129 | 228 | 160 | 5 | 100 | 68 | 12679,77 | 559,40 |
| 536 | 134 | 231 | 163 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 0,00 |
| 539 | 136 | 231 | 164 | 5 | 110 | 67 | 12493,31 | -186,47 |
| 543 | 136 | 232 | 166 | 5 | 115 | 66 | 12306,84 | -186,47 |
| 549 | 135 | 236 | 166 | 5 | 120 | 70 | 13052,71 | 745,87 |
| 552 | 136 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 0,00 |
| 558 | 138 | 237 | 172 | 5 | 130 | 65 | 12120,37 | -932,34 |
| 561 | 139 | 241 | 172 | 5 | 135 | 69 | 12866,24 | 745,87 |
| 561 | 143 | 245 | 171 | 5 | 140 | 74 | 13798,58 | 932,34 |
| 565 | 141 | 243 | 172 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | -559,40 |
| 570 | 142 | 246 | 172 | 5 | 150 | 74 | 13798,58 | 559,40 |
| 571 | 147 | 247 | 177 | 5 | 155 | 70 | 13052,71 | -745,87 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 573 | 147 | 248 | 175 | 5 | 160 | 73 | 13612,11 | 559,40 |
| 577 | 147 | 249 | 179 | 5 | 165 | 70 | 13052,71 | -559,40 |
| 581 | 147 | 253 | 179 | 5 | 170 | 74 | 13798,58 | 745,87 |
| 583 | 151 | 252 | 179 | 5 | 175 | 73 | 13612,11 | -186,47 |
| 584 | 152 | 255 | 181 | 5 | 180 | 74 | 13798,58 | 186,47 |
| 586 | 150 | 255 | 181 | 5 | 185 | 74 | 13798,58 | 0,00 |
| 589 | 151 | 256 | 182 | 5 | 190 | 74 | 13798,58 | 0,00 |
| 592 | 150 | 259 | 182 | 5 | 195 | 77 | 14357,98 | 559,40 |
| 596 | 152 | 260 | 185 | 5 | 200 | 75 | 13985,05 | -372,93 |
| 598 | 154 | 259 | 184 | 5 | 205 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 600 | 154 | 262 | 187 | 5 | 210 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 598 | 157 | 263 | 188 | 5 | 215 | 75 | 13985,05 | 0,00 |
| 602 | 154 | 263 | 186 | 5 | 220 | 77 | 14357,98 | 372,93 |
| 602 | 157 | 264 | 187 | 5 | 225 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 607 | 156 | 266 | 190 | 5 | 230 | 76 | 14171,51 | -186,47 |
| 607 | 158 | 266 | 189 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | 186,47 |
| 611 | 159 | 266 | 189 | 5 | 240 | 77 | 14357,98 | 0,00 |
| 612 | 162 | 268 | 190 | 5 | 245 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 611 | 160 | 270 | 191 | 5 | 250 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 616 | 161 | 270 | 191 | 5 | 255 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 618 | 162 | 272 | 194 | 5 | 260 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 617 | 163 | 271 | 194 | 5 | 265 | 77 | 14357,98 | -186,47 |
| 618 | 163 | 274 | 193 | 5 | 270 | 81 | 15103,85 | 745,87 |
| 623 | 165 | 273 | 196 | 5 | 275 | 77 | 14357,98 | -745,87 |
| 624 | 166 | 273 | 194 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 372,93 |
| 624 | 166 | 275 | 197 | 5 | 285 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 627 | 166 | 277 | 198 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 626 | 164 | 278 | 196 | 5 | 295 | 82 | 15290,32 | 559,40 |
| 629 | 164 | 278 | 197 | 5 | 300 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 632 | 166 | 279 | 199 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | -186,47 |
| 634 | 169 | 278 | 198 | 5 | 310 | 80 | 14917,38 | 0,00 |
| 635 | 168 | 279 | 198 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 633 | 168 | 281 | 201 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 635 | 170 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 638 | 169 | 283 | 202 | 5 | 330 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 639 | 171 | 283 | 202 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 643 | 172 | 282 | 201 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 172 | 284 | 202 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 643 | 172 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 642 | 171 | 286 | 202 | 5 | 355 | 84 | 15663,25 | 559,40 |
| 647 | 170 | 285 | 203 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | -372,93 |
| 645 | 173 | 285 | 203 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 173 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 171 | 286 | 204 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 651 | 174 | 288 | 206 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 651 | 175 | 290 | 207 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 654 | 175 | 288 | 205 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 175 | 289 | 206 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 175 | 291 | 208 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Ensayo 11

| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_t | ΔT | Q(w) | ΔQ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|
| 266 | 34 | 93 | 61 | 5 | 5 | 32 | 5966,95 | - |
| 331 | 55 | 123 | 84 | 5 | 10 | 39 | 7272,22 | 1305,27 |
| 365 | 70 | 142 | 99 | 5 | 15 | 43 | 8018,09 | 745,87 |
| 389 | 79 | 154 | 109 | 5 | 20 | 45 | 8391,03 | 372,93 |
| 412 | 87 | 164 | 116 | 5 | 25 | 48 | 8950,43 | 559,40 |
| 426 | 93 | 171 | 122 | 5 | 30 | 49 | 9136,90 | 186,47 |
| 438 | 94 | 181 | 124 | 5 | 35 | 57 | 10628,63 | 1491,74 |
| 450 | 99 | 188 | 130 | 5 | 40 | 58 | 10815,10 | 186,47 |
| 460 | 106 | 193 | 136 | 5 | 45 | 57 | 10628,63 | -186,47 |
| 470 | 108 | 194 | 139 | 5 | 50 | 55 | 10255,70 | -372,93 |
| 481 | 109 | 202 | 142 | 5 | 55 | 60 | 11188,04 | 932,34 |
| 485 | 116 | 204 | 146 | 5 | 60 | 58 | 10815,10 | -372,93 |
| 495 | 114 | 207 | 148 | 5 | 65 | 59 | 11001,57 | 186,47 |
| 501 | 120 | 209 | 150 | 5 | 70 | 59 | 11001,57 | 0,00 |
| 506 | 123 | 212 | 152 | 5 | 75 | 60 | 11188,04 | 186,47 |
| 514 | 121 | 218 | 154 | 5 | 80 | 64 | 11933,91 | 745,87 |
| 518 | 124 | 218 | 157 | 5 | 85 | 61 | 11374,50 | -559,40 |
| 521 | 125 | 223 | 159 | 5 | 90 | 64 | 11933,91 | 559,40 |
| 530 | 127 | 227 | 158 | 5 | 95 | 69 | 12866,24 | 932,34 |
| 532 | 128 | 225 | 159 | 5 | 100 | 66 | 12306,84 | -559,40 |
| 537 | 130 | 232 | 164 | 5 | 105 | 68 | 12679,77 | 372,93 |
| 541 | 135 | 232 | 163 | 5 | 110 | 69 | 12866,24 | 186,47 |
| 543 | 134 | 234 | 168 | 5 | 115 | 66 | 12306,84 | -559,40 |
| 548 | 134 | 234 | 168 | 5 | 120 | 66 | 12306,84 | 0,00 |
| 553 | 138 | 238 | 168 | 5 | 125 | 70 | 13052,71 | 745,87 |
| 556 | 137 | 241 | 171 | 5 | 130 | 70 | 13052,71 | 0,00 |
| 560 | 138 | 241 | 169 | 5 | 135 | 72 | 13425,64 | 372,93 |
| 560 | 139 | 243 | 172 | 5 | 140 | 71 | 13239,18 | -186,47 |
| 563 | 141 | 244 | 173 | 5 | 145 | 71 | 13239,18 | 0,00 |
| 568 | 145 | 244 | 172 | 5 | 150 | 72 | 13425,64 | 186,47 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 573 | 145 | 249 | 175 | 5 | 155 | 74 | 13798,58 | 372,93 |
| 576 | 145 | 249 | 177 | 5 | 160 | 72 | 13425,64 | -372,93 |
| 575 | 149 | 252 | 178 | 5 | 165 | 74 | 13798,58 | 372,93 |
| 579 | 146 | 252 | 179 | 5 | 170 | 73 | 13612,11 | -186,47 |
| 584 | 149 | 251 | 181 | 5 | 175 | 70 | 13052,71 | -559,40 |
| 582 | 149 | 255 | 183 | 5 | 180 | 72 | 13425,64 | 372,93 |
| 585 | 148 | 256 | 180 | 5 | 185 | 76 | 14171,51 | 745,87 |
| 589 | 149 | 259 | 181 | 5 | 190 | 78 | 14544,45 | 372,93 |
| 593 | 153 | 259 | 184 | 5 | 195 | 75 | 13985,05 | -559,40 |
| 593 | 154 | 257 | 183 | 5 | 200 | 74 | 13798,58 | -186,47 |
| 595 | 155 | 258 | 186 | 5 | 205 | 72 | 13425,64 | -372,93 |
| 598 | 153 | 259 | 185 | 5 | 210 | 74 | 13798,58 | 372,93 |
| 600 | 155 | 263 | 185 | 5 | 215 | 78 | 14544,45 | 745,87 |
| 600 | 158 | 263 | 189 | 5 | 220 | 74 | 13798,58 | -745,87 |
| 605 | 158 | 264 | 190 | 5 | 225 | 74 | 13798,58 | 0,00 |
| 604 | 156 | 266 | 188 | 5 | 230 | 78 | 14544,45 | 745,87 |
| 608 | 158 | 265 | 188 | 5 | 235 | 77 | 14357,98 | -186,47 |
| 608 | 158 | 269 | 191 | 5 | 240 | 78 | 14544,45 | 186,47 |
| 613 | 162 | 268 | 190 | 5 | 245 | 78 | 14544,45 | 0,00 |
| 612 | 160 | 270 | 194 | 5 | 250 | 76 | 14171,51 | -372,93 |
| 614 | 160 | 268 | 193 | 5 | 255 | 75 | 13985,05 | -186,47 |
| 615 | 162 | 272 | 193 | 5 | 260 | 79 | 14730,91 | 745,87 |
| 619 | 163 | 273 | 195 | 5 | 265 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 618 | 161 | 274 | 195 | 5 | 270 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 624 | 164 | 274 | 196 | 5 | 275 | 78 | 14544,45 | -186,47 |
| 621 | 163 | 273 | 194 | 5 | 280 | 79 | 14730,91 | 186,47 |
| 626 | 165 | 273 | 194 | 5 | 285 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 625 | 165 | 274 | 195 | 5 | 290 | 79 | 14730,91 | 0,00 |
| 629 | 167 | 275 | 195 | 5 | 295 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 629 | 165 | 278 | 199 | 5 | 300 | 79 | 14730,91 | -186,47 |
| 632 | 169 | 278 | 198 | 5 | 305 | 80 | 14917,38 | 186,47 |
| 632 | 168 | 278 | 200 | 5 | 310 | 78 | 14544,45 | -372,93 |
| 635 | 170 | 280 | 199 | 5 | 315 | 81 | 15103,85 | 559,40 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----------|---------|
| 633 | 168 | 280 | 200 | 5 | 320 | 80 | 14917,38 | -186,47 |
| 636 | 168 | 282 | 201 | 5 | 325 | 81 | 15103,85 | 186,47 |
| 636 | 167 | 281 | 202 | 5 | 330 | 79 | 14730,91 | -372,93 |
| 639 | 168 | 283 | 202 | 5 | 335 | 81 | 15103,85 | 372,93 |
| 639 | 170 | 283 | 202 | 5 | 340 | 81 | 15103,85 | 0,00 |
| 642 | 170 | 285 | 203 | 5 | 345 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 641 | 169 | 283 | 202 | 5 | 350 | 81 | 15103,85 | -186,47 |
| 643 | 172 | 286 | 204 | 5 | 355 | 82 | 15290,32 | 186,47 |
| 644 | 171 | 287 | 205 | 5 | 360 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 646 | 173 | 287 | 205 | 5 | 365 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 648 | 174 | 286 | 204 | 5 | 370 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 649 | 172 | 286 | 204 | 5 | 375 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 651 | 175 | 287 | 205 | 5 | 380 | 82 | 15290,32 | 0,00 |
| 650 | 176 | 290 | 207 | 5 | 385 | 83 | 15476,78 | 186,47 |
| 654 | 173 | 290 | 207 | 5 | 390 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 654 | 177 | 291 | 208 | 5 | 395 | 83 | 15476,78 | 0,00 |
| 657 | 177 | 289 | 206 | 5 | 400 | 83 | 15476,78 | 0,00 |

