



# 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 Vásconez 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 Vásconez, 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 Vásconez 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 $\Delta Q$ 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 arroceras 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 $\Delta T$	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 <sup>1</sup>.

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.

---

<sup>1</sup> 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/m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup> a 30 kg/m<sup>3</sup>
- 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/m<sup>3</sup>.

#### **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:

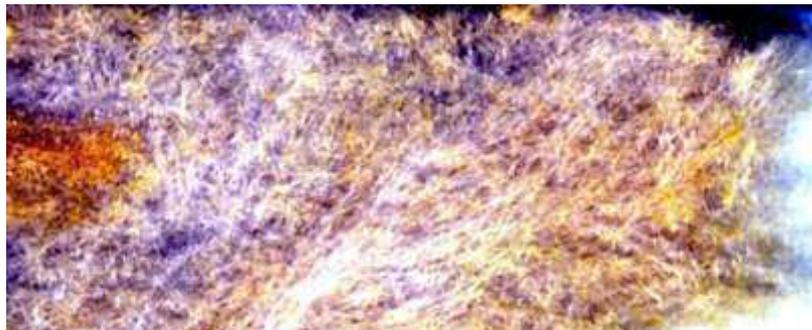
- En colchones como relleno principal o como integrante de los acolchados
- En muebles en asientos de sofás y sillas, relleno de acolchados, etc.
- En la construcción, como aislante térmico o como relleno
- En automoción como elemento principal de salpicaderos, asientos, etc.
- En muchos artículos más 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 CO<sub>2</sub>). 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 térmico<sup>2</sup>
- ASTM C 209: Métodos de prueba para el Tablero de fibras celulósicas de aislamiento<sup>2</sup>
  - 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.

---

<sup>2</sup> 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 Preformados<sup>2</sup>
- ASTM C 846: Práctica para la aplicación de Tableros de Aislantes de fibras celulósicas para revestimiento de la pared<sup>2</sup>
- ASTM D 1037: Método de prueba para evaluar las propiedades de la fibra de madera como base en paneles y paneles de materiales de partículas<sup>3</sup>
- ASTM D 1554: Definición de términos relacionados a la fibra de madera como base en paneles y paneles de materiales de partículas<sup>3</sup>
- ASTM D 2164: Métodos de prueba de aislamiento estructural del techo cubierta<sup>3</sup>
- ASTM E 72: Métodos de prueba de resistencia de los paneles para la construcción de edificios<sup>4</sup>
- 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

---

<sup>3</sup> Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,10.

<sup>4</sup> 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)**

<b>Composición</b>	85 % lana, 15 % fibra termofusión.
<b>Tratamiento</b>	Sales Bóricas.
<b>Espesor (mm)</b>	60, 80, 100.
<b>Anchura (cm)</b>	60.
<b>Longitud (m)</b>	10.
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	13,5
<b>Conductividad térmica I (W/m °C)</b>	0,040.
<b>Permeabilidad al vapor de agua m 1 a 2.</b>	
<b>Temperatura de inflamabilidad (°C)</b>	560.
<b>Capacidad higroscópica</b>	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**

<b>Conductividad térmica I (W/m °C)</b>	0,038.
<b>Permeabilidad al vapor de agua m</b>	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.

<b>Ficha técnica</b>	
<b>Composición:</b>	<b>85 % fibra de cáñamo, 15 % fibra termofusible poliéster</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>):</b>	<b>25</b>
<b>Conductividad térmica (W/m<sup>2</sup>C):</b>	<b>0,040</b>
<b>Permeabilidad al vapor de agua:</b>	<b>1 a 2</b>

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.

<b>Ficha técnica</b>	
<b>Composición</b>	85 % fibras de lino, 15 % fibras termofusibles de poliéster
<b>longitud x anchura (cm)</b>	135 x 60 (0,81 m <sup>2</sup> )
<b>Espesor (mm)</b>	45; 100
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	30 en 45 mm; 25 en 100 mm
<b>Conductividad térmica (W/m<sup>2</sup>C)</b>	0,047
<b>Permeabilidad al vapor de agua <math>\mu</math></b>	1 a 2
<b>Capacidad higroscópica</b>	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.)

---

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

---

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

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

	relativa
<b>Componentes</b>	92% de papel de periódico seleccionado 8% sales de borax (protección al fuego y conservantes)
<b>Exigencia energética en la producción</b>	aprox. 0,1 kvh/kg
<b>Exigencia energética primaria incluyendo todos los procesos</b>	aprox. 50 kvh/m3 (a 50 kg/m3)

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/m<sup>2</sup>K - densidad 120 Kg/m<sup>3</sup>**

**Granulado - 0,050 W/m<sup>2</sup>K - densidad 60 Kg/m<sup>3</sup>**

---

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/m<sup>3</sup>), su aislamiento térmico gracias a su estructura reticular que conforma cámaras de aire microscópicas, conductividad de 0,099 W/m<sup>2</sup>°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/m<sup>3</sup>) 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 polivinilporrolidona, 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.

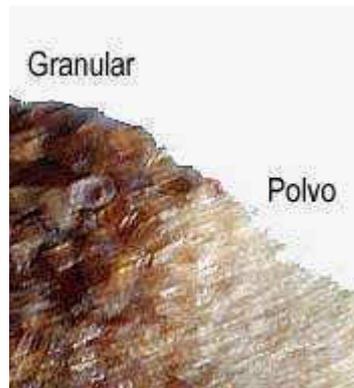


Figura. 3.7 Cola de carpintero

### 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.

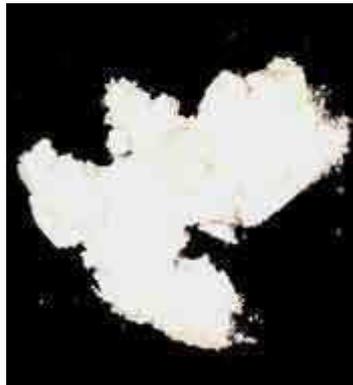


Figura. 3.10. Caseína en polvo

### 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 lacca*), (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:

<b>Humedad</b>	<b>máximo 15 %</b>
<b>Cenizas</b>	máximo 0.20 %
<b>Solubles</b>	máximo 0.50 %
<b>Proteínas</b>	máximo 0.80 %
<b>Acidez en g de HC1</b>	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.

<b>Almidón Nativo</b>	
Humedad (%)	10,21 <sup>c</sup> ±0,01
Cenizas (%)	0,11 <sup>a</sup> ±0,01
Proteína Cruda (%)**	ND
Grasa Cruda (%)	0,12 <sup>c</sup> ±0,04
Fibra Cruda (%)	0,28 <sup>a</sup> ±0,01
Azúcares Reductores (%)	0,02 <sup>a</sup> ±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



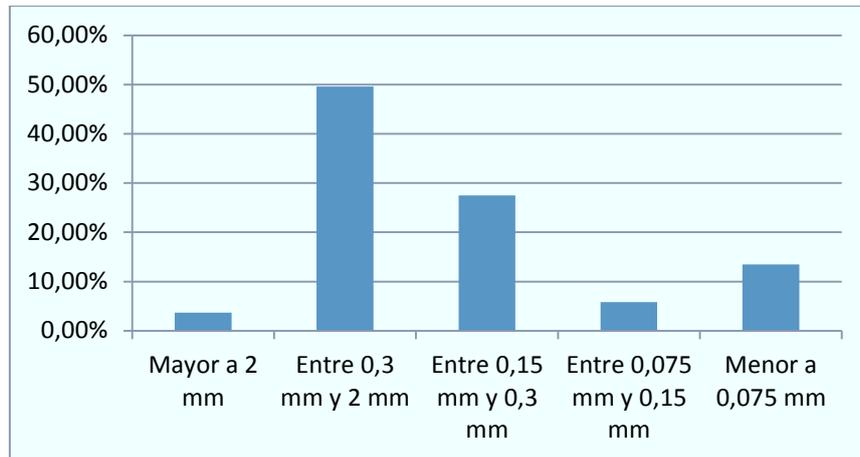
**Figura 4.8.** Cascarilla con tamaño de partícula mayor a 2mm

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
<b>Mayor a 2 mm</b>	3,68%	
<b>Entre 0,3 mm y 2 mm</b>	49,59%	
<b>Entre 0,15 mm y 0,3 mm</b>	27,48%	
<b>Entre 0,075 mm y 0,15 mm</b>	5,80%	
<b>Menor a 0,075 mm</b>	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  $\mu$ m, 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.

<b>P (ton)</b>	<b>Φi (mm)</b>	<b>Lo (mm)</b>	<b>Vo (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>Vf (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% CVP</b>
<b>0</b>	51	63	32174,42	63,0	32174,42	0,00%
<b>0,5</b>	51	63	32174,42	56,2	28701,63	10,79%
<b>1</b>	51	63	32174,42	49,4	25228,83	21,59%
<b>1,5</b>	51	63	32174,42	43,4	22164,60	31,11%
<b>2</b>	51	63	32174,42	39,0	19917,50	38,10%
<b>2,5</b>	51	63	32174,42	35,0	17874,68	44,44%
<b>3</b>	51	63	32174,42	30,4	15525,44	51,75%
<b>3,5</b>	51	63	32174,42	28,3	14452,96	55,08%
<b>4</b>	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.

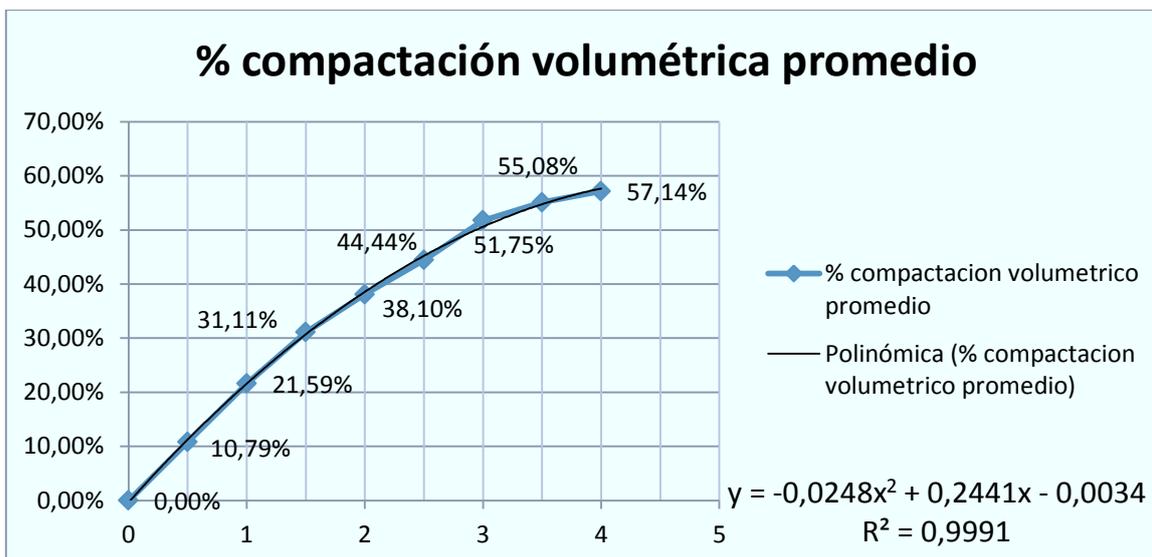


Figura 4.11. Gráfica de resultados finales de la prueba de compactación volumétrica

### 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%)
$\alpha$ -cellulose	43.30
Lignina	22.00
D-xylose	17.52
l-arabinose	6.53
Methylglucuronic acid	3.27
D-galactose	2.37
<b>Total</b>	<b>94.99</b>

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.

<b>Propiedades y características físicas</b>	
<b>Estado físico</b>	Sólido granulado
<b>Color</b>	Beige
<b>Olor</b>	Olor característico
<b>Longitud, mm</b>	4 - 14
<b>Ancho, mm</b>	2 - 4
<b>Espesor promedio, <math>\mu\text{m}</math></b>	50
<b>Peso específico, mg</b>	2.944 - 3.564
<b>Solubilidad en el agua</b>	Insoluble
<b>Densidad verdadera, <math>\text{gr}/\text{cm}^3</math></b>	1,42
<b>Densidad aparente, <math>\text{gr}/\text{cm}^3</math></b>	0,65
<b>Densidad a granel, <math>\text{gr}/\text{cm}^3</math></b>	0,1
<b>Porosidad del combustible, %</b>	54
<b>Fracción de espacios libres, %</b>	85
<b>Fase gaseosa teórica, %</b>	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	
<b>Humedad, %</b>	7,41
<b>Cenizas, %</b>	19,39
<b>Material volátil, %</b>	57,09
<b>Carbono fijo, %</b>	16,11
<b>PH a 25 °C</b>	7,10
<b>Fibra (Celulosa), %</b>	45,38
<b>Proteínas, %</b>	3,59
<b>Extracto con éter (Grasa), %</b>	0,40
<b>Carbohidratos totales, %</b>	69,23
<b>PCS<sub>B.S.</sub> (Bomba Calorimétrica), MJ/Kg</b>	12,70
<b>PCS<sub>B.S.</sub> (Análisis Bromatológico), MJ/Kg</b>	12,04
<b>PCS<sub>B.S.</sub> (Análisis ultimo), MJ/Kg</b>	15,58
<b>PCI<sub>B.S.</sub> (Análisis ultimo), MJ/Kg</b>	14,42
<b>PCI<sub>B.H.</sub> (Análisis ultimo), MJ/Kg</b>	13,50