Tabla de resumen promedio de los ensayos

| | | | | | | | k_{AI} | A | e |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | | | 209,3 | 0,0098 | 0,011 |
| Tc | Tp | T1 | T2 | Δt | t_i | ΔT | Q(w) | ΔQ | Abs(ΔQ) |
| 266,45 | 33,00 | 90,64 | 59,45 | 5 | 5 | 31,18 | 5814,39 | - | |
| 329,09 | 55,27 | 122,73 | 84,00 | 5 | 10 | 38,73 | 7221,37 | 1406,98 | 1.406,98 |
| 363,91 | 68,55 | 141,09 | 97,64 | 5 | 15 | 43,45 | 8102,85 | 881,48 | 881,48 |
| 390,09 | 77,73 | 154,64 | 107,82 | 5 | 20 | 46,82 | 8730,06 | 627,21 | 627,21 |
| 410,00 | 84,64 | 165,82 | 114,82 | 5 | 25 | 51,00 | 9509,83 | 779,77 | 779,77 |
| 426,36 | 91,09 | 173,45 | 121,09 | 5 | 30 | 52,36 | 9764,1 | 254,27 | 254,27 |
| 438,91 | 95,91 | 180,82 | 126,09 | 5 | 35 | 54,73 | 10204,8 | 440,74 | 440,74 |
| 451,09 | 101,27 | 186,36 | 129,73 | 5 | 40 | 56,64 | 10560,8 | 355,98 | 355,98 |
| 462,45 | 103,45 | 191,82 | 133,91 | 5 | 45 | 57,91 | 10798,2 | 237,32 | 237,32 |
| 471,00 | 108,09 | 196,36 | 138,18 | 5 | 50 | 58,18 | 10849 | 50,85 | 50,85 |
| 478,64 | 110,45 | 200,09 | 140,91 | 5 | 55 | 59,18 | 11035,5 | 186,47 | 186,47 |
| 486,55 | 114,45 | 203,64 | 144,00 | 5 | 60 | 59,64 | 11120,2 | 84,76 | 84,76 |
| 494,64 | 116,27 | 207,27 | 146,00 | 5 | 65 | 61,27 | 11425,4 | 305,13 | 305,13 |
| 500,82 | 119,45 | 211,18 | 148,82 | 5 | 70 | 62,36 | 11628,8 | 203,42 | 203,42 |
| 507,36 | 120,64 | 213,64 | 150,91 | 5 | 75 | 62,73 | 11696,6 | 67,81 | 67,81 |
| 513,18 | 122,82 | 216,82 | 153,36 | 5 | 80 | 63,45 | 11832,2 | 135,61 | 135,61 |
| 518,27 | 125,09 | 219,00 | 154,73 | 5 | 85 | 64,27 | 11984,8 | 152,56 | 152,56 |
| 523,18 | 127,09 | 222,73 | 157,36 | 5 | 90 | 65,36 | 12188,2 | 203,42 | 203,42 |
| 527,91 | 128,55 | 225,64 | 158,91 | 5 | 95 | 66,73 | 12442,5 | 254,27 | 254,27 |
| 532,09 | 129,36 | 227,36 | 160,91 | 5 | 100 | 66,45 | 12391,6 | -50,85 | 50,85 |
| 536,82 | 132,18 | 230,45 | 162,45 | 5 | 105 | 68,00 | 12679,8 | 288,18 | 288,18 |
| 540,45 | 134,00 | 232,00 | 163,55 | 5 | 110 | 68,45 | 12764,5 | 84,76 | 84,76 |
| 544,64 | 135,55 | 233,91 | 166,55 | 5 | 115 | 67,36 | 12561,1 | -203,42 | 203,42 |
| 547,64 | 135,45 | 236,27 | 167,00 | 5 | 120 | 69,27 | 12917,1 | 355,98 | 355,98 |
| 552,91 | 137,45 | 237,82 | 168,27 | 5 | 125 | 69,55 | 12968 | 50,85 | 50,85 |
| 555,55 | 138,64 | 238,09 | 169,73 | 5 | 130 | 68,36 | 12747,6 | -220,37 | 220,37 |
| 559,55 | 138,91 | 240,09 | 170,82 | 5 | 135 | 69,27 | 12917,1 | 169,52 | 169,52 |
| 561,64 | 140,91 | 242,64 | 171,36 | 5 | 140 | 71,27 | 13290 | 372,93 | 372,93 |
| 565,00 | 142,36 | 244,18 | 172,73 | 5 | 145 | 71,45 | 13323,9 | 33,90 | 33,90 |
| 567,73 | 143,09 | 245,73 | 173,64 | 5 | 150 | 72,09 | 13442,6 | 118,66 | 118,66 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|---|-----|-------|---------|---------|--------|
| 571,18 | 145,18 | 247,45 | 175,73 | 5 | 155 | 71,73 | 13374,8 | -67,81 | 67,81 |
| 573,91 | 145,73 | 249,18 | 176,73 | 5 | 160 | 72,45 | 13510,4 | 135,61 | 135,61 |
| 577,64 | 146,82 | 250,91 | 178,64 | 5 | 165 | 72,27 | 13476,5 | -33,90 | 33,90 |
| 579,73 | 148,18 | 252,09 | 178,45 | 5 | 170 | 73,64 | 13730,8 | 254,27 | 254,27 |
| 581,73 | 149,91 | 252,45 | 179,55 | 5 | 175 | 72,91 | 13595,2 | -135,61 | 135,61 |
| 584,36 | 149,27 | 254,09 | 181,00 | 5 | 180 | 73,09 | 13629,1 | 33,90 | 33,90 |
| 586,55 | 149,00 | 255,36 | 180,64 | 5 | 185 | 74,73 | 13934,2 | 305,13 | 305,13 |
| 589,00 | 151,00 | 257,18 | 182,64 | 5 | 190 | 74,55 | 13900,3 | -33,90 | 33,90 |
| 591,64 | 151,36 | 258,64 | 183,09 | 5 | 195 | 75,55 | 14086,8 | 186,47 | 186,47 |
| 594,00 | 153,45 | 258,64 | 183,73 | 5 | 200 | 74,91 | 13968,1 | -118,66 | 118,66 |
| 595,82 | 153,64 | 259,36 | 184,82 | 5 | 205 | 74,55 | 13900,3 | -67,81 | 67,81 |
| 598,00 | 155,27 | 260,64 | 185,55 | 5 | 210 | 75,09 | 14002 | 101,71 | 101,71 |
| 599,91 | 155,09 | 262,18 | 186,82 | 5 | 215 | 75,36 | 14052,9 | 50,85 | 50,85 |
| 601,55 | 156,36 | 262,91 | 187,00 | 5 | 220 | 75,91 | 14154,6 | 101,71 | 101,71 |
| 603,55 | 157,09 | 264,00 | 188,18 | 5 | 225 | 75,82 | 14137,6 | -16,95 | 16,95 |
| 605,64 | 157,64 | 265,09 | 188,82 | 5 | 230 | 76,27 | 14222,4 | 84,76 | 84,76 |
| 607,64 | 157,82 | 265,45 | 188,36 | 5 | 235 | 77,09 | 14374,9 | 152,56 | 152,56 |
| 609,73 | 159,27 | 267,09 | 190,27 | 5 | 240 | 76,82 | 14324,1 | -50,85 | 50,85 |
| 612,00 | 160,27 | 268,00 | 191,00 | 5 | 245 | 77,00 | 14358 | 33,90 | 33,90 |
| 612,82 | 160,00 | 269,27 | 191,82 | 5 | 250 | 77,45 | 14442,7 | 84,76 | 84,76 |
| 614,27 | 161,09 | 269,82 | 192,18 | 5 | 255 | 77,64 | 14476,6 | 33,90 | 33,90 |
| 617,09 | 161,45 | 271,00 | 193,00 | 5 | 260 | 78,00 | 14544,4 | 67,81 | 67,81 |
| 618,73 | 161,82 | 272,36 | 194,45 | 5 | 265 | 77,91 | 14527,5 | -16,95 | 16,95 |
| 619,55 | 163,18 | 273,18 | 194,27 | 5 | 270 | 78,91 | 14714 | 186,47 | 186,47 |
| 622,36 | 162,55 | 273,09 | 195,18 | 5 | 275 | 77,91 | 14527,5 | -186,47 | 186,47 |
| 622,82 | 163,64 | 273,55 | 194,55 | 5 | 280 | 79,00 | 14730,9 | 203,42 | 203,42 |
| 624,45 | 164,36 | 274,45 | 195,64 | 5 | 285 | 78,82 | 14697 | -33,90 | 33,90 |
| 626,00 | 164,91 | 276,18 | 197,00 | 5 | 290 | 79,18 | 14764,8 | 67,81 | 67,81 |
| 628,27 | 165,55 | 276,73 | 196,55 | 5 | 295 | 80,18 | 14951,3 | 186,47 | 186,47 |
| 629,18 | 165,91 | 277,45 | 198,36 | 5 | 300 | 79,09 | 14747,9 | -203,42 | 203,42 |
| 631,27 | 166,27 | 278,18 | 198,27 | 5 | 305 | 79,91 | 14900,4 | 152,56 | 152,56 |
| 631,91 | 167,09 | 278,36 | 198,36 | 5 | 310 | 80,00 | 14917,4 | 16,95 | 16,95 |
| 634,55 | 168,00 | 280,27 | 199,27 | 5 | 315 | 81,00 | 15103,8 | 186,47 | 186,47 |
| 634,55 | 167,55 | 280,00 | 200,27 | 5 | 320 | 79,73 | 14866,5 | -237,32 | 237,32 |
| 637,18 | 169,55 | 281,64 | 200,45 | 5 | 325 | 81,18 | 15137,8 | 271,23 | 271,23 |
| 637,18 | 168,36 | 282,18 | 201,55 | 5 | 330 | 80,64 | 15036 | -101,71 | 101,71 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|---|-----|-------|---------|---------|--------|
| 638,82 | 170,27 | 281,73 | 200,82 | 5 | 335 | 80,91 | 15086,9 | 50,85 | 50,85 |
| 640,55 | 170,45 | 282,82 | 201,64 | 5 | 340 | 81,18 | 15137,8 | 50,85 | 50,85 |
| 641,64 | 171,09 | 284,45 | 202,45 | 5 | 345 | 82,00 | 15290,3 | 152,56 | 152,56 |
| 643,00 | 170,36 | 283,55 | 202,55 | 5 | 350 | 81,00 | 15103,8 | -186,47 | 186,47 |
| 644,18 | 171,55 | 285,45 | 203,18 | 5 | 355 | 82,27 | 15341,2 | 237,32 | 237,32 |
| 645,18 | 171,73 | 285,82 | 204,00 | 5 | 360 | 81,82 | 15256,4 | -84,76 | 84,76 |
| 647,36 | 173,36 | 286,00 | 204,09 | 5 | 365 | 81,91 | 15273,4 | 16,95 | 16,95 |
| 647,55 | 173,27 | 286,27 | 204,36 | 5 | 370 | 81,91 | 15273,4 | 0,00 | |
| 649,18 | 173,27 | 287,27 | 205,27 | 5 | 375 | 82,00 | 15290,3 | 16,95 | 16,95 |
| 649,73 | 173,73 | 287,91 | 205,73 | 5 | 380 | 82,18 | 15324,2 | 33,90 | 33,90 |
| 651,73 | 174,82 | 288,91 | 206,00 | 5 | 385 | 82,91 | 15459,8 | 135,61 | 135,61 |
| 653,45 | 174,73 | 288,64 | 205,64 | 5 | 390 | 83,00 | 15476,8 | 16,95 | 16,95 |
| 654,09 | 174,73 | 289,64 | 206,64 | 5 | 395 | 83,00 | 15476,8 | 0,00 | |
| 655,27 | 176,00 | 290,09 | 207,27 | 5 | 400 | 82,82 | 15442,9 | -33,90 | 33,90 |