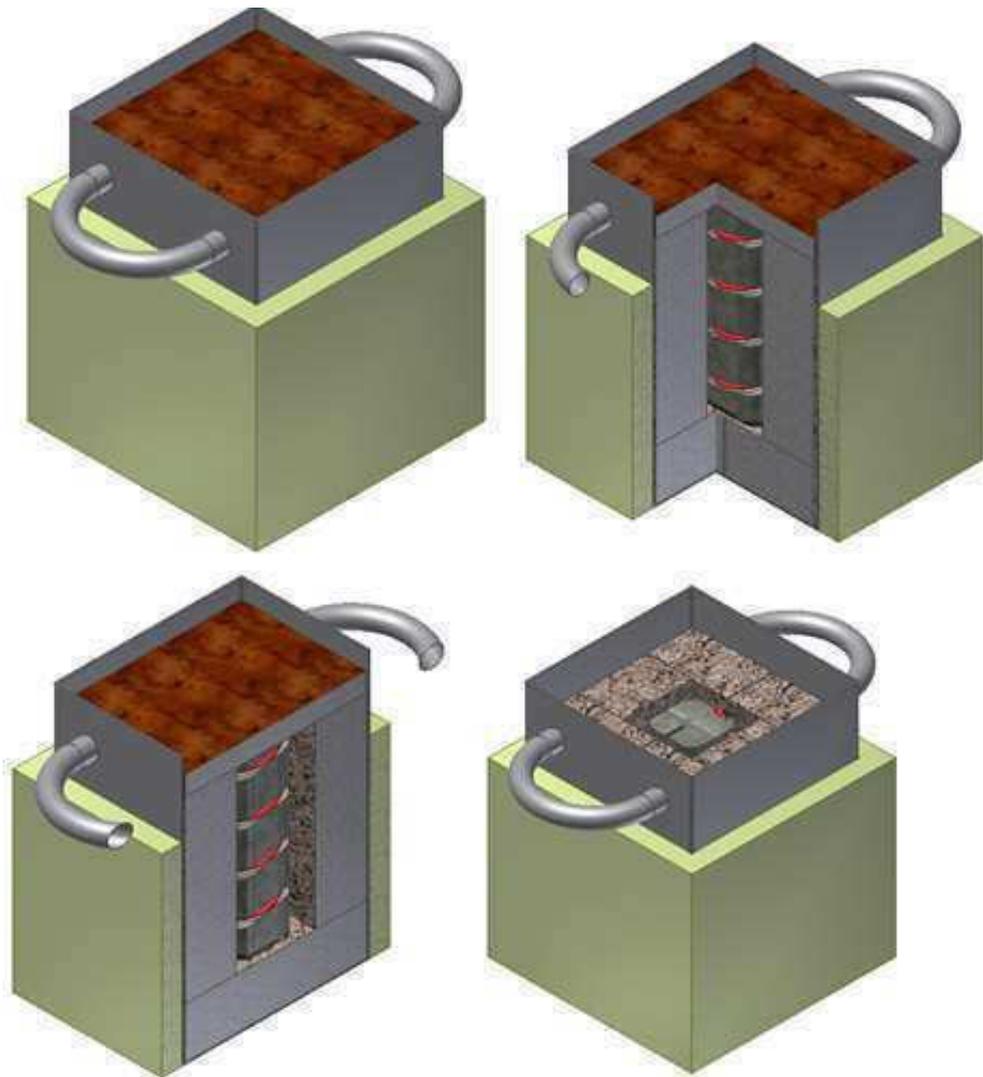
**Tabla 4.6.** Propiedades y características químicas de la cascarilla de arroz.

**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).

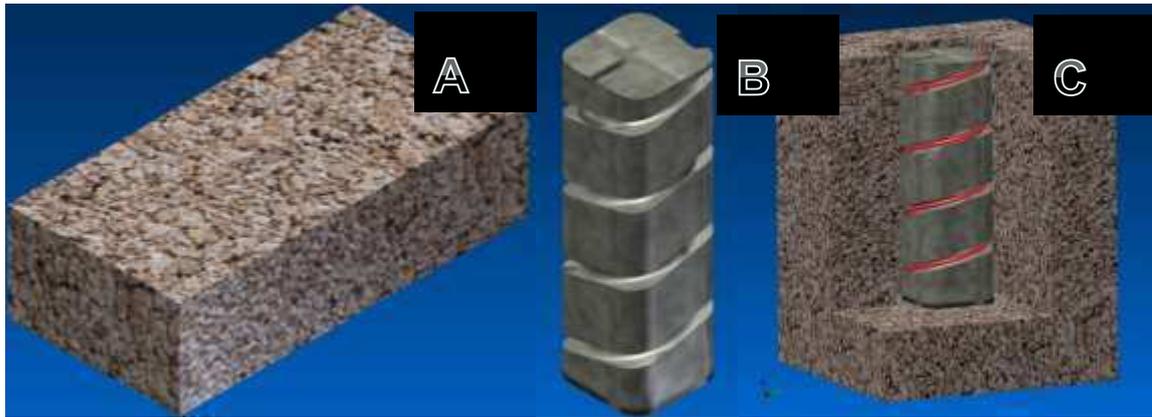


Figura 4.13. Ladrillos refractarios usados en la caja

Construida la caja se procedió con las pruebas para obtener la curva de calibración de la misma para determinar el  $\Delta Q$  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 <sub>t</sub>	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 ( $\Delta Q$ ) 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.

$\Delta T$	$\Delta Q$
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  $\Delta Q$  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 <sup>2</sup> )	45868
L1 (mm)	65
K ladrillo (W/K*m)	0,725
Área plancha de acero (mm <sup>2</sup> )	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)	<b>992,04</b>

Tabla 4.9. Cálculo de pérdidas en paredes.

##### Cálculo de pérdidas en fondo caja

Área ladrillo (mm <sup>2</sup> )	<b>44289</b>
L1 (mm)	65
K ladrillo (W/K*m)	0,725
Área plancha de acero (mm <sup>2</sup> )	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	<b>239,48</b>

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

$\Delta t$ = 78,41 (K)

A= 0,0098 m<sup>2</sup>

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:

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

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

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.

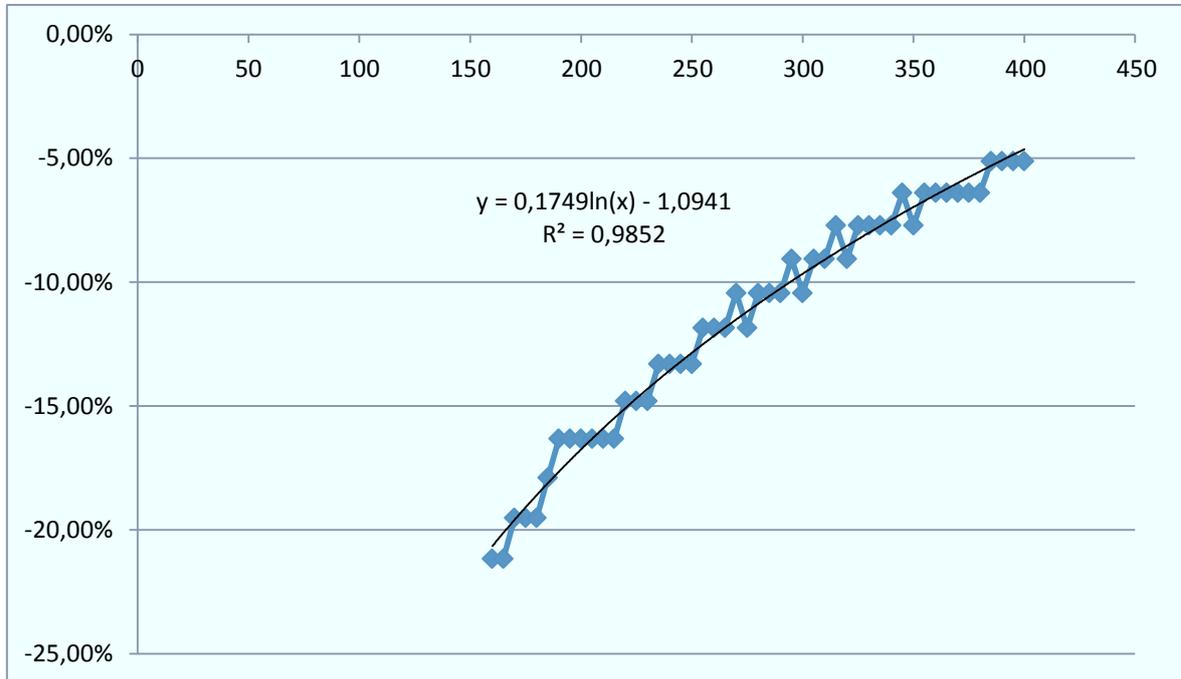


Figura 4.17. Variación del error respecto al tiempo de ensayo

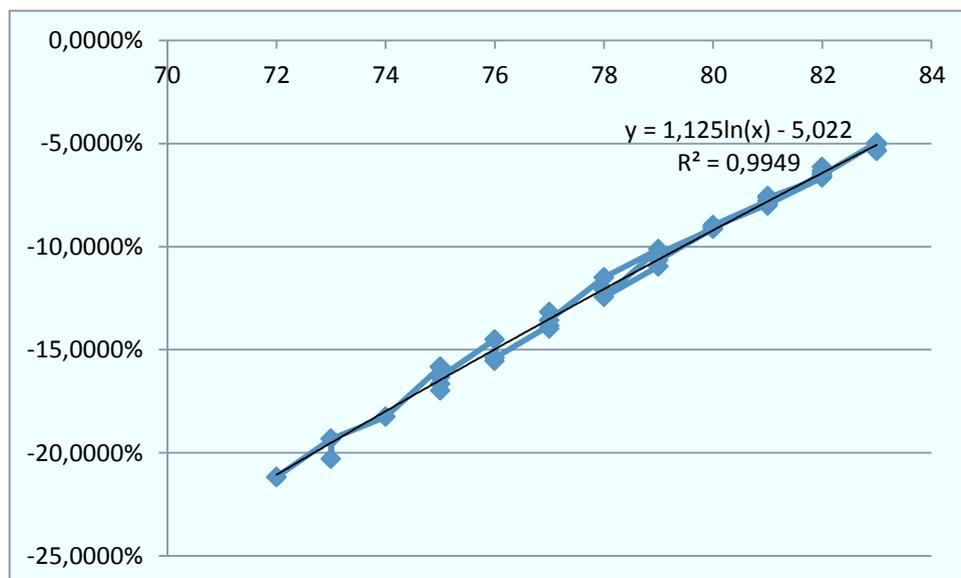


Figura 4.18. Variación del error respecto a la variación del  $\Delta T$

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 previos<sup>5</sup> 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.

---

<sup>5</sup> 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			<b>0,1362</b>

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	<b>Resistencia</b>	-	0,5	1	1	1	1	4,5	0,3
2=1	<b>Capacidad de no descomponerse.</b>	0,5	-	1	1	1	1	4,5	0,3
3	<b>Apariencia (homogeneidad)</b>			-	1	1	1	3	0,2
4	<b>Facilidad de preparación de la mezcla</b>				-	1	1	2	0,13
5	<b>Mejor tiempo de secado</b>					-	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	<b>Resistencia</b>	0,3	6	1,8	7	2,1	9	2,7	10	3
2	<b>Capacidad de no descomponerse.</b>	0,3	8	2,4	8	2,4	8	2,4	6	1,8
3	<b>Apariencia (homogeneidad)</b>	0,2	6	1,2	7	1,4	9	1,8	9	1,8
4	<b>Facilidad de preparación de la mezcla</b>	0,13	7	0,91	7	0,91	8	1,04	7	0,91
5	<b>Mejor tiempo de secado</b>	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.

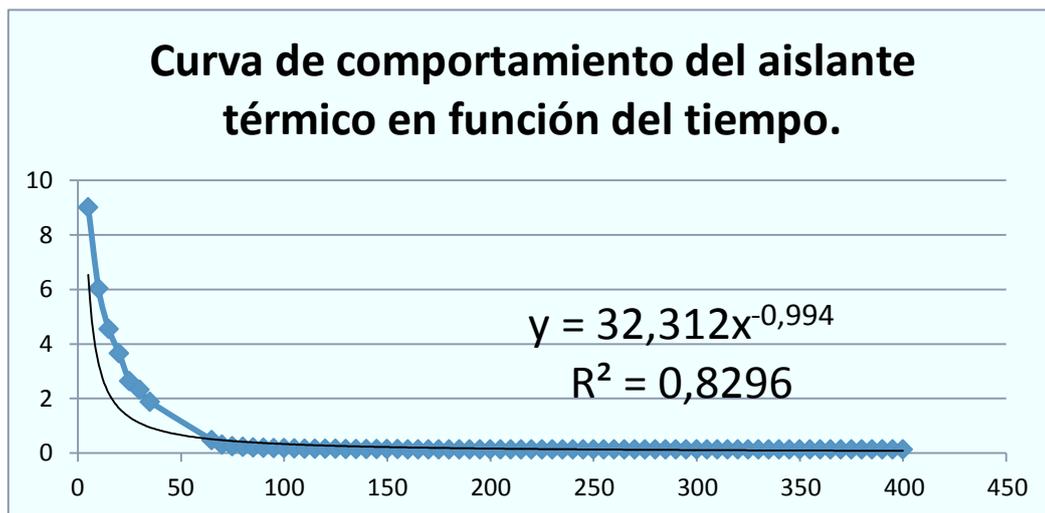


Figura 5.11. Curva del comportamiento del aislante ecológico.

## 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.

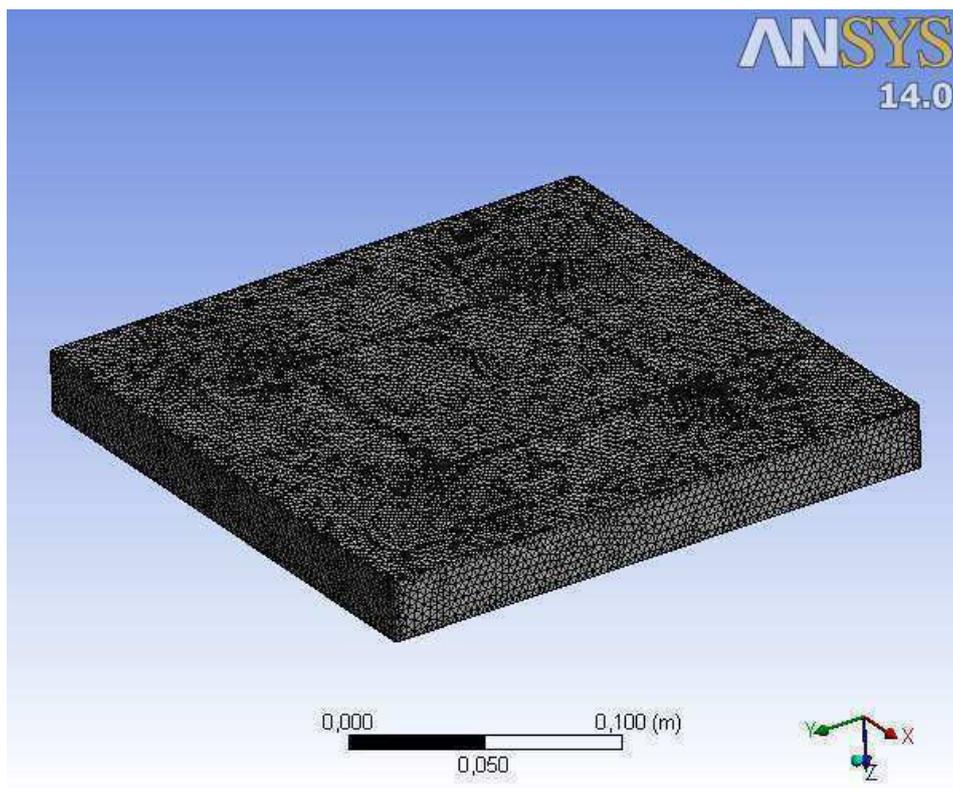


Figura 5.12. Plancha de Aislante térmico realizado el mallado en el programa ANSYS previo análisis en Estado Estable.

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

Tabla 5.2. Propiedades del archivo del Aislante en Inventor.

<b>Nombre del objeto</b>	<b><i>aislante.ipt</i></b>
<b>Estado</b>	Mallado
<b><u>Propiedades Gráficas</u></b>	
<b>Visible</b>	Si
<b><u>Definición</u></b>	
<b>Suprimido</b>	No
<b>Comportamiento de rigidez</b>	Flexible
<b>Sistema de Coordenadas</b>	Sistema de Coordenadas Default
<b>Temperatura de Referencia</b>	Ambiente
<b><u>Material</u></b>	
<b>Material Asignado</b>	Cascarilla de Arroz Molida Aglutinada con Yuca
<b>Efectos no Lineales</b>	Si
<b>Efectos de Tensión Térmica</b>	Si
<b><u>Cuadro Delimitador</u></b>	
<b>Longitud X</b>	0,23 m
<b>Longitud Y</b>	0,23 m
<b>Longitud Z</b>	2,55e-002 m
<b><u>Propiedades</u></b>	
<b>Volumen</b>	1,3274e-003 m <sup>3</sup>
<b>Masa</b>	2,0442 kg
<b>Centroide X</b>	-5,6045e-019 m
<b>Centroide Y</b>	-8,7298e-019 m
<b>Centroide Z</b>	1,2452e-002 m
<b>Momento de Inercia Ip1</b>	9,0899e-003 kg·m <sup>2</sup>
<b>Momento de Inercia Ip2</b>	9,0899e-003 kg·m <sup>2</sup>
<b>Momento de Inercia Ip3</b>	1,7965e-002 kg·m <sup>2</sup>
<b><u>Estadísticas</u></b>	
<b>Nodos</b>	205273
<b>Elementos</b>	128316
<b>Malla Métrica</b>	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
<b><u>Definición</u></b>	
Tipo	Cartesiano
ID del Sistema de Coordenadas	0,
<b>Origen</b>	
Origen X	0, m
Origen Y	0, m
Origen Z	0, m
<b><u>Vectores Direccionales</u></b>	
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 <sup>-3</sup>
Conductividad Térmica	0,1362 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Calor Específico	1,558e-002 J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>

Tabla 5.5. Sistema de coordenadas.

## Mallado

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

<b><u>Tamaño</u></b>	
<b>Uso de la función avanzada de tamaño</b>	Si
<b>Centro de Relevancia</b>	Grueso
<b>Tamaño del elemento</b>	2,e-003 m
<b>Tamaño inicial de elemento</b>	Ensamblaje Activo
<b>Suavizado</b>	Alto
<b>Transición</b>	Rápida
<b>Longitud Ángulo central</b>	Grueso
<b>Longitud mínima de borde</b>	5,e-004 m
<b><u>Crecimiento</u></b>	
<b>Usar crecimiento Automático</b>	No
<b>Opción de crecimiento</b>	Transición suave
<b>Tasa de transición</b>	0,272
<b>Capas Máximas</b>	5
<b>Índice de crecimiento</b>	1,2
<b>Algoritmo de crecimiento</b>	Pre
<b><u>Parche de Opciones de conformado</u></b>	
<b>Triángulo mallador de superficie</b>	Controlado por el programa
<b><u>Avanzado</u></b>	
<b>Revisión de tamaño</b>	Estándar Mecánico
<b>Elemento de nodos de tamaño medio</b>	Controlado por el programa
<b>Elementos de cara plana</b>	No
<b>Número de intentos</b>	4
<b>Intentos extras para el Ensamblaje</b>	Si
<b>Comportamiento de Cuerpo Rígido</b>	Dimensionalmente Reducido
<b>Cambio de Forma de Mallado</b>	Deshabilitado
<b><u>Estadísticas</u></b>	
<b>Nodos</b>	205273
<b>Elementos</b>	128316
<b>Mallado Métrico</b>	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
<b><u>Definición</u></b>	
Tipo de Física	Térmico
Tipo de Análisis	Estado Estable
Motor de Solución	ANSYS Mechanical APDL
<b><u>Opciones</u></b>	
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
<b><u>Definición</u></b>	
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
<b><u>Pasos de Control</u></b>	
Número de Pasos	1,
Número de Paso Actual	1,
Tiempo Final de Paso	1, s
<b><u>Controles de Solver</u></b>	
Tipo de Solver	Controlado por el Programa

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

Tabla 5.9. Parámetros de Configuración del Análisis del Modelado.

## Carga térmica

Nombre de Objeto	Temperatura 1	Temperatura 2
<b>Estado</b>	Definido completamente	
<b>Alcance</b>		
<b>Método de Alcance</b>	Selección Geométrica	
<b>Geometría</b>	1 Cara	
<b>Definición</b>		
<b>Tipo</b>	Temperatura	
<b>Magnitud</b>	710, °C	275, °C

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

## Carga térmica 1.

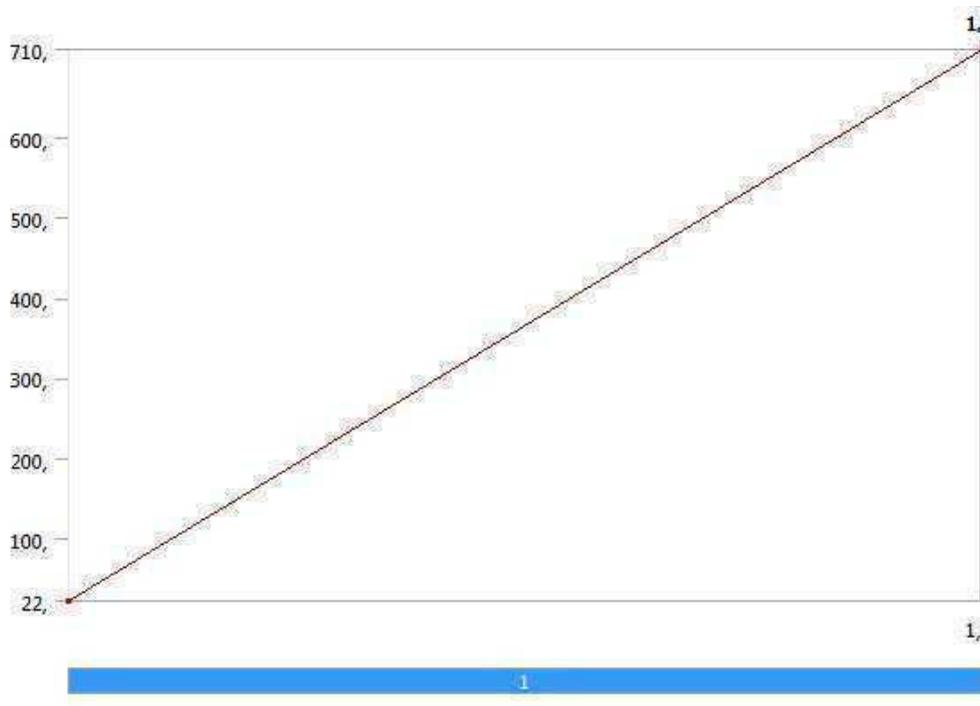


Figura 5.12. Transición de Carga térmica 1 desde el estado en reposo hasta el estado estable.

## Carga térmica 2.

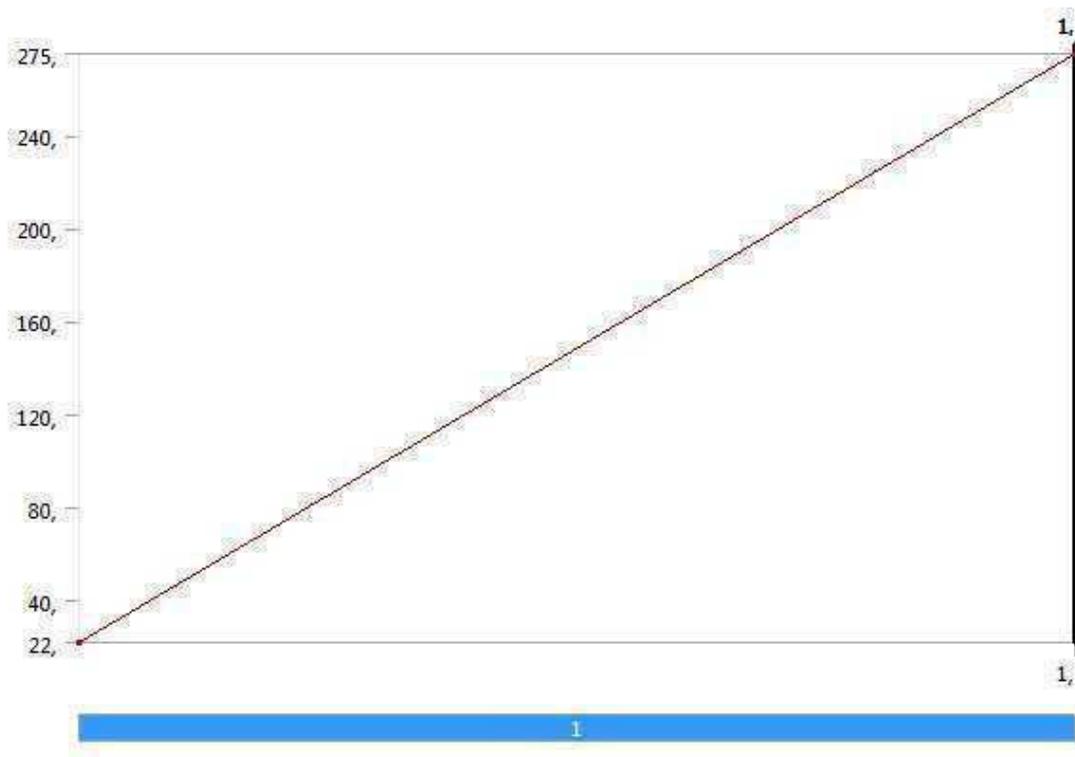


Figura 5.13. Transición de Carga térmica 2 desde el estado en reposo hasta el estado estable.

## Solución

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

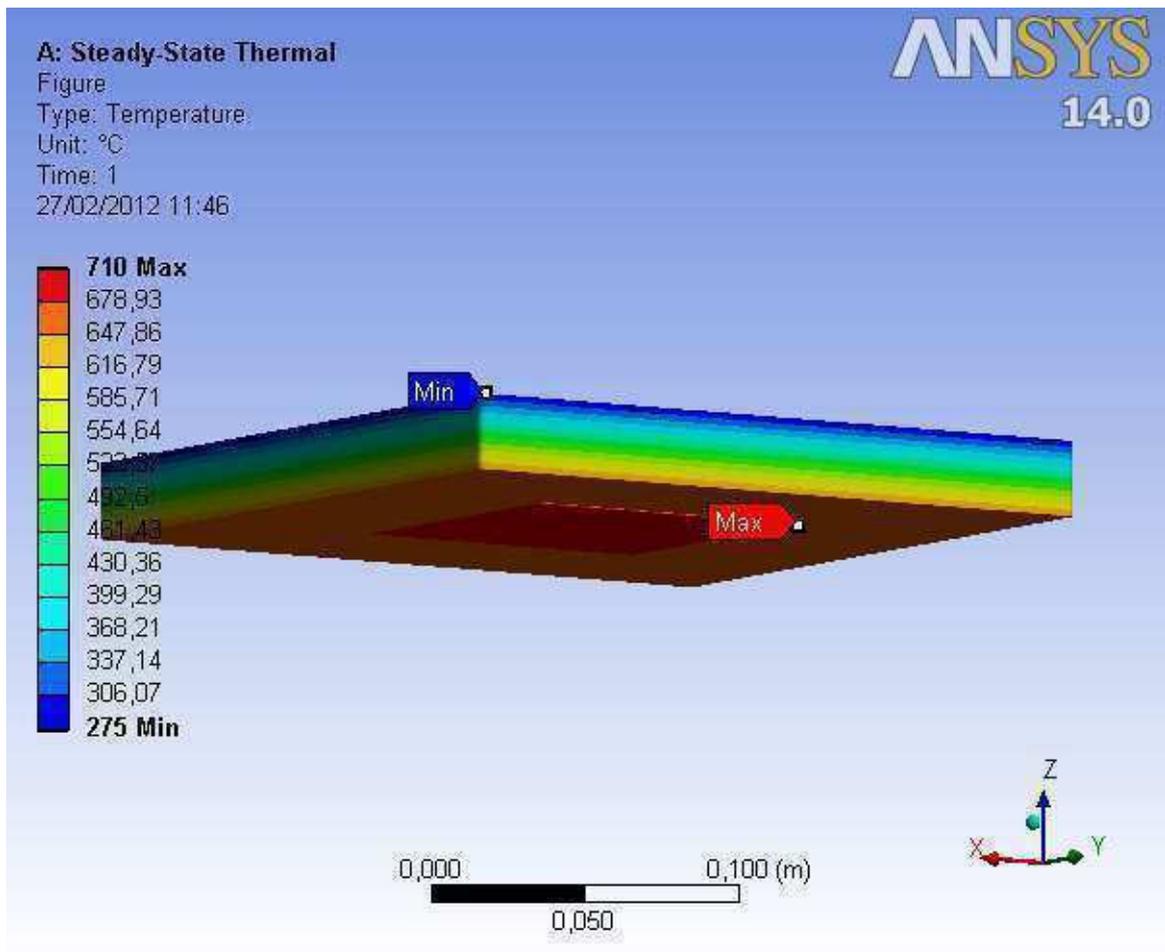
Color de Línea	Tipo de Conexión
Visible en Resultados	No
Grosor de Línea	Única
Tipo de muestra	Líneas

Tabla 5.11. Información de Solución.