Datos ensayos para determinar la Conductividad Térmica

Ensayo 1 Probeta 1 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|--------|
| 0 | 0 | 22 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 0 | 0,0000 |
| 1 | 5 | 237 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2413 |
| 2 | 10 | 288 | 20 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1977 |
| 3 | 15 | 317 | 37 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1887 |
| 4 | 20 | 338 | 49 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1828 |
| 5 | 25 | 354 | 58 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1785 |
| 6 | 30 | 368 | 65 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1751 |
| 7 | 35 | 379 | 72 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1723 |
| 8 | 40 | 418 | 77 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1551 |
| 9 | 45 | 439 | 83 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 10 | 50 | 458 | 86 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1421 |
| 11 | 55 | 475 | 102 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1415 |
| 12 | 60 | 491 | 116 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1410 |
| 13 | 65 | 505 | 129 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1405 |
| 14 | 70 | 506 | 141 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1450 |
| 15 | 75 | 518 | 152 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 16 | 80 | 529 | 163 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1443 |
| 17 | 85 | 541 | 173 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1437 |
| 18 | 90 | 551 | 182 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1434 |
| 19 | 95 | 560 | 191 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1431 |
| 20 | 100 | 570 | 199 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1429 |
| 21 | 105 | 578 | 207 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1426 |
| 22 | 110 | 586 | 215 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1424 |
| 23 | 115 | 593 | 222 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1426 |
| 24 | 120 | 596 | 229 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1443 |
| 25 | 125 | 603 | 236 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1441 |
| 26 | 130 | 610 | 242 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1439 |
| 27 | 135 | 616 | 248 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1437 |
| 28 | 140 | 623 | 254 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1435 |
| 29 | 145 | 629 | 260 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1434 |
| 30 | 150 | 635 | 266 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1432 |
| 31 | 155 | 641 | 271 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1430 |
| 32 | 160 | 641 | 276 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1449 |
| 33 | 165 | 647 | 281 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 34 | 170 | 652 | 286 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1446 |
| 35 | 175 | 652 | 291 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1464 |
| 36 | 180 | 657 | 295 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 37 | 185 | 662 | 300 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 38 | 190 | 666 | 304 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1460 |
| 39 | 195 | 671 | 309 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1459 |
| 40 | 200 | 676 | 313 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1457 |

| | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 41 | 205 | 680 | 317 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1456 |
| 42 | 210 | 684 | 321 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1455 |
| 43 | 215 | 688 | 325 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1454 |
| 44 | 220 | 692 | 328 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1452 |
| 45 | 225 | 696 | 332 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1451 |
| 46 | 230 | 700 | 336 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1450 |
| 47 | 235 | 704 | 339 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1449 |
| 48 | 240 | 708 | 342 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1448 |
| 49 | 245 | 711 | 346 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 50 | 250 | 715 | 349 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1446 |
| 51 | 255 | 718 | 352 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1445 |
| 52 | 260 | 722 | 356 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1444 |
| 53 | 265 | 725 | 359 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1443 |
| 54 | 270 | 728 | 362 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1442 |
| 55 | 275 | 732 | 365 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1441 |
| 56 | 280 | 735 | 368 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1441 |
| 57 | 285 | 738 | 371 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1440 |
| 58 | 290 | 741 | 373 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1439 |
| 59 | 295 | 744 | 376 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1438 |
| 60 | 300 | 747 | 379 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1437 |
| 61 | 305 | 750 | 382 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1436 |
| 62 | 310 | 753 | 384 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1435 |
| 63 | 315 | 755 | 387 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1435 |
| 64 | 320 | 758 | 389 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1434 |
| 65 | 325 | 761 | 392 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1433 |
| 66 | 330 | 764 | 395 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1432 |
| 67 | 335 | 766 | 397 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1432 |
| 68 | 340 | 769 | 399 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1431 |
| 69 | 345 | 771 | 402 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1430 |
| 70 | 350 | 774 | 404 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1430 |
| 71 | 355 | 776 | 406 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1429 |
| 72 | 360 | 779 | 409 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1428 |
| 73 | 365 | 781 | 411 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1428 |
| 74 | 370 | 784 | 413 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1427 |
| 75 | 375 | 786 | 415 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1426 |
| 76 | 380 | 788 | 418 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1426 |
| 77 | 385 | 791 | 420 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1425 |
| 78 | 390 | 793 | 422 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1424 |
| 79 | 395 | 795 | 424 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1424 |
| 80 | 400 | 797 | 426 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1423 |

Ensayo 2 Probeta 2 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|--------|
| 0 | 0 | 18 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 0,00 | |
| 1 | 5 | 235 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2437 |
| 2 | 10 | 278 | 20 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2050 |
| 3 | 15 | 310 | 35 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1923 |
| 4 | 20 | 328 | 47 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1882 |
| 5 | 25 | 341 | 56 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1855 |
| 6 | 30 | 354 | 62 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1811 |
| 7 | 35 | 366 | 67 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1768 |
| 8 | 40 | 400 | 69 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1597 |
| 9 | 45 | 430 | 70 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1470 |
| 10 | 50 | 447 | 87 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1471 |
| 11 | 55 | 462 | 103 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1472 |
| 12 | 60 | 476 | 117 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1472 |
| 13 | 65 | 489 | 130 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1473 |
| 14 | 70 | 501 | 142 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1473 |
| 15 | 75 | 512 | 153 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1474 |
| 16 | 80 | 522 | 164 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1474 |
| 17 | 85 | 532 | 174 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1475 |
| 18 | 90 | 541 | 183 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1475 |
| 19 | 95 | 550 | 192 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1476 |
| 20 | 100 | 558 | 200 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1476 |
| 21 | 105 | 566 | 208 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1476 |
| 22 | 110 | 574 | 216 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1477 |
| 23 | 115 | 581 | 223 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1477 |
| 24 | 120 | 588 | 230 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1477 |
| 25 | 125 | 594 | 236 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1478 |
| 26 | 130 | 601 | 243 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1478 |
| 27 | 135 | 607 | 249 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1478 |
| 28 | 140 | 612 | 255 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1479 |
| 29 | 145 | 618 | 261 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1479 |
| 30 | 150 | 624 | 266 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1479 |
| 31 | 155 | 629 | 271 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1479 |
| 32 | 160 | 634 | 277 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1480 |
| 33 | 165 | 639 | 282 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1480 |
| 34 | 170 | 644 | 286 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1480 |
| 35 | 175 | 648 | 291 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1480 |
| 36 | 180 | 653 | 296 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1480 |
| 37 | 185 | 657 | 300 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1481 |
| 38 | 190 | 662 | 304 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1481 |
| 39 | 195 | 666 | 309 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1481 |
| 40 | 200 | 670 | 313 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1481 |
| 41 | 205 | 674 | 317 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1481 |
| 42 | 210 | 678 | 321 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 681 | 325 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |
| 44 | 220 | 685 | 328 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |
| 45 | 225 | 689 | 332 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |
| 46 | 230 | 692 | 336 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |
| 47 | 235 | 696 | 339 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1482 |
| 48 | 240 | 699 | 342 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 49 | 245 | 702 | 346 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 50 | 250 | 706 | 349 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 51 | 255 | 709 | 352 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 52 | 260 | 712 | 355 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 53 | 265 | 715 | 359 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 54 | 270 | 718 | 362 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |
| 55 | 275 | 721 | 365 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 56 | 280 | 724 | 368 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 57 | 285 | 727 | 370 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 58 | 290 | 730 | 373 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 59 | 295 | 732 | 376 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 60 | 300 | 735 | 379 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 61 | 305 | 738 | 381 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 62 | 310 | 740 | 384 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1484 |
| 63 | 315 | 743 | 387 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 64 | 320 | 745 | 389 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 65 | 325 | 748 | 392 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 66 | 330 | 750 | 394 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 67 | 335 | 753 | 397 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 68 | 340 | 755 | 399 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 69 | 345 | 757 | 401 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 70 | 350 | 760 | 404 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 71 | 355 | 762 | 406 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 72 | 360 | 764 | 408 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 73 | 365 | 767 | 411 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 74 | 370 | 769 | 413 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 75 | 375 | 771 | 415 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 76 | 380 | 773 | 417 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 77 | 385 | 775 | 419 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 78 | 390 | 777 | 421 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 79 | 395 | 779 | 423 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |
| 80 | 400 | 781 | 426 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1486 |