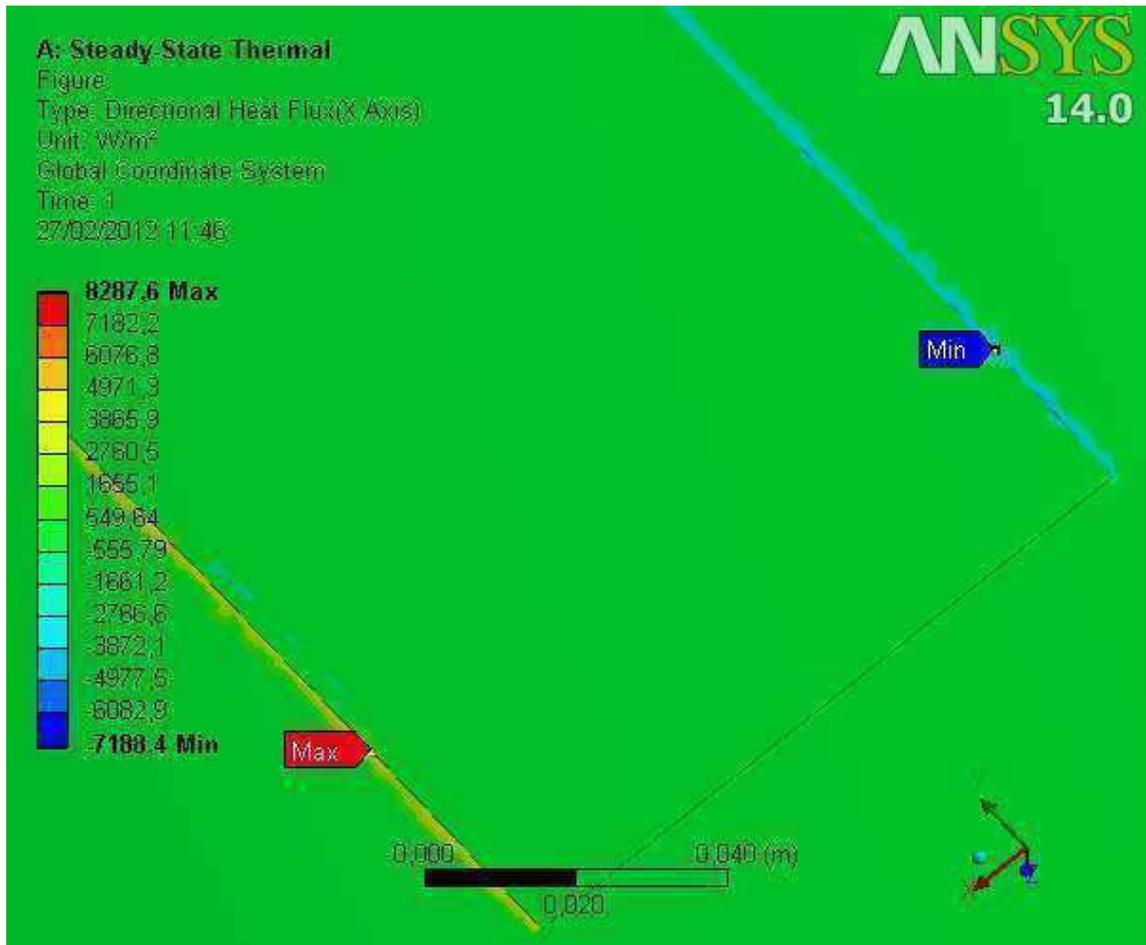
## Resultados

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

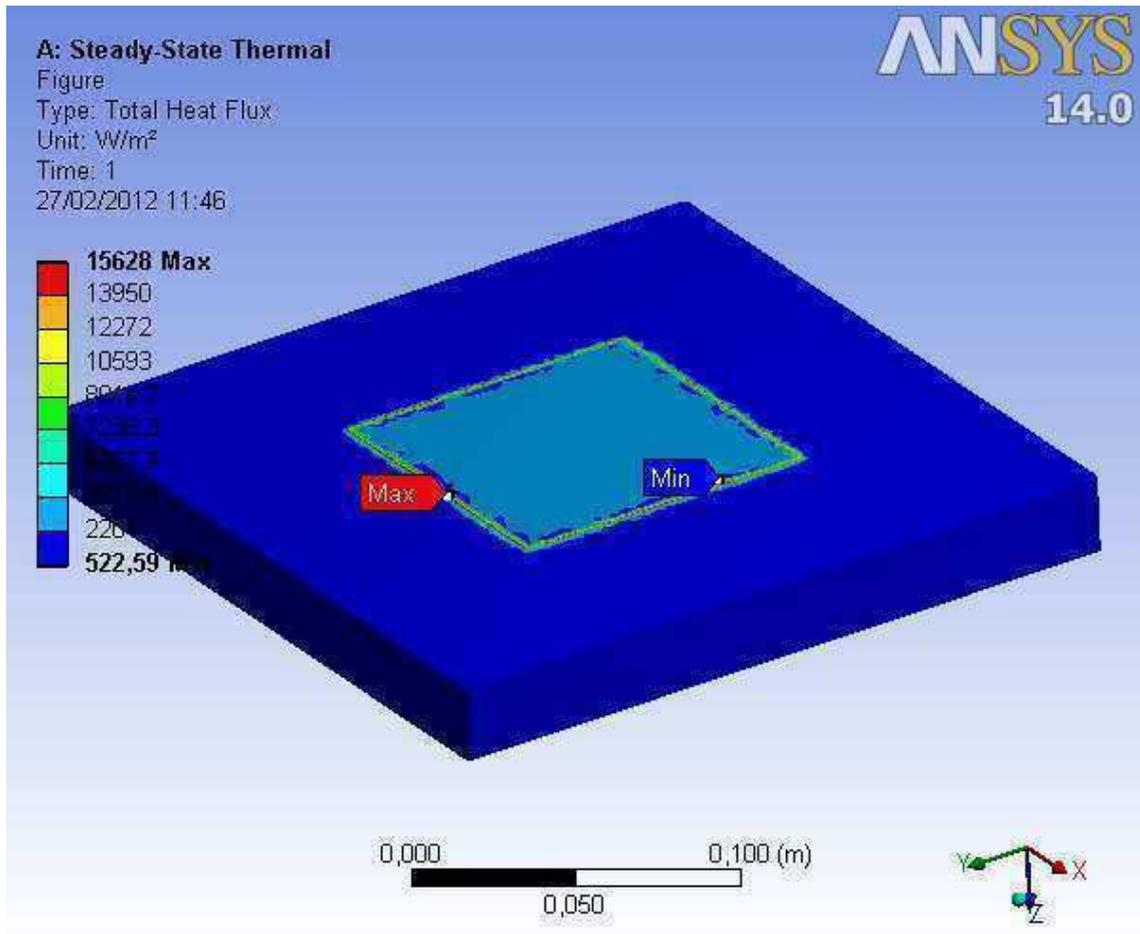
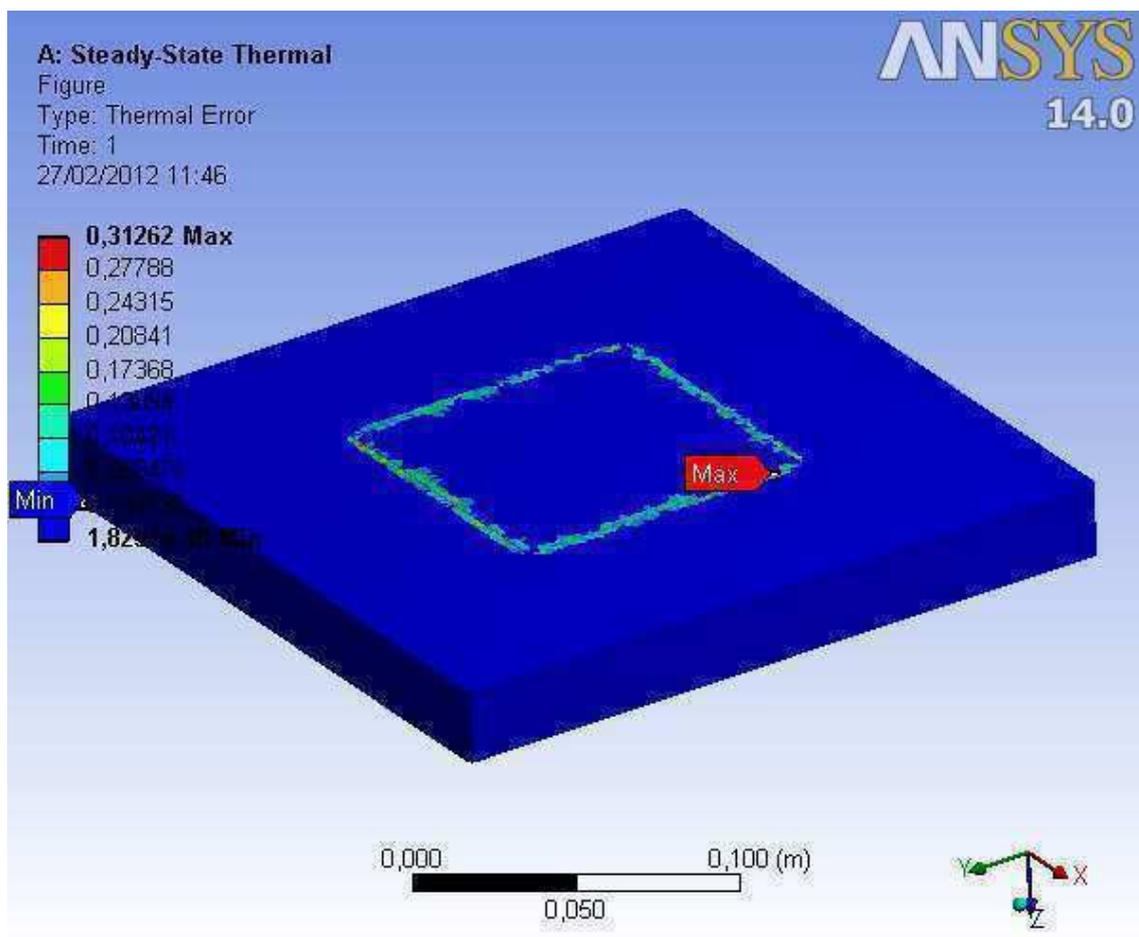


Figura 5.16. Flujo de calor total en el Estado estable.

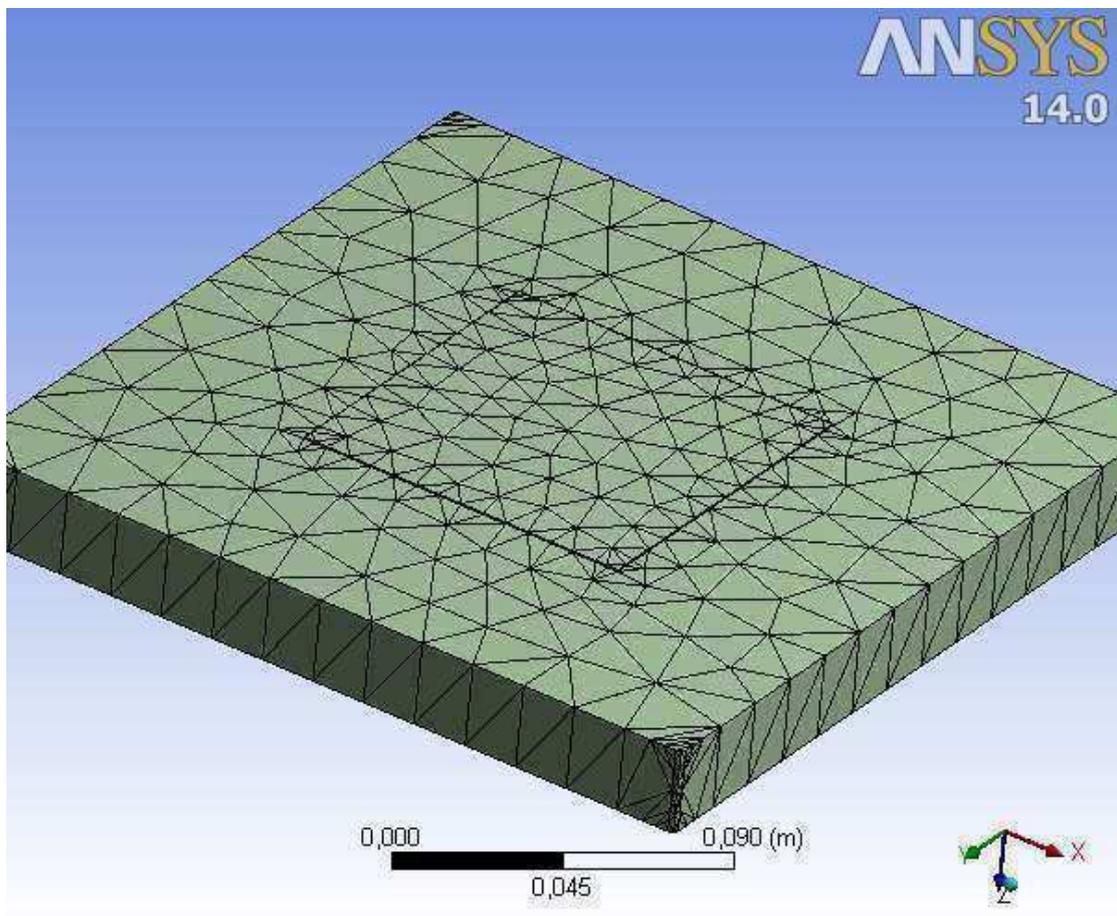


**Figura 5.17.** Error térmico en el Estado Estable.

### 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/m<sup>2</sup> 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

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

<b>Nodos</b>	4354
<b>Elementos</b>	2352

Tabla 5.13. Parámetros de Mallado.