Ensayo 3 Probeta 3 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m²) | ΔQ (W) | k |
|-------------|----------------|-----------|-----------|--------------|--------------------------|---------------|----------|
| 0 | 0 | 18 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2459 |
| 1 | 5 | 233 | 18 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2149 |
| 2 | 10 | 265 | 19 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1909 |
| 3 | 15 | 310 | 33 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1868 |
| 4 | 20 | 328 | 45 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1817 |
| 5 | 25 | 341 | 50 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1762 |
| 6 | 30 | 354 | 54 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1734 |
| 7 | 35 | 362 | 57 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1560 |
| 8 | 40 | 398 | 59 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1458 |
| 9 | 45 | 423 | 61 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1458 |
| 10 | 50 | 440 | 77 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1459 |
| 11 | 55 | 455 | 93 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1459 |
| 12 | 60 | 469 | 107 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1460 |
| 13 | 65 | 482 | 119 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1460 |
| 14 | 70 | 493 | 131 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1460 |
| 15 | 75 | 504 | 142 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1460 |
| 16 | 80 | 515 | 153 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 17 | 85 | 524 | 162 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 18 | 90 | 533 | 171 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 19 | 95 | 542 | 180 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 20 | 100 | 550 | 188 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 21 | 105 | 558 | 196 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 22 | 110 | 565 | 204 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 23 | 115 | 572 | 211 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 24 | 120 | 579 | 217 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 25 | 125 | 586 | 224 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 26 | 130 | 592 | 230 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1462 |
| 27 | 135 | 598 | 236 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 28 | 140 | 604 | 242 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 29 | 145 | 609 | 248 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 30 | 150 | 615 | 253 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 31 | 155 | 620 | 258 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 32 | 160 | 625 | 264 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 33 | 165 | 630 | 268 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1463 |
| 34 | 170 | 635 | 273 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1464 |
| 35 | 175 | 639 | 278 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1464 |
| 36 | 180 | 644 | 282 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 37 | 185 | 648 | 287 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 38 | 190 | 652 | 291 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1448 |
| 39 | 195 | 656 | 295 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1448 |
| 40 | 200 | 660 | 299 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1449 |
| 41 | 205 | 664 | 303 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1449 |
| 42 | 210 | 668 | 307 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1450 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 672 | 311 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1450 |
| 44 | 220 | 676 | 314 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1451 |
| 45 | 225 | 679 | 318 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1451 |
| 46 | 230 | 683 | 322 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1451 |
| 47 | 235 | 686 | 325 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1452 |
| 48 | 240 | 689 | 328 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1452 |
| 49 | 245 | 693 | 332 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1452 |
| 50 | 250 | 696 | 335 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 51 | 255 | 699 | 338 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 52 | 260 | 702 | 341 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 53 | 265 | 705 | 344 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 54 | 270 | 708 | 347 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 55 | 275 | 711 | 350 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 56 | 280 | 714 | 353 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 57 | 285 | 717 | 356 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 58 | 290 | 719 | 359 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 59 | 295 | 722 | 361 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 60 | 300 | 725 | 364 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 61 | 305 | 727 | 367 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 62 | 310 | 730 | 369 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 63 | 315 | 733 | 372 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 64 | 320 | 735 | 374 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 65 | 325 | 738 | 377 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 66 | 330 | 740 | 379 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 67 | 335 | 742 | 382 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 68 | 340 | 745 | 384 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 69 | 345 | 747 | 386 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 70 | 350 | 749 | 389 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 71 | 355 | 752 | 391 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1466 |
| 72 | 360 | 754 | 393 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 73 | 365 | 756 | 395 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 74 | 370 | 758 | 398 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 75 | 375 | 760 | 400 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 76 | 380 | 762 | 402 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 77 | 385 | 764 | 404 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 78 | 390 | 767 | 406 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 79 | 395 | 769 | 408 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1467 |
| 80 | 400 | 771 | 410 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2459 |

Ensayo 4 Probeta 4 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|----------|
| 0 | 0 | 15 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 17 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 26,4368 |
| 2 | 10 | 18 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 17,6245 |
| 3 | 15 | 19 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 13,2184 |
| 4 | 20 | 20 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 10,5747 |
| 5 | 25 | 22 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 7,5534 |
| 6 | 30 | 23 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 6,6092 |
| 7 | 35 | 25 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 5,2874 |
| 8 | 40 | 27 | 35 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -6,5486 |
| 9 | 45 | 63 | 63 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 201,0400 |
| 10 | 50 | 99 | 70 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 1,8520 |
| 11 | 55 | 133 | 74 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,8994 |
| 12 | 60 | 166 | 80 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,6150 |
| 13 | 65 | 198 | 90 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,4891 |
| 14 | 70 | 229 | 95 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,3940 |
| 15 | 75 | 259 | 107 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,3473 |
| 16 | 80 | 288 | 117 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,3088 |
| 17 | 85 | 316 | 125 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2766 |
| 18 | 90 | 343 | 130 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2482 |
| 19 | 95 | 369 | 136 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2270 |
| 20 | 100 | 394 | 138 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2068 |
| 21 | 105 | 417 | 140 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1906 |
| 22 | 110 | 440 | 143 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1780 |
| 23 | 115 | 462 | 147 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1680 |
| 24 | 120 | 482 | 151 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1596 |
| 25 | 125 | 502 | 154 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1520 |
| 26 | 130 | 520 | 157 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1455 |
| 27 | 135 | 538 | 160 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1400 |
| 28 | 140 | 554 | 163 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1352 |
| 29 | 145 | 570 | 166 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1310 |
| 30 | 150 | 584 | 169 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1275 |
| 31 | 155 | 597 | 172 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1244 |
| 32 | 160 | 609 | 175 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1218 |
| 33 | 165 | 620 | 178 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1194 |
| 34 | 170 | 630 | 180 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1174 |
| 35 | 175 | 639 | 182 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1157 |
| 36 | 180 | 642 | 185 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1157 |
| 37 | 185 | 656 | 187 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1128 |
| 38 | 190 | 662 | 189 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1119 |
| 39 | 195 | 667 | 191 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1112 |
| 40 | 200 | 671 | 194 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1107 |
| 41 | 205 | 673 | 196 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1108 |
| 42 | 210 | 676 | 198 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1105 |

| | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 676 | 200 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1110 |
| 44 | 220 | 681 | 201 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1103 |
| 45 | 225 | 683 | 203 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1102 |
| 46 | 230 | 684 | 205 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1104 |
| 47 | 235 | 684 | 207 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1108 |
| 48 | 240 | 685 | 209 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1110 |
| 49 | 245 | 686 | 210 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1112 |
| 50 | 250 | 687 | 212 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1113 |
| 51 | 255 | 688 | 214 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1115 |
| 52 | 260 | 689 | 215 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1116 |
| 53 | 265 | 690 | 217 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1118 |
| 54 | 270 | 691 | 218 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1119 |
| 55 | 275 | 692 | 220 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1121 |
| 56 | 280 | 693 | 222 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1122 |
| 57 | 285 | 694 | 223 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1124 |
| 58 | 290 | 694 | 224 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1125 |
| 59 | 295 | 695 | 226 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1126 |
| 60 | 300 | 696 | 227 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1128 |
| 61 | 305 | 697 | 229 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1129 |
| 62 | 310 | 698 | 230 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1130 |
| 63 | 315 | 698 | 231 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1132 |
| 64 | 320 | 699 | 233 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1133 |
| 65 | 325 | 700 | 234 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1134 |
| 66 | 330 | 701 | 235 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1136 |
| 67 | 335 | 701 | 236 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1137 |
| 68 | 340 | 702 | 238 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1138 |
| 69 | 345 | 703 | 239 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1139 |
| 70 | 350 | 704 | 240 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1140 |
| 71 | 355 | 704 | 241 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1142 |
| 72 | 360 | 705 | 242 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1143 |
| 73 | 365 | 706 | 244 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1144 |
| 74 | 370 | 706 | 245 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1145 |
| 75 | 375 | 707 | 246 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1146 |
| 76 | 380 | 708 | 247 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1147 |
| 77 | 385 | 708 | 248 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1148 |
| 78 | 390 | 709 | 249 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1149 |
| 79 | 395 | 710 | 250 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1150 |
| 80 | 400 | 710 | 251 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1152 |