## Estado Transitorio Térmico

### Análisis

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

Tabla 5.14. Descripción de Análisis.

## Condiciones Iniciales

### Temperatura Inicial

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

Tabla 5.15. Condiciones de temperatura Inicial.

## Configuración del Análisis

<b>Nombre del Objeto</b>	<b><i>Configuración del Análisis</i></b>
<b>Estado</b>	Completamente Definido
<b><u>Pasos de Control</u></b>	
<b>Número de pasos</b>	1,
<b>Paso Actual</b>	1,
<b>Tiempo de final del paso</b>	1000, min
<b>Tiempo inicial de paso</b>	10, s
<b>Mínimo tiempo de paso</b>	1, s
<b>Máximo tiempo de paso</b>	100, s
<b><u>Controles de Solver</u></b>	
<b>Tipo de Solver</b>	Térmico Transitorio
<b><u>Controles de Radiosidad</u></b>	
<b>Convergencia de Flujo</b>	1,e-004
<b>Máximas Iteraciones</b>	60000,
<b>Tolerancia Solver</b>	0,1
<b>Resolución Hemicubo</b>	10,
<b><u>Controles no-lineares</u></b>	
<b>Convergencia del Calor y Temp.</b>	Controlados por el Programa
<b>Formulación no-linear</b>	Elementos Diferenciales
<b><u>Controles de Salida</u></b>	
<b>Calcular Flujo Térmico</b>	Yes
<b>Calcular resultados en</b>	Todos los puntos de tiempo
<b>Sistema de Unidades del Solver</b>	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>
<b>Estado</b>	Completamente Definido		
<b><u>Alcance</u></b>			
<b>Método de Alcance</b>	Selección Geométrica		
<b>Geometría</b>	1 Cara		
<b><u>Definición</u></b>			
<b>Tipo</b>	Flujo de Calor	Temperatura	
<b>Magnitud</b>	186,47 W/m <sup>2</sup>	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>
<b>Estado</b>	Resuelto	
<b><u>Definición</u></b>		
<b>Tipo</b>	Temperatura	
<b>Supreso</b>	No	
<b><u>Alcance</u></b>		
<b>Método de Alcance</b>	Global Máximo	Global Mínimo
<b><u>Resultados</u></b>		
<b>Mínimo</b>	28,87 °C	24,526 °C
<b>Máximo</b>	709, °C	275, °C

Tabla 5.20. Resultados Temperatura.

## Resultados Globales

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

## Resultados Puntos de Integración

Opción de muestra

Promedio

Tabla 5.21. Resultados Globales.

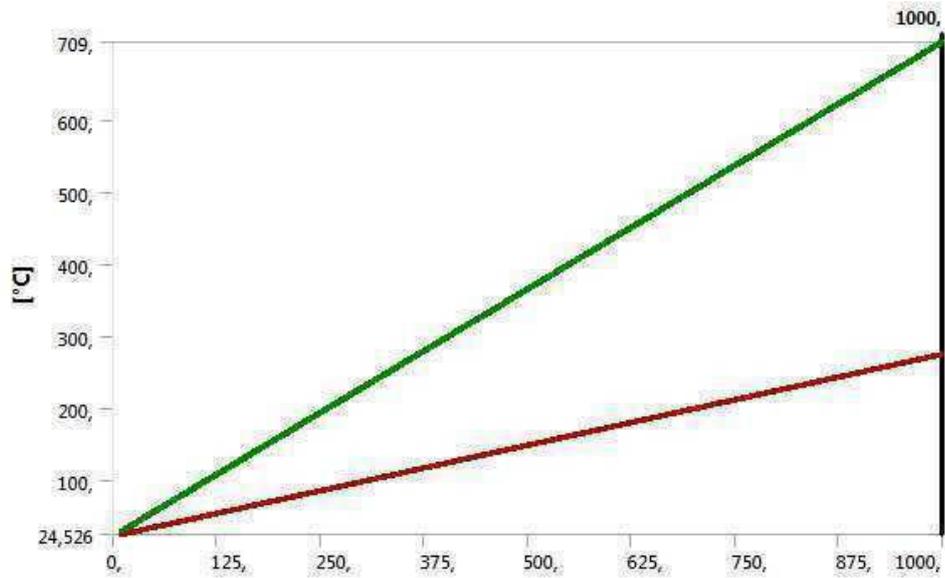


Figura 5.19. Resultados Temperatura Máxima y Mínima.

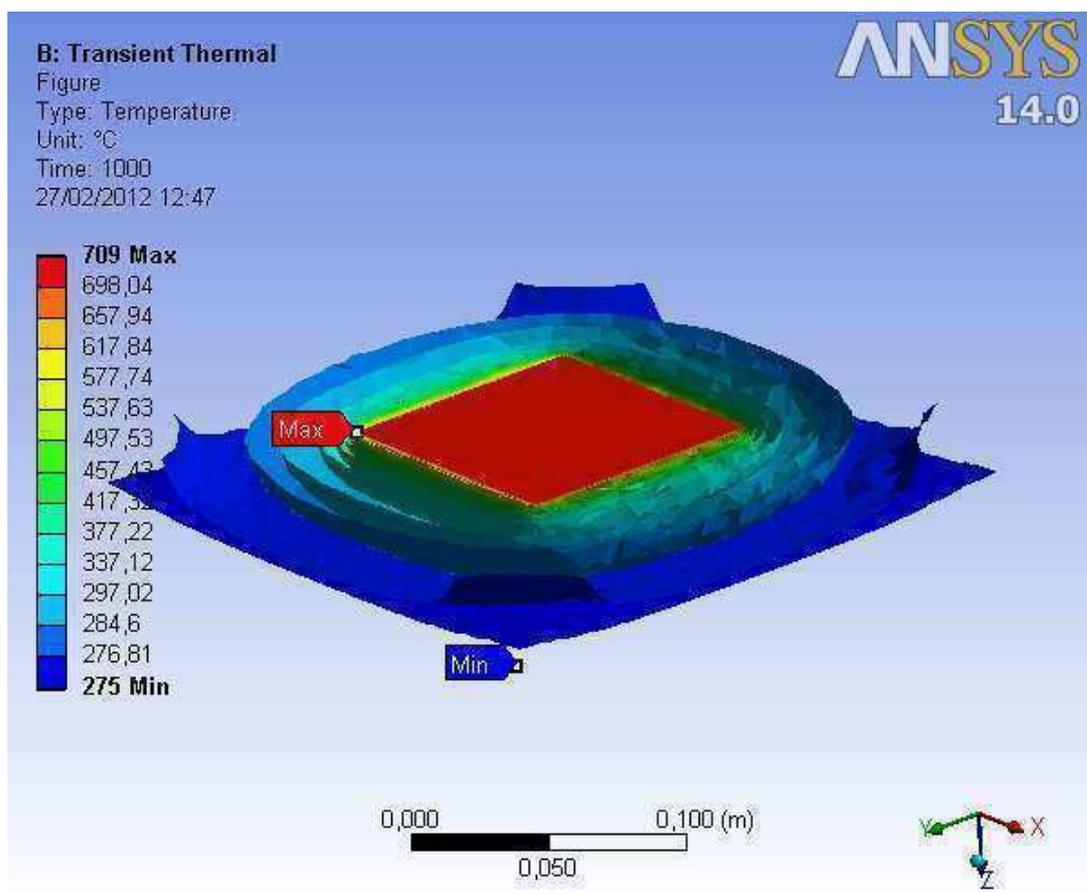
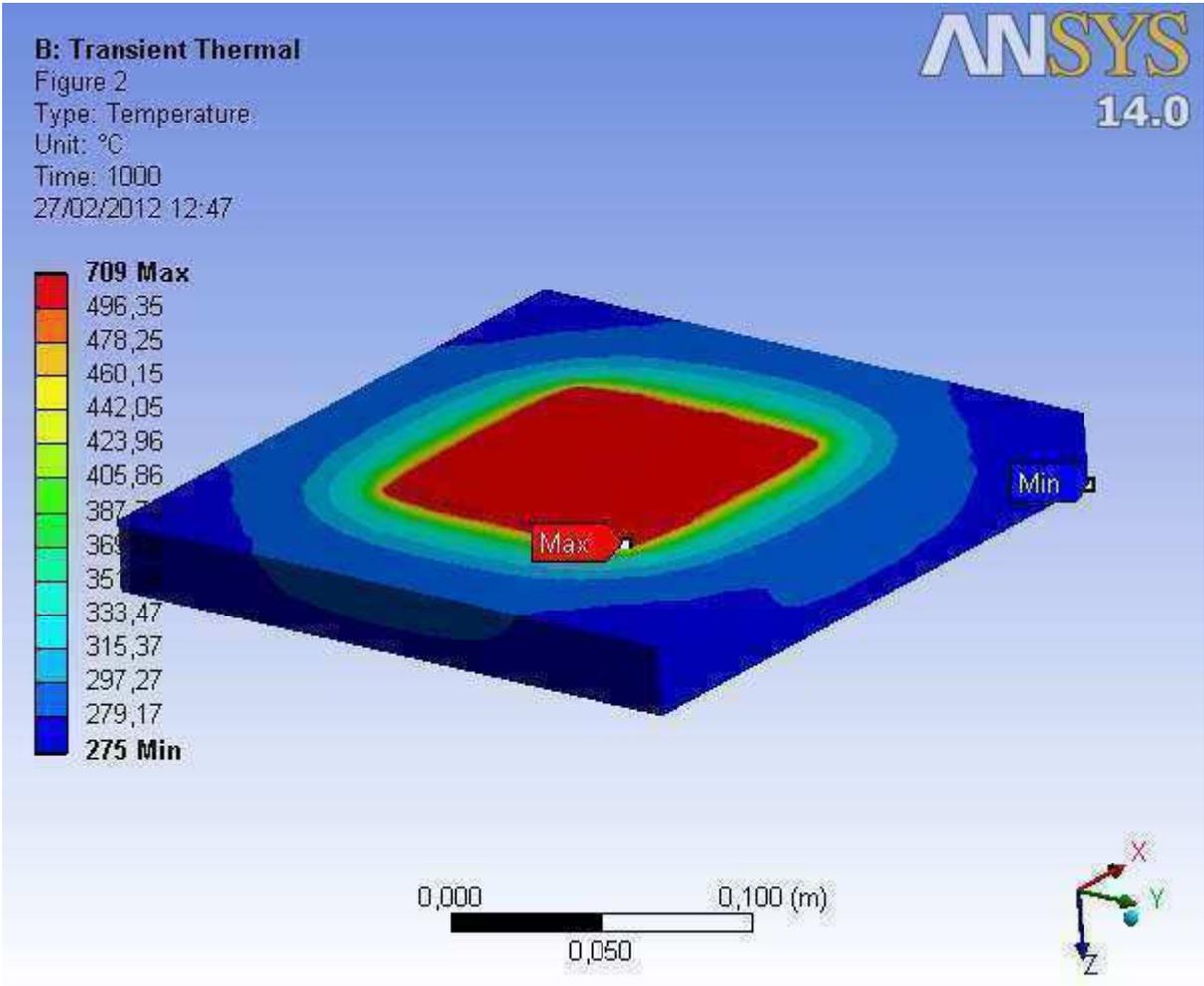
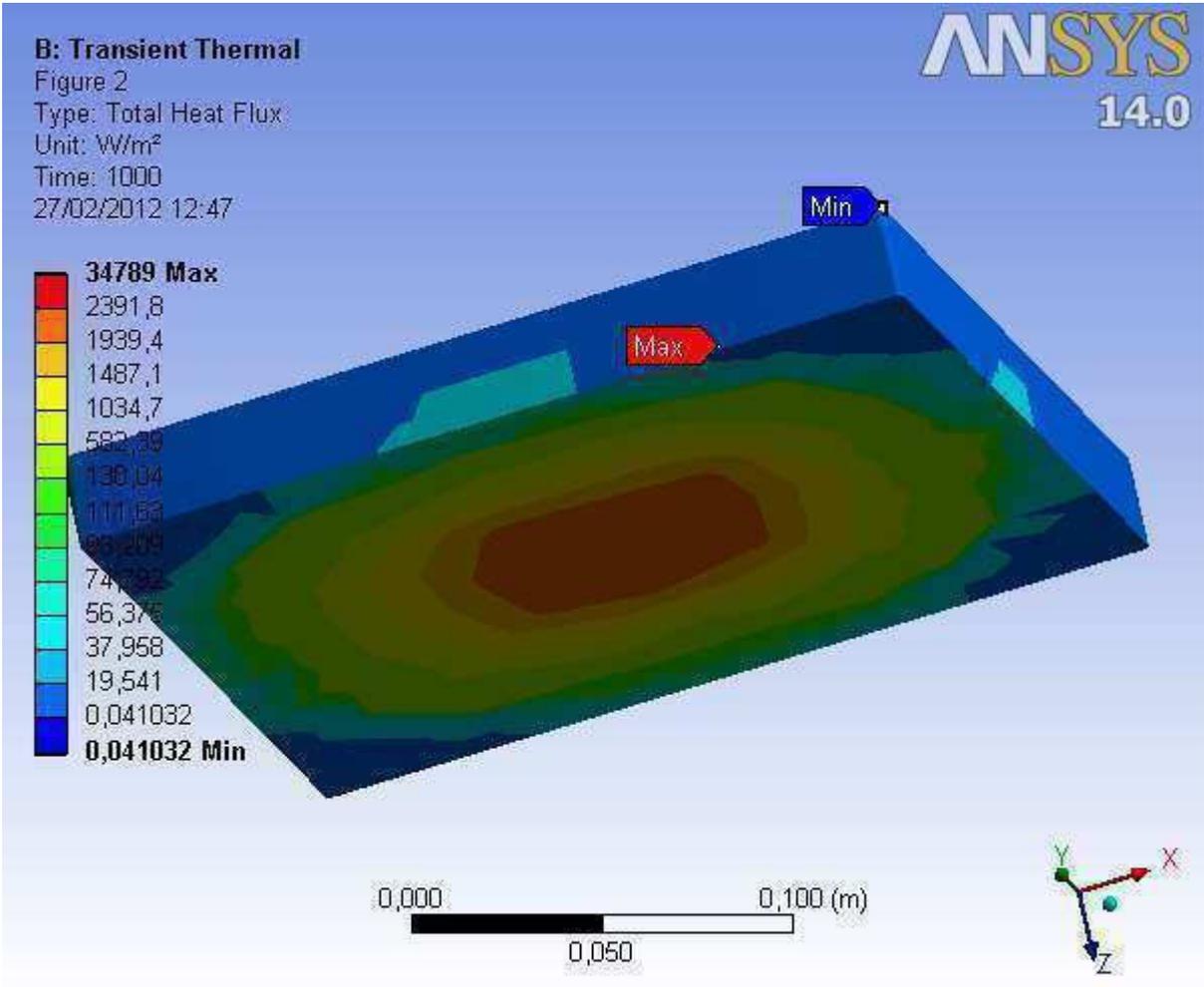