Ensayo 5 Probeta 5 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|----------|
| 0 | 0 | 15 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 17 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 26,4368 |
| 2 | 10 | 18 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 17,6245 |
| 3 | 15 | 19 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 13,2184 |
| 4 | 20 | 20 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 10,5747 |
| 5 | 25 | 22 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 7,5534 |
| 6 | 30 | 23 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 6,6092 |
| 7 | 35 | 25 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 5,2874 |
| 8 | 40 | 29 | 33 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -14,3678 |
| 9 | 45 | 64 | 60 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 12,2110 |
| 10 | 50 | 98 | 65 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 1,5847 |
| 11 | 55 | 131 | 70 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,8608 |
| 12 | 60 | 164 | 74 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,5907 |
| 13 | 65 | 195 | 88 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,4959 |
| 14 | 70 | 225 | 93 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,4013 |
| 15 | 75 | 254 | 99 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,3413 |
| 16 | 80 | 282 | 105 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2986 |
| 17 | 85 | 309 | 116 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2735 |
| 18 | 90 | 336 | 127 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2535 |
| 19 | 95 | 361 | 130 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2291 |
| 20 | 100 | 385 | 132 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2089 |
| 21 | 105 | 408 | 135 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1934 |
| 22 | 110 | 431 | 136 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1794 |
| 23 | 115 | 452 | 138 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1683 |
| 24 | 120 | 472 | 147 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1624 |
| 25 | 125 | 492 | 151 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1549 |
| 26 | 130 | 510 | 154 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 27 | 135 | 528 | 158 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1429 |
| 28 | 140 | 544 | 161 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1380 |
| 29 | 145 | 560 | 164 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1337 |
| 30 | 150 | 574 | 168 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1300 |
| 31 | 155 | 588 | 171 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1267 |
| 32 | 160 | 600 | 174 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1239 |
| 33 | 165 | 612 | 176 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1214 |
| 34 | 170 | 623 | 179 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1192 |
| 35 | 175 | 632 | 182 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1174 |
| 36 | 180 | 634 | 185 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1176 |
| 37 | 185 | 649 | 187 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1145 |
| 38 | 190 | 653 | 190 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1141 |
| 39 | 195 | 660 | 192 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1130 |
| 40 | 200 | 666 | 194 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1121 |
| 41 | 205 | 669 | 197 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1119 |
| 42 | 210 | 672 | 199 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1118 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 673 | 201 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1120 |
| 44 | 220 | 679 | 203 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1111 |
| 45 | 225 | 681 | 205 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1112 |
| 46 | 230 | 682 | 207 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1114 |
| 47 | 235 | 683 | 209 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1116 |
| 48 | 240 | 685 | 211 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1116 |
| 49 | 245 | 686 | 213 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1118 |
| 50 | 250 | 687 | 215 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1120 |
| 51 | 255 | 688 | 217 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1122 |
| 52 | 260 | 689 | 219 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1124 |
| 53 | 265 | 690 | 221 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1126 |
| 54 | 270 | 691 | 222 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1127 |
| 55 | 275 | 692 | 224 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1129 |
| 56 | 280 | 693 | 226 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1130 |
| 57 | 285 | 694 | 227 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1132 |
| 58 | 290 | 695 | 229 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1134 |
| 59 | 295 | 696 | 231 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1135 |
| 60 | 300 | 697 | 232 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1137 |
| 61 | 305 | 698 | 234 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1138 |
| 62 | 310 | 699 | 235 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1140 |
| 63 | 315 | 700 | 237 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1141 |
| 64 | 320 | 701 | 238 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1142 |
| 65 | 325 | 702 | 240 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1144 |
| 66 | 330 | 703 | 241 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1145 |
| 67 | 335 | 704 | 242 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1147 |
| 68 | 340 | 704 | 244 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1148 |
| 69 | 345 | 705 | 245 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1149 |
| 70 | 350 | 706 | 246 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1150 |
| 71 | 355 | 707 | 248 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1152 |
| 72 | 360 | 708 | 249 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1153 |
| 73 | 365 | 708 | 250 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1154 |
| 74 | 370 | 709 | 252 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1156 |
| 75 | 375 | 710 | 253 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1157 |
| 76 | 380 | 711 | 254 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1158 |
| 77 | 385 | 711 | 255 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1159 |
| 78 | 390 | 712 | 256 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1160 |
| 79 | 395 | 713 | 258 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1162 |
| 80 | 400 | 714 | 259 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1163 |

Ensayo 6 Probeta 6 e=15mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|---------|
| 0 | 0 | 15 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 17 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 26,4368 |
| 2 | 10 | 18 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 17,6245 |
| 3 | 15 | 19 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 13,2184 |
| 4 | 20 | 20 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 10,5747 |
| 5 | 25 | 22 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 7,5534 |
| 6 | 30 | 23 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 6,6092 |
| 7 | 35 | 25 | 15 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 5,2874 |
| 8 | 40 | 29 | 28 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 52,8735 |
| 9 | 45 | 32 | 59 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -1,9583 |
| 10 | 50 | 38 | 63 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -2,1149 |
| 11 | 55 | 40 | 67 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -1,9583 |
| 12 | 60 | 59 | 71 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | -4,4846 |
| 13 | 65 | 98 | 76 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 2,3949 |
| 14 | 70 | 136 | 88 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 1,1094 |
| 15 | 75 | 172 | 94 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,6782 |
| 16 | 80 | 207 | 100 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,4943 |
| 17 | 85 | 241 | 109 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,4015 |
| 18 | 90 | 273 | 123 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,3522 |
| 19 | 95 | 304 | 127 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2982 |
| 20 | 100 | 334 | 128 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2565 |
| 21 | 105 | 363 | 130 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2272 |
| 22 | 110 | 390 | 132 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,2049 |
| 23 | 115 | 416 | 133 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1868 |
| 24 | 120 | 441 | 143 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1774 |
| 25 | 125 | 464 | 147 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1665 |
| 26 | 130 | 486 | 150 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1573 |
| 27 | 135 | 507 | 154 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1496 |
| 28 | 140 | 527 | 157 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1431 |
| 29 | 145 | 545 | 161 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1375 |
| 30 | 150 | 562 | 164 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1328 |
| 31 | 155 | 578 | 167 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1287 |
| 32 | 160 | 592 | 170 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1252 |
| 33 | 165 | 606 | 173 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1223 |
| 34 | 170 | 617 | 176 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1198 |
| 35 | 175 | 628 | 179 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1177 |
| 36 | 180 | 631 | 181 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1176 |
| 37 | 185 | 644 | 184 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1127 |
| 38 | 190 | 653 | 187 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1124 |
| 39 | 195 | 657 | 189 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1120 |
| 40 | 200 | 661 | 191 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1121 |
| 41 | 205 | 663 | 194 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1120 |
| 42 | 210 | 666 | 196 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1125 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 666 | 198 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1119 |
| 44 | 220 | 671 | 201 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1119 |
| 45 | 225 | 673 | 203 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1122 |
| 46 | 230 | 674 | 205 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1127 |
| 47 | 235 | 674 | 207 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1129 |
| 48 | 240 | 675 | 209 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1132 |
| 49 | 245 | 676 | 211 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1134 |
| 50 | 250 | 677 | 213 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1136 |
| 51 | 255 | 678 | 215 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1141 |
| 52 | 260 | 679 | 216 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1143 |
| 53 | 265 | 680 | 218 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1145 |
| 54 | 270 | 681 | 220 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1147 |
| 55 | 275 | 682 | 222 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1150 |
| 56 | 280 | 683 | 224 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1152 |
| 57 | 285 | 684 | 225 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1154 |
| 58 | 290 | 684 | 227 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1156 |
| 59 | 295 | 685 | 228 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1158 |
| 60 | 300 | 686 | 230 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1160 |
| 61 | 305 | 687 | 232 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1162 |
| 62 | 310 | 688 | 233 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1163 |
| 63 | 315 | 688 | 235 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1165 |
| 64 | 320 | 689 | 236 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1167 |
| 65 | 325 | 690 | 238 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1169 |
| 66 | 330 | 691 | 239 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1171 |
| 67 | 335 | 691 | 241 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1173 |
| 68 | 340 | 692 | 242 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1174 |
| 69 | 345 | 693 | 243 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1176 |
| 70 | 350 | 694 | 245 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1178 |
| 71 | 355 | 694 | 246 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1180 |
| 72 | 360 | 695 | 247 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1181 |
| 73 | 365 | 696 | 249 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1183 |
| 74 | 370 | 696 | 250 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1185 |
| 75 | 375 | 697 | 251 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1186 |
| 76 | 380 | 698 | 253 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1188 |
| 77 | 385 | 698 | 254 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1189 |
| 78 | 390 | 699 | 255 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1191 |
| 79 | 395 | 700 | 256 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1193 |
| 80 | 400 | 700 | 258 | 0,015 | 0,0529 | 186,47 | 0,1194 |

Ensayo 7 Probeta 7 e=20mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|--------|
| 0 | 0 | 17 | 17 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 216 | 18 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,3566 |
| 2 | 10 | 274 | 20 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2776 |
| 3 | 15 | 331 | 25 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2306 |
| 4 | 20 | 361 | 32 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2144 |
| 5 | 25 | 372 | 45 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2156 |
| 6 | 30 | 393 | 50 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2055 |
| 7 | 35 | 419 | 61 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1966 |
| 8 | 40 | 432 | 69 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1942 |
| 9 | 45 | 446 | 75 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1899 |
| 10 | 50 | 456 | 81 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1877 |
| 11 | 55 | 466 | 86 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1854 |
| 12 | 60 | 488 | 89 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1767 |
| 13 | 65 | 490 | 96 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1788 |
| 14 | 70 | 492 | 100 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1799 |
| 15 | 75 | 499 | 104 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1784 |
| 16 | 80 | 506 | 107 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1770 |
| 17 | 85 | 512 | 111 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1758 |
| 18 | 90 | 518 | 114 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1746 |
| 19 | 95 | 524 | 117 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1735 |
| 20 | 100 | 529 | 120 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1724 |
| 21 | 105 | 534 | 123 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1714 |
| 22 | 110 | 539 | 125 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1705 |
| 23 | 115 | 544 | 128 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1696 |
| 24 | 120 | 548 | 130 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1688 |
| 25 | 125 | 552 | 133 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1680 |
| 26 | 130 | 556 | 135 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1673 |
| 27 | 135 | 560 | 137 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1666 |
| 28 | 140 | 564 | 139 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1659 |
| 29 | 145 | 568 | 141 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1652 |
| 30 | 150 | 571 | 143 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1646 |
| 31 | 155 | 575 | 145 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1640 |
| 32 | 160 | 578 | 147 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1634 |
| 33 | 165 | 581 | 148 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1629 |
| 34 | 170 | 584 | 150 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1623 |
| 35 | 175 | 587 | 152 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1618 |
| 36 | 180 | 590 | 153 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1613 |
| 37 | 185 | 593 | 155 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1608 |
| 38 | 190 | 596 | 156 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1604 |
| 39 | 195 | 599 | 158 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1599 |
| 40 | 200 | 601 | 159 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1595 |
| 41 | 205 | 604 | 161 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1590 |
| 42 | 210 | 607 | 162 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1586 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 609 | 163 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1582 |
| 44 | 220 | 611 | 165 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1578 |
| 45 | 225 | 614 | 166 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1575 |
| 46 | 230 | 616 | 167 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1571 |
| 47 | 235 | 618 | 168 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1567 |
| 48 | 240 | 620 | 170 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1564 |
| 49 | 245 | 623 | 171 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1560 |
| 50 | 250 | 625 | 172 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1557 |
| 51 | 255 | 627 | 173 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1554 |
| 52 | 260 | 629 | 174 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1551 |
| 53 | 265 | 631 | 175 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1548 |
| 54 | 270 | 633 | 176 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1545 |
| 55 | 275 | 635 | 177 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1542 |
| 56 | 280 | 637 | 178 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1539 |
| 57 | 285 | 638 | 179 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1536 |
| 58 | 290 | 640 | 180 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1533 |
| 59 | 295 | 642 | 181 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1530 |
| 60 | 300 | 644 | 182 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1528 |
| 61 | 305 | 646 | 183 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1525 |
| 62 | 310 | 647 | 184 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1522 |
| 63 | 315 | 649 | 185 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1520 |
| 64 | 320 | 651 | 186 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1517 |
| 65 | 325 | 652 | 187 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1515 |
| 66 | 330 | 654 | 188 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1513 |
| 67 | 335 | 655 | 189 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1510 |
| 68 | 340 | 657 | 189 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1508 |
| 69 | 345 | 658 | 190 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1506 |
| 70 | 350 | 660 | 191 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1504 |
| 71 | 355 | 661 | 192 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1501 |
| 72 | 360 | 663 | 193 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1499 |
| 73 | 365 | 664 | 193 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1497 |
| 74 | 370 | 666 | 194 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1495 |
| 75 | 375 | 667 | 195 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1493 |
| 76 | 380 | 669 | 196 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1491 |
| 77 | 385 | 670 | 196 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1489 |
| 78 | 390 | 671 | 197 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1487 |
| 79 | 395 | 673 | 198 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |
| 80 | 400 | 674 | 199 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1483 |

Ensayo 8 Probeta 8 e=20mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|--------|
| 0 | 0 | 17 | 17 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 208 | 18 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,3703 |
| 2 | 10 | 280 | 19 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2696 |
| 3 | 15 | 323 | 24 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2361 |
| 4 | 20 | 353 | 30 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2186 |
| 5 | 25 | 376 | 42 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2112 |
| 6 | 30 | 395 | 47 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2028 |
| 7 | 35 | 411 | 56 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1985 |
| 8 | 40 | 425 | 63 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1949 |
| 9 | 45 | 437 | 69 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1918 |
| 10 | 50 | 448 | 75 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1892 |
| 11 | 55 | 458 | 80 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1868 |
| 12 | 60 | 467 | 85 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1847 |
| 13 | 65 | 475 | 90 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1829 |
| 14 | 70 | 483 | 94 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1811 |
| 15 | 75 | 490 | 97 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1796 |
| 16 | 80 | 497 | 101 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1782 |
| 17 | 85 | 503 | 104 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1768 |
| 18 | 90 | 509 | 107 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1756 |
| 19 | 95 | 515 | 110 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1744 |
| 20 | 100 | 520 | 113 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1734 |
| 21 | 105 | 525 | 116 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1723 |
| 22 | 110 | 530 | 119 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1714 |
| 23 | 115 | 534 | 121 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1705 |
| 24 | 120 | 539 | 123 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1696 |
| 25 | 125 | 543 | 126 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1688 |
| 26 | 130 | 547 | 128 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1680 |
| 27 | 135 | 551 | 130 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1673 |
| 28 | 140 | 555 | 132 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1666 |
| 29 | 145 | 559 | 134 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1659 |
| 30 | 150 | 562 | 136 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1653 |
| 31 | 155 | 566 | 137 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1647 |
| 32 | 160 | 569 | 139 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1641 |
| 33 | 165 | 572 | 141 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1635 |
| 34 | 170 | 575 | 142 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1629 |
| 35 | 175 | 578 | 144 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1624 |
| 36 | 180 | 581 | 146 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1619 |
| 37 | 185 | 584 | 147 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1614 |
| 38 | 190 | 587 | 149 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1609 |
| 39 | 195 | 589 | 150 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1604 |
| 40 | 200 | 592 | 151 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1600 |
| 41 | 205 | 595 | 153 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1596 |
| 42 | 210 | 597 | 154 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1591 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 600 | 155 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1587 |
| 44 | 220 | 602 | 157 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1583 |
| 45 | 225 | 604 | 158 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1579 |
| 46 | 230 | 607 | 159 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1575 |
| 47 | 235 | 609 | 160 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1572 |
| 48 | 240 | 611 | 161 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1568 |
| 49 | 245 | 613 | 163 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1565 |
| 50 | 250 | 615 | 164 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1561 |
| 51 | 255 | 617 | 165 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1558 |
| 52 | 260 | 619 | 166 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1555 |
| 53 | 265 | 621 | 167 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1551 |
| 54 | 270 | 623 | 168 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1548 |
| 55 | 275 | 625 | 169 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1545 |
| 56 | 280 | 627 | 170 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1542 |
| 57 | 285 | 629 | 171 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1539 |
| 58 | 290 | 631 | 172 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1536 |
| 59 | 295 | 632 | 173 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1534 |
| 60 | 300 | 634 | 174 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1531 |
| 61 | 305 | 636 | 175 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1528 |
| 62 | 310 | 638 | 176 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1526 |
| 63 | 315 | 639 | 176 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1523 |
| 64 | 320 | 641 | 177 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1521 |
| 65 | 325 | 643 | 178 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1518 |
| 66 | 330 | 644 | 179 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1516 |
| 67 | 335 | 646 | 180 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1513 |
| 68 | 340 | 647 | 181 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1511 |
| 69 | 345 | 649 | 181 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1509 |
| 70 | 350 | 650 | 182 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1506 |
| 71 | 355 | 652 | 183 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1504 |
| 72 | 360 | 653 | 184 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1502 |
| 73 | 365 | 655 | 184 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1500 |
| 74 | 370 | 656 | 185 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1498 |
| 75 | 375 | 657 | 186 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1495 |
| 76 | 380 | 659 | 187 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1493 |
| 77 | 385 | 660 | 187 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1491 |
| 78 | 390 | 661 | 188 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1489 |
| 79 | 395 | 663 | 189 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1487 |
| 80 | 400 | 664 | 190 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1485 |

Ensayo 9 Probeta 9 e=20mm

| Ord. | t (min) | T1 | T2 | e (m) | A (m ²) | ΔQ (W) | k |
|------|---------|-----|-----|-------|---------------------|--------|--------|
| 0 | 0 | 17 | 17 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | |
| 1 | 5 | 218 | 18 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,3524 |
| 2 | 10 | 294 | 20 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2570 |
| 3 | 15 | 339 | 25 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2246 |
| 4 | 20 | 371 | 32 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2082 |
| 5 | 25 | 395 | 44 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,2008 |
| 6 | 30 | 415 | 41 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1885 |
| 7 | 35 | 432 | 50 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1843 |
| 8 | 40 | 447 | 57 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1808 |
| 9 | 45 | 460 | 63 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1779 |
| 10 | 50 | 471 | 69 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1753 |
| 11 | 55 | 482 | 74 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1730 |
| 12 | 60 | 491 | 79 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1710 |
| 13 | 65 | 500 | 84 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1692 |
| 14 | 70 | 508 | 88 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1676 |
| 15 | 75 | 516 | 91 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1661 |
| 16 | 80 | 523 | 95 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1647 |
| 17 | 85 | 530 | 98 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1634 |
| 18 | 90 | 536 | 101 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1623 |
| 19 | 95 | 542 | 104 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1612 |
| 20 | 100 | 548 | 107 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1601 |
| 21 | 105 | 553 | 110 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1591 |
| 22 | 110 | 558 | 113 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1582 |
| 23 | 115 | 563 | 115 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1574 |
| 24 | 120 | 568 | 117 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1566 |
| 25 | 125 | 572 | 120 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1558 |
| 26 | 130 | 576 | 122 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1550 |
| 27 | 135 | 581 | 124 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1543 |
| 28 | 140 | 585 | 126 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1537 |
| 29 | 145 | 588 | 128 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1530 |
| 30 | 150 | 592 | 130 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1524 |
| 31 | 155 | 596 | 131 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1518 |
| 32 | 160 | 599 | 133 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1512 |
| 33 | 165 | 603 | 135 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1507 |
| 34 | 170 | 606 | 136 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1502 |
| 35 | 175 | 609 | 138 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1497 |
| 36 | 180 | 612 | 140 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1492 |
| 37 | 185 | 615 | 141 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1478 |
| 38 | 190 | 618 | 143 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1473 |
| 39 | 195 | 621 | 144 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1469 |
| 40 | 200 | 624 | 145 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1465 |
| 41 | 205 | 627 | 147 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1461 |
| 42 | 210 | 629 | 148 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1458 |

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|--------|--------|--------|
| 43 | 215 | 632 | 149 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1454 |
| 44 | 220 | 634 | 151 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1450 |
| 45 | 225 | 637 | 152 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1447 |
| 46 | 230 | 639 | 153 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1443 |
| 47 | 235 | 642 | 154 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1440 |
| 48 | 240 | 644 | 155 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1437 |
| 49 | 245 | 646 | 157 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1433 |
| 50 | 250 | 648 | 158 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1430 |
| 51 | 255 | 651 | 159 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1434 |
| 52 | 260 | 653 | 160 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1430 |
| 53 | 265 | 655 | 161 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1427 |
| 54 | 270 | 657 | 162 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1424 |
| 55 | 275 | 659 | 163 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1422 |
| 56 | 280 | 661 | 164 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1419 |
| 57 | 285 | 663 | 165 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1416 |
| 58 | 290 | 665 | 166 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1413 |
| 59 | 295 | 667 | 167 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1411 |
| 60 | 300 | 668 | 168 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1408 |
| 61 | 305 | 670 | 169 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1405 |
| 62 | 310 | 672 | 170 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1403 |
| 63 | 315 | 674 | 170 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1400 |
| 64 | 320 | 676 | 171 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1398 |
| 65 | 325 | 677 | 172 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1396 |
| 66 | 330 | 679 | 173 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1393 |
| 67 | 335 | 681 | 174 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1391 |
| 68 | 340 | 682 | 175 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1389 |
| 69 | 345 | 684 | 175 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1387 |
| 70 | 350 | 685 | 176 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1385 |
| 71 | 355 | 687 | 177 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1382 |
| 72 | 360 | 688 | 178 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1380 |
| 73 | 365 | 690 | 178 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1378 |
| 74 | 370 | 691 | 179 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1376 |
| 75 | 375 | 693 | 180 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1374 |
| 76 | 380 | 694 | 181 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1372 |
| 77 | 385 | 696 | 181 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1370 |
| 78 | 390 | 697 | 182 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1369 |
| 79 | 395 | 699 | 183 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1367 |
| 80 | 400 | 700 | 184 | 0,02 | 0,0529 | 186,47 | 0,1365 |