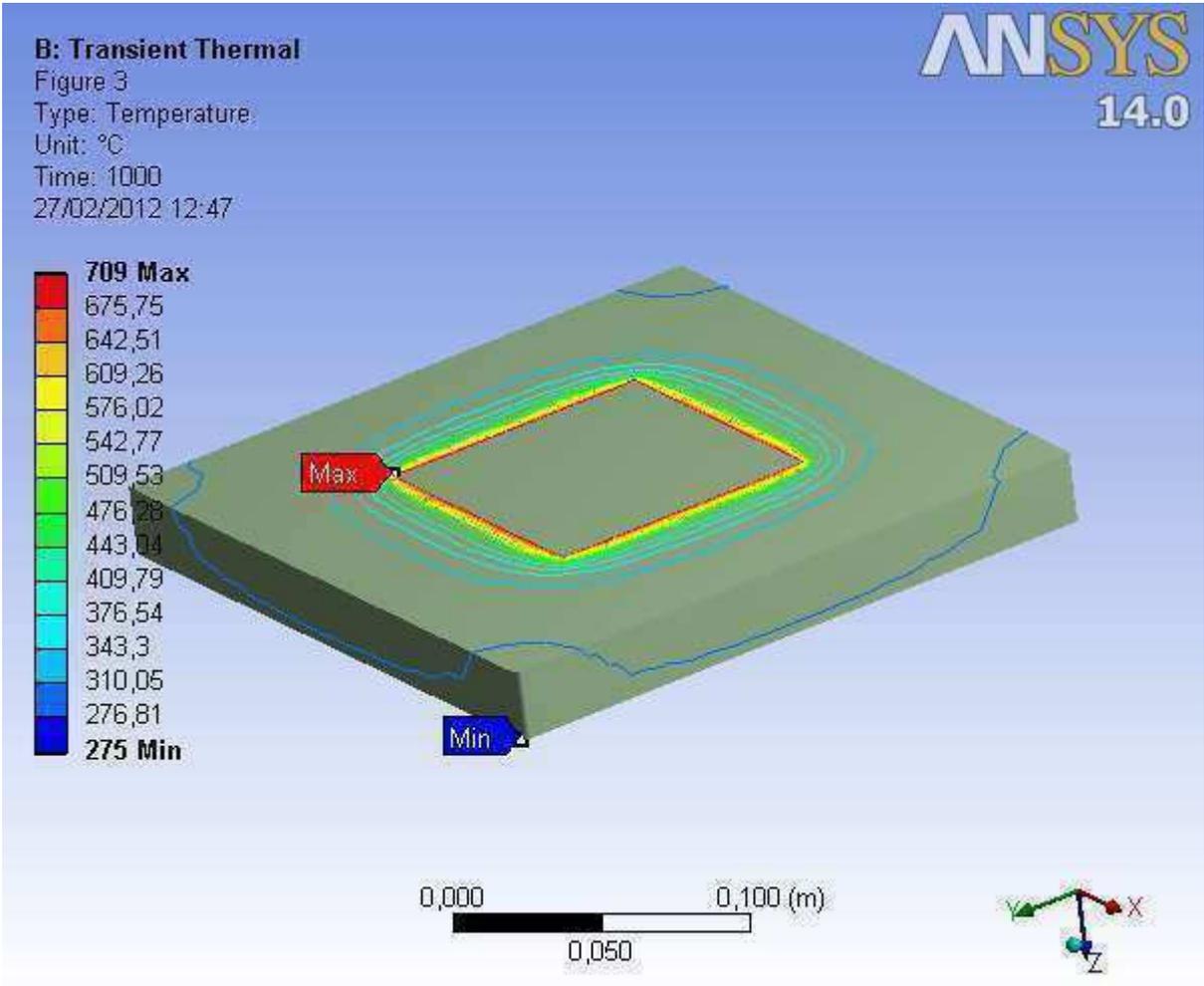
Figura 5.20. Distribución en Capas de la Temperatura.



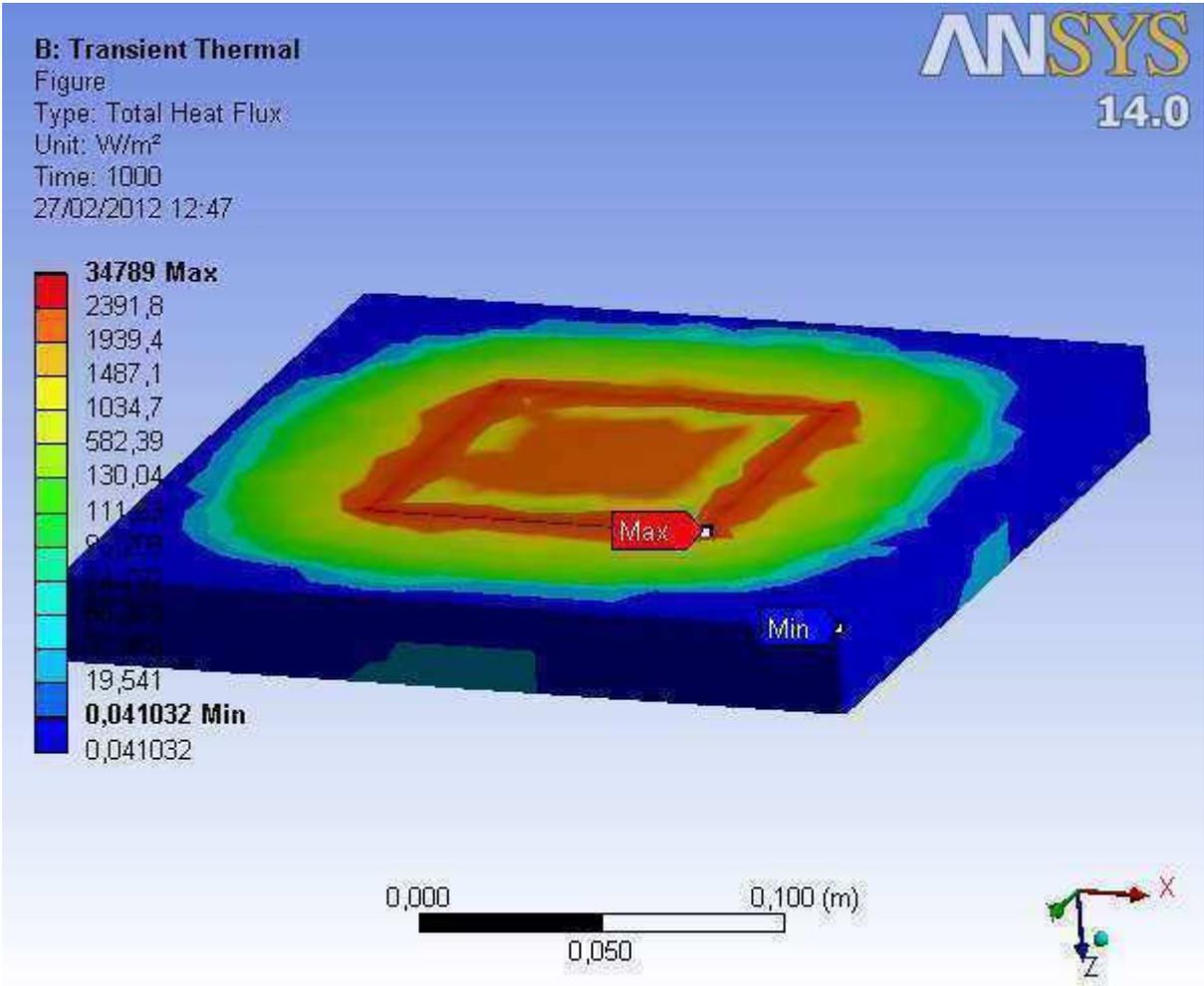
5.21. Distribución de la Temperatura.



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 térmico<sup>6</sup>

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*

*$\Delta T$ : 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:

---

<sup>6</sup> Libro Anual de Normas ASTM, vol 04,06.

$\Delta T$ : 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  $6 \pm 2$  pulg. / min ( $152 \pm 51$  mm / min) hasta que ocurra una falla.

Medidas de la probeta 76x381 mm<sup>2</sup>

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

Donde:

$MOR$  = Módulo de ruptura (MPa)

$P$  = Carga Transversal (N)

$t$  = Espesor (mm)

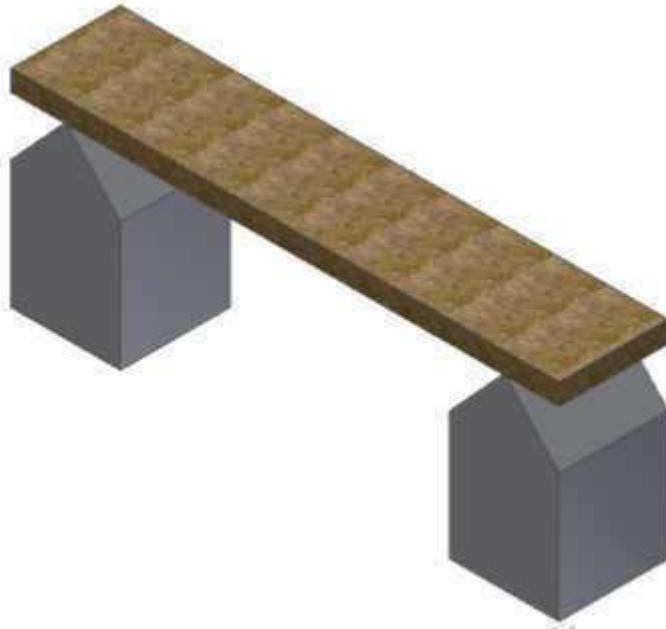


Figura 6.1, Esquema de la prueba para medir la flexión.

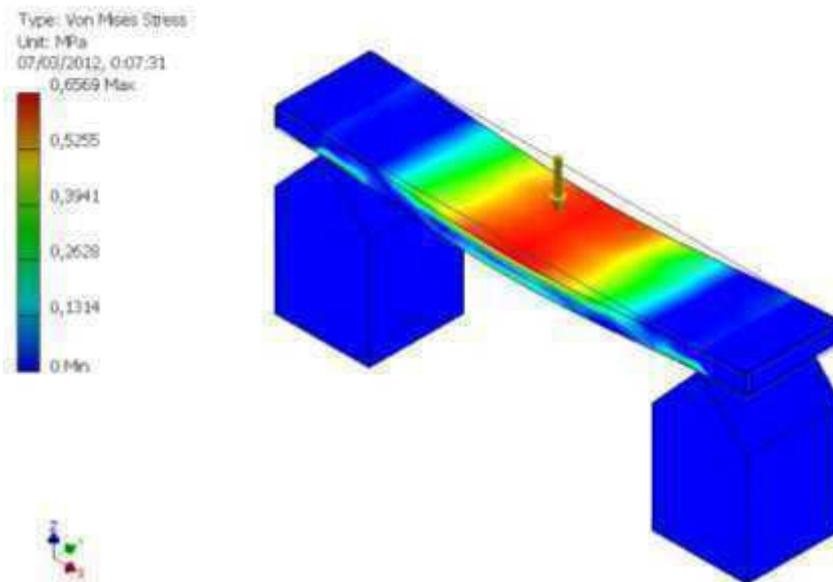


Figura 6.2, Simulación en Autodesk Inventor

### 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 ( $51 \pm 6$  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.