Tabla de resumen promedio de los ensayos

| K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 | Kprom |
|--------|--------|--------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0000 |
| 0,2413 | 0,2437 | 0,2459 | 26,4368 | 26,4368 | 26,4368 | 0,3566 | 0,3703 | 0,3524 | 9,0134 |
| 0,1977 | 0,2050 | 0,2149 | 17,6245 | 17,6245 | 17,6245 | 0,2776 | 0,2696 | 0,2570 | 6,0328 |
| 0,1887 | 0,1923 | 0,1909 | 13,2184 | 13,2184 | 13,2184 | 0,2306 | 0,2361 | 0,2246 | 4,5465 |
| 0,1828 | 0,1882 | 0,1868 | 10,5747 | 10,5747 | 10,5747 | 0,2144 | 0,2186 | 0,2082 | 3,6581 |
| 0,1785 | 0,1855 | 0,1817 | 7,5534 | 7,5534 | 7,5534 | 0,2156 | 0,2112 | 0,2008 | 2,6482 |
| 0,1751 | 0,1811 | 0,1762 | 6,6092 | 6,6092 | 6,6092 | 0,2055 | 0,2028 | 0,1885 | 2,3285 |
| 0,1723 | 0,1768 | 0,1734 | 5,2874 | 5,2874 | 5,2874 | 0,1966 | 0,1985 | 0,1843 | 1,8849 |
| 0,1551 | 0,1597 | 0,1560 | -6,5486 | -14,3678 | 52,8735 | 0,1942 | 0,1949 | 0,1808 | 3,6664 |
| 0,1484 | 0,1470 | 0,1458 | 201,0400 | 12,2110 | -1,9583 | 0,1899 | 0,1918 | 0,1779 | 23,5882 |
| 0,1421 | 0,1471 | 0,1458 | 1,8520 | 1,5847 | -2,1149 | 0,1877 | 0,1892 | 0,1753 | 0,2565 |
| 0,1415 | 0,1472 | 0,1459 | 0,8994 | 0,8608 | -1,9583 | 0,1854 | 0,1868 | 0,1730 | 0,0869 |
| 0,1410 | 0,1472 | 0,1459 | 0,6150 | 0,5907 | -4,4846 | 0,1767 | 0,1847 | 0,1710 | -0,2569 |
| 0,1405 | 0,1473 | 0,1460 | 0,4891 | 0,4959 | 2,3949 | 0,1788 | 0,1829 | 0,1692 | 0,4827 |
| 0,1450 | 0,1473 | 0,1460 | 0,3940 | 0,4013 | 1,1094 | 0,1799 | 0,1811 | 0,1676 | 0,3191 |
| 0,1447 | 0,1474 | 0,1460 | 0,3473 | 0,3413 | 0,6782 | 0,1784 | 0,1796 | 0,1661 | 0,2588 |
| 0,1443 | 0,1474 | 0,1460 | 0,3088 | 0,2986 | 0,4943 | 0,1770 | 0,1782 | 0,1647 | 0,2288 |
| 0,1437 | 0,1475 | 0,1461 | 0,2766 | 0,2735 | 0,4015 | 0,1758 | 0,1768 | 0,1634 | 0,2116 |
| 0,1434 | 0,1475 | 0,1461 | 0,2482 | 0,2535 | 0,3522 | 0,1746 | 0,1756 | 0,1623 | 0,2004 |
| 0,1431 | 0,1476 | 0,1461 | 0,2270 | 0,2291 | 0,2982 | 0,1735 | 0,1744 | 0,1612 | 0,1889 |
| 0,1429 | 0,1476 | 0,1461 | 0,2068 | 0,2089 | 0,2565 | 0,1724 | 0,1734 | 0,1601 | 0,1794 |
| 0,1426 | 0,1476 | 0,1461 | 0,1906 | 0,1934 | 0,2272 | 0,1714 | 0,1723 | 0,1591 | 0,1723 |
| 0,1424 | 0,1477 | 0,1462 | 0,1780 | 0,1794 | 0,2049 | 0,1705 | 0,1714 | 0,1582 | 0,1665 |
| 0,1426 | 0,1477 | 0,1462 | 0,1680 | 0,1683 | 0,1868 | 0,1696 | 0,1705 | 0,1574 | 0,1619 |
| 0,1443 | 0,1477 | 0,1462 | 0,1596 | 0,1624 | 0,1774 | 0,1688 | 0,1696 | 0,1566 | 0,1592 |
| 0,1441 | 0,1478 | 0,1462 | 0,1520 | 0,1549 | 0,1665 | 0,1680 | 0,1688 | 0,1558 | 0,1560 |
| 0,1439 | 0,1478 | 0,1462 | 0,1455 | 0,1485 | 0,1573 | 0,1673 | 0,1680 | 0,1550 | 0,1533 |
| 0,1437 | 0,1478 | 0,1462 | 0,1400 | 0,1429 | 0,1496 | 0,1666 | 0,1673 | 0,1543 | 0,1509 |
| 0,1435 | 0,1479 | 0,1463 | 0,1352 | 0,1380 | 0,1431 | 0,1659 | 0,1666 | 0,1537 | 0,1489 |
| 0,1434 | 0,1479 | 0,1463 | 0,1310 | 0,1337 | 0,1375 | 0,1652 | 0,1659 | 0,1530 | 0,1471 |
| 0,1432 | 0,1479 | 0,1463 | 0,1275 | 0,1300 | 0,1328 | 0,1646 | 0,1653 | 0,1524 | 0,1455 |
| 0,1430 | 0,1479 | 0,1463 | 0,1244 | 0,1267 | 0,1287 | 0,1640 | 0,1647 | 0,1518 | 0,1442 |
| 0,1449 | 0,1480 | 0,1463 | 0,1218 | 0,1239 | 0,1252 | 0,1634 | 0,1641 | 0,1512 | 0,1432 |
| 0,1447 | 0,1480 | 0,1463 | 0,1194 | 0,1214 | 0,1223 | 0,1629 | 0,1635 | 0,1507 | 0,1421 |
| 0,1446 | 0,1480 | 0,1463 | 0,1174 | 0,1192 | 0,1198 | 0,1623 | 0,1629 | 0,1502 | 0,1412 |
| 0,1464 | 0,1480 | 0,1464 | 0,1157 | 0,1174 | 0,1177 | 0,1618 | 0,1624 | 0,1497 | 0,1406 |
| 0,1463 | 0,1480 | 0,1464 | 0,1157 | 0,1176 | 0,1176 | 0,1613 | 0,1619 | 0,1492 | 0,1404 |
| 0,1461 | 0,1481 | 0,1447 | 0,1128 | 0,1145 | 0,1127 | 0,1608 | 0,1614 | 0,1478 | 0,1388 |
| 0,1460 | 0,1481 | 0,1447 | 0,1119 | 0,1141 | 0,1124 | 0,1604 | 0,1609 | 0,1473 | 0,1384 |
| 0,1459 | 0,1481 | 0,1448 | 0,1112 | 0,1130 | 0,1120 | 0,1599 | 0,1604 | 0,1469 | 0,1380 |
| 0,1457 | 0,1481 | 0,1448 | 0,1107 | 0,1121 | 0,1121 | 0,1595 | 0,1600 | 0,1465 | 0,1377 |
| 0,1456 | 0,1481 | 0,1449 | 0,1108 | 0,1119 | 0,1120 | 0,1590 | 0,1596 | 0,1461 | 0,1376 |
| 0,1455 | 0,1482 | 0,1449 | 0,1105 | 0,1118 | 0,1125 | 0,1586 | 0,1591 | 0,1458 | 0,1374 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,1454 | 0,1482 | 0,1450 | 0,1110 | 0,1120 | 0,1119 | 0,1582 | 0,1587 | 0,1454 | 0,1373 |
| 0,1452 | 0,1482 | 0,1450 | 0,1103 | 0,1111 | 0,1119 | 0,1578 | 0,1583 | 0,1450 | 0,1370 |
| 0,1451 | 0,1482 | 0,1451 | 0,1102 | 0,1112 | 0,1122 | 0,1575 | 0,1579 | 0,1447 | 0,1369 |
| 0,1450 | 0,1482 | 0,1451 | 0,1104 | 0,1114 | 0,1127 | 0,1571 | 0,1575 | 0,1443 | 0,1369 |
| 0,1449 | 0,1482 | 0,1451 | 0,1108 | 0,1116 | 0,1129 | 0,1567 | 0,1572 | 0,1440 | 0,1368 |
| 0,1448 | 0,1483 | 0,1452 | 0,1110 | 0,1116 | 0,1132 | 0,1564 | 0,1568 | 0,1437 | 0,1368 |
| 0,1447 | 0,1483 | 0,1452 | 0,1112 | 0,1118 | 0,1134 | 0,1560 | 0,1565 | 0,1433 | 0,1367 |
| 0,1446 | 0,1483 | 0,1452 | 0,1113 | 0,1120 | 0,1136 | 0,1557 | 0,1561 | 0,1430 | 0,1367 |
| 0,1445 | 0,1483 | 0,1465 | 0,1115 | 0,1122 | 0,1141 | 0,1554 | 0,1558 | 0,1434 | 0,1369 |
| 0,1444 | 0,1483 | 0,1465 | 0,1116 | 0,1124 | 0,1143 | 0,1551 | 0,1555 | 0,1430 | 0,1368 |
| 0,1443 | 0,1483 | 0,1465 | 0,1118 | 0,1126 | 0,1145 | 0,1548 | 0,1551 | 0,1427 | 0,1367 |
| 0,1442 | 0,1483 | 0,1465 | 0,1119 | 0,1127 | 0,1147 | 0,1545 | 0,1548 | 0,1424 | 0,1367 |
| 0,1441 | 0,1484 | 0,1465 | 0,1121 | 0,1129 | 0,1150 | 0,1542 | 0,1545 | 0,1422 | 0,1366 |
| 0,1441 | 0,1484 | 0,1465 | 0,1122 | 0,1130 | 0,1152 | 0,1539 | 0,1542 | 0,1419 | 0,1366 |
| 0,1440 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1124 | 0,1132 | 0,1154 | 0,1536 | 0,1539 | 0,1416 | 0,1366 |
| 0,1439 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1125 | 0,1134 | 0,1156 | 0,1533 | 0,1536 | 0,1413 | 0,1365 |
| 0,1438 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1126 | 0,1135 | 0,1158 | 0,1530 | 0,1534 | 0,1411 | 0,1365 |
| 0,1437 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1128 | 0,1137 | 0,1160 | 0,1528 | 0,1531 | 0,1408 | 0,1364 |
| 0,1436 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1129 | 0,1138 | 0,1162 | 0,1525 | 0,1528 | 0,1405 | 0,1364 |
| 0,1435 | 0,1484 | 0,1466 | 0,1130 | 0,1140 | 0,1163 | 0,1522 | 0,1526 | 0,1403 | 0,1363 |
| 0,1435 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1132 | 0,1141 | 0,1165 | 0,1520 | 0,1523 | 0,1400 | 0,1363 |
| 0,1434 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1133 | 0,1142 | 0,1167 | 0,1517 | 0,1521 | 0,1398 | 0,1363 |
| 0,1433 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1134 | 0,1144 | 0,1169 | 0,1515 | 0,1518 | 0,1396 | 0,1362 |
| 0,1432 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1136 | 0,1145 | 0,1171 | 0,1513 | 0,1516 | 0,1393 | 0,1362 |
| 0,1432 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1137 | 0,1147 | 0,1173 | 0,1510 | 0,1513 | 0,1391 | 0,1361 |
| 0,1431 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1138 | 0,1148 | 0,1174 | 0,1508 | 0,1511 | 0,1389 | 0,1361 |
| 0,1430 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1139 | 0,1149 | 0,1176 | 0,1506 | 0,1509 | 0,1387 | 0,1361 |
| 0,1430 | 0,1485 | 0,1466 | 0,1140 | 0,1150 | 0,1178 | 0,1504 | 0,1506 | 0,1385 | 0,1360 |
| 0,1429 | 0,1486 | 0,1466 | 0,1142 | 0,1152 | 0,1180 | 0,1501 | 0,1504 | 0,1382 | 0,1360 |
| 0,1428 | 0,1486 | 0,1466 | 0,1143 | 0,1153 | 0,1181 | 0,1499 | 0,1502 | 0,1380 | 0,1360 |
| 0,1428 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1144 | 0,1154 | 0,1183 | 0,1497 | 0,1500 | 0,1378 | 0,1360 |
| 0,1427 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1145 | 0,1156 | 0,1185 | 0,1495 | 0,1498 | 0,1376 | 0,1359 |
| 0,1426 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1146 | 0,1157 | 0,1186 | 0,1493 | 0,1495 | 0,1374 | 0,1359 |
| 0,1426 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1147 | 0,1158 | 0,1188 | 0,1491 | 0,1493 | 0,1372 | 0,1359 |
| 0,1425 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1148 | 0,1159 | 0,1189 | 0,1489 | 0,1491 | 0,1370 | 0,1358 |
| 0,1424 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1149 | 0,1160 | 0,1191 | 0,1487 | 0,1489 | 0,1369 | 0,1358 |
| 0,1424 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1150 | 0,1162 | 0,1193 | 0,1485 | 0,1487 | 0,1367 | 0,1358 |
| 0,1423 | 0,1486 | 0,1467 | 0,1152 | 0,1163 | 0,1194 | 0,1483 | 0,1485 | 0,1365 | 0,1358 |