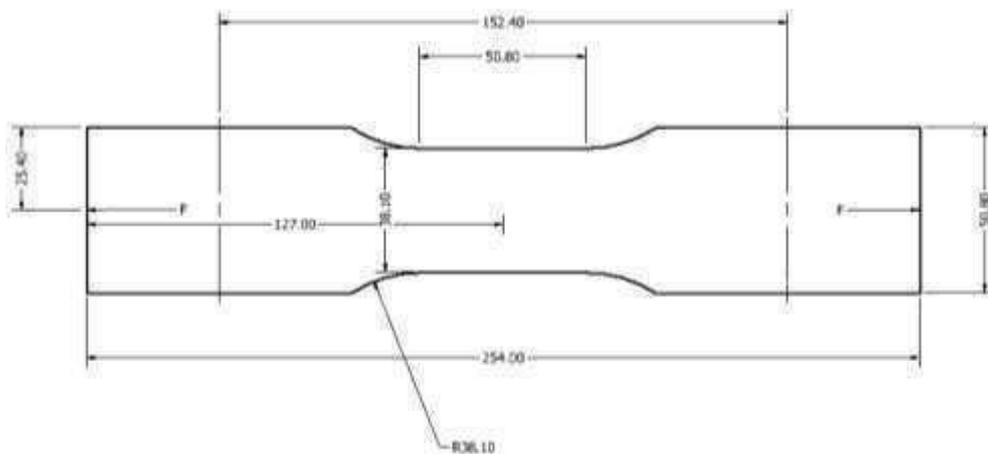
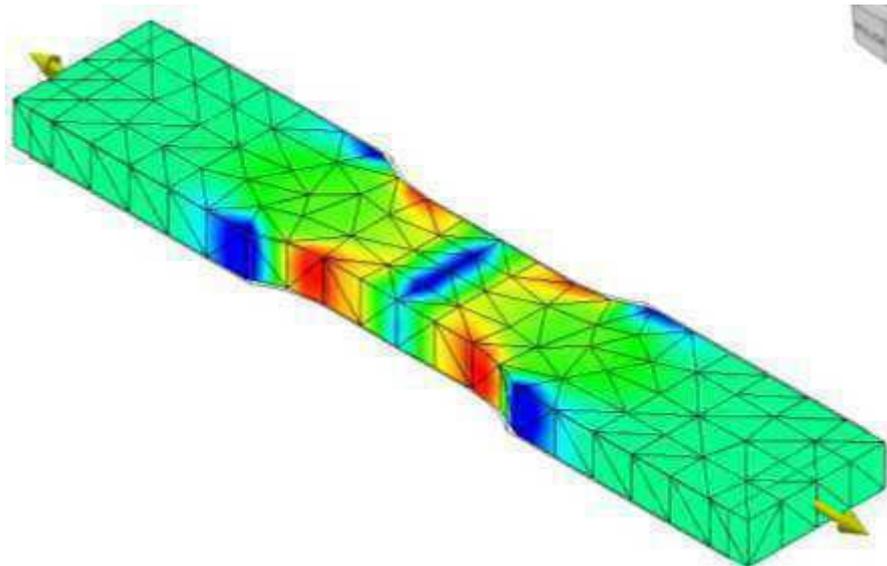


Figura 6.3, medidas para la probeta de resistencia a la atracción paralela.



**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.

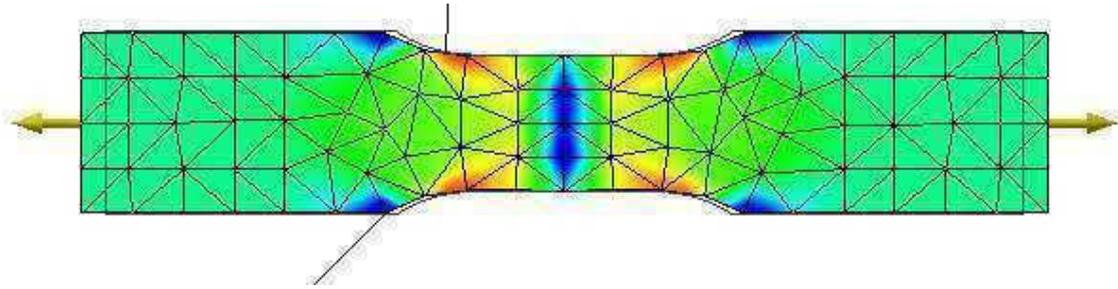


Figura 6.5.b, Simulación en Autodesk Inventor para la prueba de resistencia a la tracción.

### 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 ( $51 \pm 6$  mm / min) a los ganchos hasta la separación dentro del bloque.

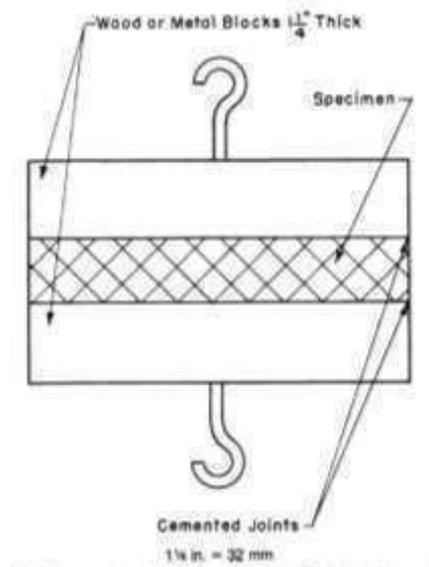


Figura 6.6, tomado de la Norma ASTM C 209, ítem 13

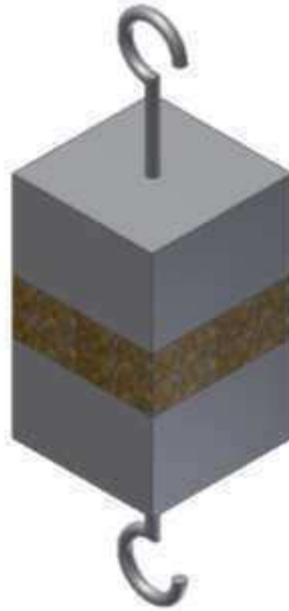


Figura 6.7, esquema de la probeta para la prueba de tracción perpendicular.

**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  $23 \pm 2$  °C ( $73 \pm 4$  °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 <sup>3</sup> )
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

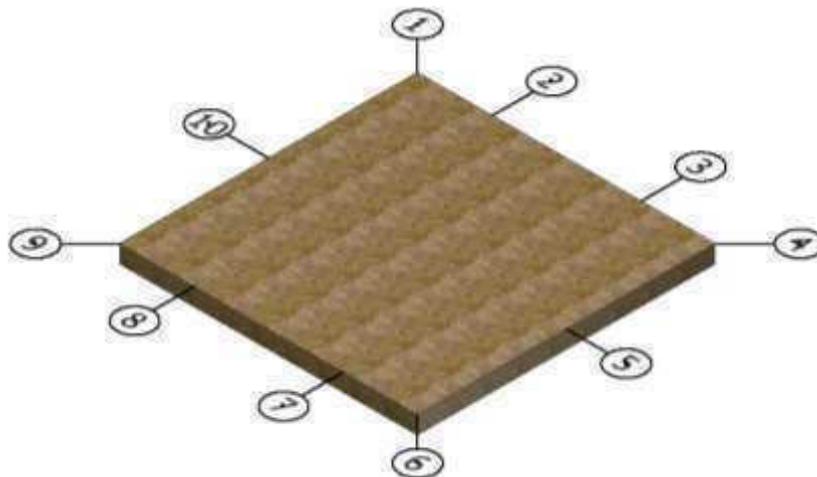


Figura 6.8, Esquema de la posición de los puntos medidos para obtener el espesor.

### 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
		<b>0,1362</b>

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

Descripción/ composición	Temperatura (K)	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica, $k$ (W/m <sup>2</sup> *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 <sup>3</sup> )	Conductividad térmica, k (W/m*K)	Calor específico, C <sub>p</sub> (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)
<b>Lana mineral</b>	0,0303
<b>Poliestireno expandido</b>	0,0330
<b>Cascarilla de arroz</b>	0,0360
<b>Fibra de vidrio</b>	0,0380
<b>Corcho aglomerado</b>	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 <sup>3</sup> )	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/m<sup>3</sup>.

### 6.2.3. Resistencia térmica R

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

Donde:

$\Delta T$ : 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
										<b>0,123</b>

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

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

Medidas de la probeta 76x381 mm<sup>2</sup>

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

Donde:

*MOR* = Módulo de ruptura (MPa)

*P* = Carga Transversal (N)

*t* = Espesor (mm)

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

<b>Resultados</b>	
	<b>Carga Aplicada (Kg)</b>
<b>Prueba 1</b>	4,2
<b>Prueba 2</b>	4,4
<b>Prueba 3</b>	4,3

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

	F (N)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)
<b>Prueba 1</b>	3924,5	571,5	6,8670
<b>Prueba 2</b>	4104,5	571,5	7,1820
<b>Prueba 3</b>	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 <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción perpendicular (Mpa)
<b>Prueba 1</b>	13735,7	571,5	24,035
<b>Prueba 2</b>	14365,8	571,5	25,137
<b>Prueba 3</b>	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 %

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

### 6.2.8. Resumen de resultados

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>533,43</b>
<b>Conductividad (W/m*K)</b>	<b>0,1362±5,028%</b>
<b>Resistencia térmica (K m<sup>2</sup>)/W</b>	<b>0,123</b>
<b>Resistencia a la flexión ASTM C 209, ítem 10 (MPa)</b>	<b>1,114</b>
<b>Resistencia a la tracción paralela a la superficie ASTM C 209, ítem 12 (MPa)</b>	<b>7,0161</b>
<b>Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie ASTM C 209, ítem 13 (MPa)</b>	<b>24,556</b>
<b>Recuperación de humedad %</b>	<b>97,39</b>

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 continuación 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.

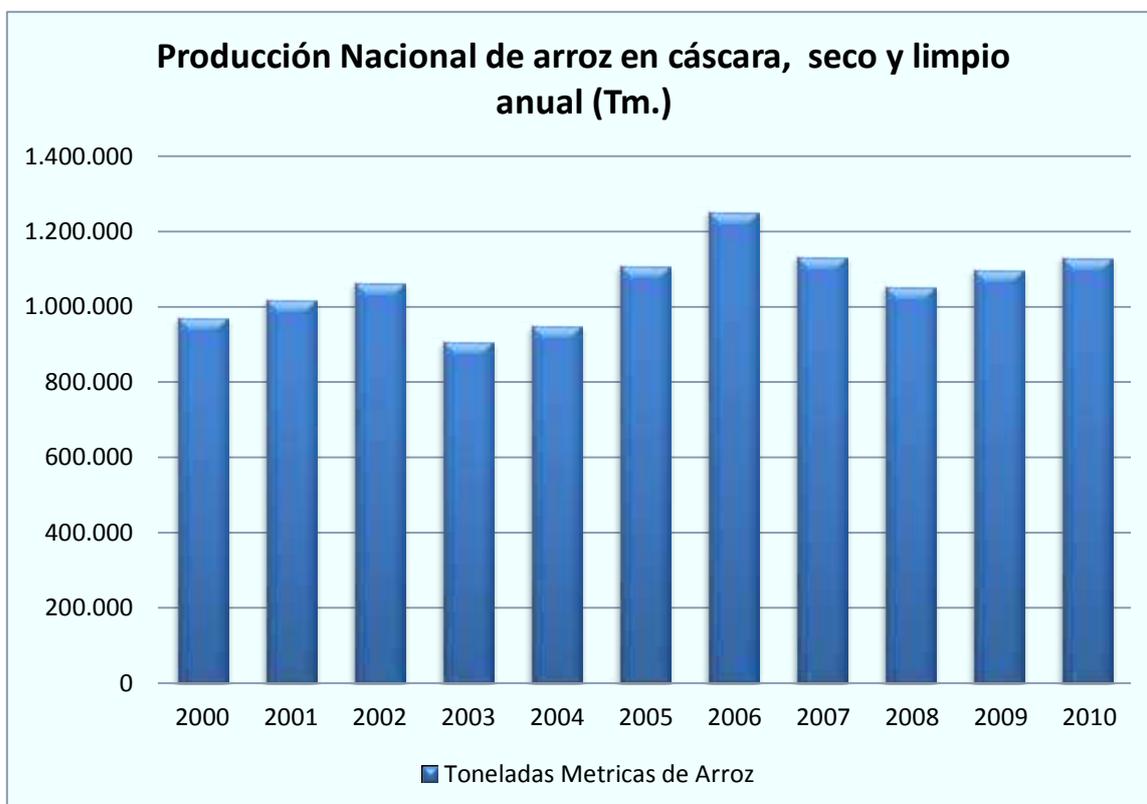
Fuente: MAGAP, III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, SIGAGRO. [www.magap.gob.ec](http://www.magap.gob.ec);

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.

<b>Producción de arroz en la Provincia del Guayas</b>				
<b>Año</b>	<b>Superficie sembrada</b>	<b>Superficie cosechada</b>	<b>Producción de arroz en cáscara, seco y limpio</b>	<b>Rendimiento</b>
	<b>(Ha.)</b>	<b>(Ha.)</b>	<b>(Tm.)</b>	<b>(Tm./Ha.)</b>
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.

<b>Producción de Arroz en la Provincia de Los Ríos</b>				
<b>Año</b>	<b>Superficie sembrada</b>	<b>Superficie cosechada</b>	<b>Producción de arroz en cáscara, seco y limpio</b>	<b>Rendimiento</b>
	<b>(Ha.)</b>	<b>(Ha.)</b>	<b>(Tm.)</b>	<b>(Tm./Ha.)</b>
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.

<b>Producción Nacional de Arroz Estación - Invierno</b>			
<b>Años</b>	<b>Producción arroz cáscara húmedo/sucio (Tm.)</b>	<b>Producción arroz cáscara seco/limpio (Tm.)</b>	<b>Producción arroz pilado (qq.)</b>
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.