Datos ensayos prueba de Compresión

Ensayo 1

| Prueba 1 | | |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Lo final (mm) | Volumen Final (mm³) | % compactación volumétrico |
| 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 56,0 | 28599,49 | 11,11% |
| 49,5 | 25279,91 | 21,43% |
| 44,5 | 22726,38 | 29,37% |
| 39,0 | 19917,50 | 38,10% |
| 34,0 | 17363,98 | 46,03% |
| 31,5 | 16087,21 | 50,00% |
| 28,5 | 14555,10 | 54,76% |
| 27,0 | 13789,04 | 57,14% |

Ensayo 2

| Prueba 2 | | |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Lo final (mm) | Volumen Final (mm³) | % compactación volumétrico |
| 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 55,5 | 28344,14 | 11,90% |
| 49,0 | 25024,55 | 22,22% |
| 43,0 | 21960,32 | 31,75% |
| 40,0 | 20428,21 | 36,51% |
| 35,0 | 17874,68 | 44,44% |
| 29,0 | 14810,45 | 53,97% |
| 28,0 | 14299,74 | 55,56% |
| 27,5 | 14044,39 | 56,35% |

Ensayo 3

| Prueba 3 | | |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Lo final (mm) | Volumen Final (mm³) | % compactación volumétrico |
| 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 56,0 | 28599,49 | 11,11% |
| 49,0 | 25024,55 | 22,22% |
| 42,5 | 21704,97 | 32,54% |
| 38,5 | 19662,15 | 38,89% |
| 35,5 | 18130,03 | 43,65% |
| 29,5 | 15065,80 | 53,17% |
| 29,0 | 14810,45 | 53,97% |
| 27,5 | 14044,39 | 56,35% |

Ensayo 4

| Prueba 4 | | |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Lo final (mm) | Volumen Final (mm³) | % compactación volumétrico |
| 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 56,5 | 28854,84 | 10,32% |
| 50,0 | 25535,26 | 20,63% |
| 43,0 | 21960,32 | 31,75% |
| 38,5 | 19662,15 | 38,89% |
| 36,0 | 18385,39 | 42,86% |
| 31,0 | 15831,86 | 50,79% |
| 28,5 | 14555,10 | 54,76% |
| 26,0 | 13278,33 | 58,73% |

Ensayo 5

| Prueba 5 | | |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Lo final (mm) | Volumen Final (mm³) | % compactación volumétrico |
| 63,0 | 32174,42 | 0,00% |
| 57,0 | 29110,19 | 9,52% |
| 49,5 | 25279,91 | 21,43% |
| 44,0 | 22471,03 | 30,16% |
| 39,0 | 19917,50 | 38,10% |
| 34,5 | 17619,33 | 45,24% |
| 31,0 | 15831,86 | 50,79% |
| 27,5 | 14044,39 | 56,35% |
| 27,0 | 13789,04 | 57,14% |

Datos ensayos prueba de Tamizado

Ensayo 1

| Peso inicial | 169,5 | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
| | Peso Molde | Peso con Molde | Peso sin Molde | % de composición |
| Mayor a 2 mm | 433,5 | 440,5 | 7,0 | 4,13% |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 374,5 | 458,5 | 84,0 | 49,56% |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 347,0 | 392,0 | 45,0 | 26,55% |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 438,0 | 447,5 | 9,5 | 5,60% |
| Menor a 0,075 mm | 354,0 | 378,0 | 24,0 | 14,16% |
| | | | 169,5 | 100% |

Ensayo 2

| Peso inicial | 252,5 | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
| | Peso Molde | Peso con Molde | Peso sin Molde | % de composición |
| Mayor a 2 mm | 433,5 | 442,5 | 9,0 | 3,56% |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 374,5 | 500,5 | 126,0 | 49,90% |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 347,0 | 417,0 | 70,0 | 27,72% |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 438,0 | 452,5 | 14,5 | 5,74% |
| Menor a 0,075 mm | 354,0 | 387,0 | 33,0 | 13,07% |
| | | | 252,5 | 100% |

Ensayo 3

| Peso inicial | 627,5 | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
| | Peso Molde | Peso con Molde | Peso sin Molde | % de composición |
| Mayor a 2 mm | 433,5 | 455,0 | 21,5 | 3,43% |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 374,5 | 684,5 | 310,0 | 49,40% |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 347,0 | 520,5 | 173,5 | 27,65% |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 438,0 | 476,5 | 38,5 | 6,14% |
| Menor a 0,075 mm | 354,0 | 438,0 | 84,0 | 13,39% |
| | | | 627,5 | 100% |

Ensayo 4

| Peso inicial | 850,5 | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
| | Peso Molde | Peso con Molde | Peso sin Molde | % de composición |
| Mayor a 2 mm | 433,5 | 465,5 | 32,0 | 3,76% |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 374,5 | 800,5 | 426,0 | 50,09% |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 347,0 | 575,5 | 228,5 | 26,87% |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 438,0 | 485,5 | 47,5 | 5,58% |
| Menor a 0,075 mm | 354,0 | 470,5 | 116,5 | 13,70% |
| | | | 850,5 | 100% |

Ensayo 5

| Peso inicial | 960,5 | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
| | Peso Molde | Peso con Molde | Peso sin Molde | % de composición |
| Mayor a 2 mm | 433,5 | 465,5 | 32,0 | 3,33% |
| Entre 0,3 mm y 2 mm | 374,5 | 850,5 | 476,0 | 49,56% |
| Entre 0,15 mm y 0,3 mm | 347,0 | 615,5 | 268,5 | 27,95% |
| Entre 0,075 mm y 0,15 mm | 438,0 | 495,5 | 57,5 | 5,99% |
| Menor a 0,075 mm | 354,0 | 480,5 | 126,5 | 13,17% |
| | | | 960,5 | 100% |

Datos de ensayos bajo normas aplicables

MOR

$$MOR = \frac{6P}{t^2}$$

| | t (mm) | Fuerza (Kg)*9,8(m/s ²) | MOR (Mpa) |
|-----------------|--------|------------------------------------|-----------|
| Prueba 1 | 15 | 40,875 | 1,090 |
| Prueba 2 | 15 | 42,750 | 1,140 |
| Prueba 3 | 15 | 41,663 | 1,111 |
| | | | 1,114 |

| Resultados | |
|-------------------|---------------------|
| | Carga Aplicada (Kg) |
| Prueba 1 | 4,2 |
| Prueba 2 | 4,4 |
| Prueba 3 | 4,3 |

Tracción Paralela

| | F (N) | ÁREA (mm ²) | Resistencia a la tracción paralela (Mpa) |
|-----------------|-------|-------------------------|--|
| Prueba 1 | 3924 | 571,5 | 6,867 |
| Prueba 2 | 4104 | 571,5 | 7,182 |
| Prueba 3 | 4000 | 571,5 | 6,9993 |
| | | | 7,0161 |

Tracción Paralela

| | F (N) | ÁREA (mm ²) | Resistencia a la tracción paralela (Mpa) |
|-----------------|-------|-------------------------|--|
| Prueba 1 | 13735 | 571,5 | 24,035 |
| Prueba 2 | 14365 | 571,5 | 25,137 |
| Prueba 3 | 14000 | 571,5 | 24,498 |
| | | | 24,556 |

Prueba de Recuperación de Humedad

| | Masa inicial g | Masa Final g | C % |
|-----------------|-----------------------|---------------------|------------|
| Prueba 1 | 100 | 198 | 98,00% |
| Prueba 2 | 103 | 202 | 96,12% |
| Prueba 3 | 102 | 202 | 98,04% |
| | | | 97,39% |