<b>Producción Nacional de Arroz Estación - Verano</b>			
<b>Años</b>	<b>Producción arroz cáscara húmedo/sucio (Tm.)</b>	<b>Producción arroz cáscara seco/limpio (Tm.)</b>	<b>Producción arroz pilado (qq.)</b>
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

<b>2007</b>	570.423	457.707	6.343.832
<b>2008</b>	569.444	456.921	6.332.937
<b>2009</b>	595.570	477.886	6.623.499
<b>2010</b>	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 arrocera en Invierno y Verano		
Provincia/Cantón	Periodo invierno Ha.	Periodo verano Ha.
<b>Guayas</b>	98.690	100.492
<b>Los Ríos</b>	90.316	30.715
<b>Quevedo</b>	903	280
<b>Ventanas</b>	5.429	450
<b>Total Nacional</b>	<b>223.820</b>	<b>141.527</b>

**Tabla 7.6** Superficie arrocera 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	%
<b>Arroz pilado entero (18% pulido)</b>	63
<b>Arrocillo (&gt;1/4 y 5% &lt;3/4) + yelem</b>	5
<b>Polvillo</b>	8,5
<b>Tamo o Cascarilla</b>	22
<b>Impurezas</b>	1,5
<b>Yelem = Arrocillo muy fino.</b>	

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.)
<b>Guayas</b>	231.066	226.428	748.980	164.775
<b>Los Ríos</b>	128.108	115.175	322.423	70.933
<b>Quevedo</b>	4.065	3.862	10.813	2.378
<b>Ventanas</b>	11.835	11.244	31.483	6.926
<b>Total</b>	<b>382.230</b>	<b>363.119</b>	<b>1.132.267</b>	<b>249.098</b>

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.

<b>ANEXO No 1 : COSTO DE MATERIA PRIMA ( \$ )</b>	
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
<b>ANEXO No 2 : COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA</b>	
NUMERO DE INGENIEROS	2
SUELDO POR HORA ( \$ )	5
<b>ANEXO No 3 : MATERIALES ( \$ )</b>	

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
<b>ANEXO No 4 : COSTOS INDIRECTOS(\$)</b>	
INTERNET	20
HOJAS	15
SUMINISTROS DE OFICINA	10
TRANSPORTE	70
<b>ANEXO No 5 : COSTOS DE SERVICIOS (\$)</b>	
AGUA	15
ELECTRICIDAD	180

<b>COSTOS MATERIALES DE DESARROLLO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
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
<b>TOTAL</b>			<b>611,67</b>

<b>COSTO MANO DE OBRA</b>			
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>	<b>HORAS</b>	<b>TASA SALARIAL</b>	<b>TOTAL</b>
INGENIEROS	20	5	200
<b>TOTAL</b>			<b>200</b>

<b>COSTO MANO DE OBRA</b>			
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>	<b>HORAS</b>	<b>TASA SALARIAL</b>	<b>TOTAL</b>
INGENIEROS	20	5	200
<b>TOTAL</b>			<b>200</b>

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>COSTO</b>
INTERNET	20
HOJAS	15
SUMINISTROS DE OFICINA	10
TRANSPORTE	70
<b>TOTAL</b>	<b>115</b>

SERVICIOS	COSTO
AGUA	15
ELECTRICIDAD	180
<b>TOTAL</b>	<b>195</b>

<b>COSTO TOTAL DE DESARROLLO</b>	<b>1121,67</b>
----------------------------------	----------------

### 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.

<b>ANEXO No 1 : COSTO DE MATERIA PRIMA ( \$ )</b>	
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
<b>ANEXO No 2 : COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA</b>	
NUMERO DE INGENIEROS	2
SUELDO POR HORA ( \$ )	5
<b>ANEXO No 3 : MATERIALES ( \$ )</b>	
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
<b>ANEXO No 4 : COSTOS INDIRECTOS(\$)</b>	
INTERNET	20
HOJAS	15
SUMINISTROS DE OFICINA	10
TRANSPORTE	70
<b>ANEXO No 5 : COSTOS DE SERVICIOS (\$)</b>	
AGUA	15
ELECTRICIDAD	180

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN DE PLANCHA 1,4 X 2,2</b>				
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>% UTILIZACIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
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
<b>TOTAL POR UNIDAD</b>				<b>6,38</b>
NÚMERO DE METROS				3,08
<b>TOTAL POR METRO</b>				<b>2,07</b>

<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>	<b>HORAS</b>	<b>TASA SALARIAL</b>	<b>TOTAL</b>
OBRERO	0,3	1,825	0,5475
<b>TOTAL</b>			<b>0,5475</b>
<b>TOTAL POR METRO</b>			<b>0,18</b>

<b>SERVICIOS</b>	<b>COSTO</b>	
AGUA	0,1	
ELECTRICIDAD	1,5	
<b>TOTAL</b>	<b>1,6</b>	
<b>TOTAL POR METRO</b>	<b>0,52</b>	
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN POR METRO</b>		<b>2,77</b>

## 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(mm<sup>2</sup>) de área transversal, y de 25mm en planchas no mayores a 1200x2400(mm<sup>2</sup>), 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	$\Delta t$	t <sub>t</sub>	$\Delta T$	Q(w)	$\Delta Q$
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	$\Delta t$	$t_t$	$\Delta T$	Q(w)	$\Delta Q$
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Δt</b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>ΔT</b>	<b>Q(w)</b>	<b>ΔQ</b>
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

							$k_{AI}$	<b>A</b>	<b>e</b>
							209,3	0,0098	0,011
<b>Tc</b>	<b>Tp</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b><math>\Delta t</math></b>	<b><math>t_i</math></b>	<b><math>\Delta T</math></b>	<b>Q(w)</b>	<b><math>\Delta Q</math></b>	<b>Abs(<math>\Delta Q</math>)</b>
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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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

<b>43</b>	215	681	325	0,015	0,0529	186,47	0,1482
<b>44</b>	220	685	328	0,015	0,0529	186,47	0,1482
<b>45</b>	225	689	332	0,015	0,0529	186,47	0,1482
<b>46</b>	230	692	336	0,015	0,0529	186,47	0,1482
<b>47</b>	235	696	339	0,015	0,0529	186,47	0,1482
<b>48</b>	240	699	342	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>49</b>	245	702	346	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>50</b>	250	706	349	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>51</b>	255	709	352	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>52</b>	260	712	355	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>53</b>	265	715	359	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>54</b>	270	718	362	0,015	0,0529	186,47	0,1483
<b>55</b>	275	721	365	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>56</b>	280	724	368	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>57</b>	285	727	370	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>58</b>	290	730	373	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>59</b>	295	732	376	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>60</b>	300	735	379	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>61</b>	305	738	381	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>62</b>	310	740	384	0,015	0,0529	186,47	0,1484
<b>63</b>	315	743	387	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>64</b>	320	745	389	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>65</b>	325	748	392	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>66</b>	330	750	394	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>67</b>	335	753	397	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>68</b>	340	755	399	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>69</b>	345	757	401	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>70</b>	350	760	404	0,015	0,0529	186,47	0,1485
<b>71</b>	355	762	406	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>72</b>	360	764	408	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>73</b>	365	767	411	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>74</b>	370	769	413	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>75</b>	375	771	415	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>76</b>	380	773	417	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>77</b>	385	775	419	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>78</b>	390	777	421	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>79</b>	395	779	423	0,015	0,0529	186,47	0,1486
<b>80</b>	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 (m <sup>2</sup> )	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

<b>43</b>	215	672	311	0,015	0,0529	186,47	0,1450
<b>44</b>	220	676	314	0,015	0,0529	186,47	0,1451
<b>45</b>	225	679	318	0,015	0,0529	186,47	0,1451
<b>46</b>	230	683	322	0,015	0,0529	186,47	0,1451
<b>47</b>	235	686	325	0,015	0,0529	186,47	0,1452
<b>48</b>	240	689	328	0,015	0,0529	186,47	0,1452
<b>49</b>	245	693	332	0,015	0,0529	186,47	0,1452
<b>50</b>	250	696	335	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>51</b>	255	699	338	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>52</b>	260	702	341	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>53</b>	265	705	344	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>54</b>	270	708	347	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>55</b>	275	711	350	0,015	0,0529	186,47	0,1465
<b>56</b>	280	714	353	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>57</b>	285	717	356	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>58</b>	290	719	359	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>59</b>	295	722	361	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>60</b>	300	725	364	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>61</b>	305	727	367	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>62</b>	310	730	369	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>63</b>	315	733	372	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>64</b>	320	735	374	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>65</b>	325	738	377	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>66</b>	330	740	379	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>67</b>	335	742	382	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>68</b>	340	745	384	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>69</b>	345	747	386	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>70</b>	350	749	389	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>71</b>	355	752	391	0,015	0,0529	186,47	0,1466
<b>72</b>	360	754	393	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>73</b>	365	756	395	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>74</b>	370	758	398	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>75</b>	375	760	400	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>76</b>	380	762	402	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>77</b>	385	764	404	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>78</b>	390	767	406	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>79</b>	395	769	408	0,015	0,0529	186,47	0,1467
<b>80</b>	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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

<b>43</b>	215	673	201	0,015	0,0529	186,47	0,1120
<b>44</b>	220	679	203	0,015	0,0529	186,47	0,1111
<b>45</b>	225	681	205	0,015	0,0529	186,47	0,1112
<b>46</b>	230	682	207	0,015	0,0529	186,47	0,1114
<b>47</b>	235	683	209	0,015	0,0529	186,47	0,1116
<b>48</b>	240	685	211	0,015	0,0529	186,47	0,1116
<b>49</b>	245	686	213	0,015	0,0529	186,47	0,1118
<b>50</b>	250	687	215	0,015	0,0529	186,47	0,1120
<b>51</b>	255	688	217	0,015	0,0529	186,47	0,1122
<b>52</b>	260	689	219	0,015	0,0529	186,47	0,1124
<b>53</b>	265	690	221	0,015	0,0529	186,47	0,1126
<b>54</b>	270	691	222	0,015	0,0529	186,47	0,1127
<b>55</b>	275	692	224	0,015	0,0529	186,47	0,1129
<b>56</b>	280	693	226	0,015	0,0529	186,47	0,1130
<b>57</b>	285	694	227	0,015	0,0529	186,47	0,1132
<b>58</b>	290	695	229	0,015	0,0529	186,47	0,1134
<b>59</b>	295	696	231	0,015	0,0529	186,47	0,1135
<b>60</b>	300	697	232	0,015	0,0529	186,47	0,1137
<b>61</b>	305	698	234	0,015	0,0529	186,47	0,1138
<b>62</b>	310	699	235	0,015	0,0529	186,47	0,1140
<b>63</b>	315	700	237	0,015	0,0529	186,47	0,1141
<b>64</b>	320	701	238	0,015	0,0529	186,47	0,1142
<b>65</b>	325	702	240	0,015	0,0529	186,47	0,1144
<b>66</b>	330	703	241	0,015	0,0529	186,47	0,1145
<b>67</b>	335	704	242	0,015	0,0529	186,47	0,1147
<b>68</b>	340	704	244	0,015	0,0529	186,47	0,1148
<b>69</b>	345	705	245	0,015	0,0529	186,47	0,1149
<b>70</b>	350	706	246	0,015	0,0529	186,47	0,1150
<b>71</b>	355	707	248	0,015	0,0529	186,47	0,1152
<b>72</b>	360	708	249	0,015	0,0529	186,47	0,1153
<b>73</b>	365	708	250	0,015	0,0529	186,47	0,1154
<b>74</b>	370	709	252	0,015	0,0529	186,47	0,1156
<b>75</b>	375	710	253	0,015	0,0529	186,47	0,1157
<b>76</b>	380	711	254	0,015	0,0529	186,47	0,1158
<b>77</b>	385	711	255	0,015	0,0529	186,47	0,1159
<b>78</b>	390	712	256	0,015	0,0529	186,47	0,1160
<b>79</b>	395	713	258	0,015	0,0529	186,47	0,1162
<b>80</b>	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 <sup>2</sup> )	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

<b>43</b>	215	666	198	0,015	0,0529	186,47	0,1119
<b>44</b>	220	671	201	0,015	0,0529	186,47	0,1119
<b>45</b>	225	673	203	0,015	0,0529	186,47	0,1122
<b>46</b>	230	674	205	0,015	0,0529	186,47	0,1127
<b>47</b>	235	674	207	0,015	0,0529	186,47	0,1129
<b>48</b>	240	675	209	0,015	0,0529	186,47	0,1132
<b>49</b>	245	676	211	0,015	0,0529	186,47	0,1134
<b>50</b>	250	677	213	0,015	0,0529	186,47	0,1136
<b>51</b>	255	678	215	0,015	0,0529	186,47	0,1141
<b>52</b>	260	679	216	0,015	0,0529	186,47	0,1143
<b>53</b>	265	680	218	0,015	0,0529	186,47	0,1145
<b>54</b>	270	681	220	0,015	0,0529	186,47	0,1147
<b>55</b>	275	682	222	0,015	0,0529	186,47	0,1150
<b>56</b>	280	683	224	0,015	0,0529	186,47	0,1152
<b>57</b>	285	684	225	0,015	0,0529	186,47	0,1154
<b>58</b>	290	684	227	0,015	0,0529	186,47	0,1156
<b>59</b>	295	685	228	0,015	0,0529	186,47	0,1158
<b>60</b>	300	686	230	0,015	0,0529	186,47	0,1160
<b>61</b>	305	687	232	0,015	0,0529	186,47	0,1162
<b>62</b>	310	688	233	0,015	0,0529	186,47	0,1163
<b>63</b>	315	688	235	0,015	0,0529	186,47	0,1165
<b>64</b>	320	689	236	0,015	0,0529	186,47	0,1167
<b>65</b>	325	690	238	0,015	0,0529	186,47	0,1169
<b>66</b>	330	691	239	0,015	0,0529	186,47	0,1171
<b>67</b>	335	691	241	0,015	0,0529	186,47	0,1173
<b>68</b>	340	692	242	0,015	0,0529	186,47	0,1174
<b>69</b>	345	693	243	0,015	0,0529	186,47	0,1176
<b>70</b>	350	694	245	0,015	0,0529	186,47	0,1178
<b>71</b>	355	694	246	0,015	0,0529	186,47	0,1180
<b>72</b>	360	695	247	0,015	0,0529	186,47	0,1181
<b>73</b>	365	696	249	0,015	0,0529	186,47	0,1183
<b>74</b>	370	696	250	0,015	0,0529	186,47	0,1185
<b>75</b>	375	697	251	0,015	0,0529	186,47	0,1186
<b>76</b>	380	698	253	0,015	0,0529	186,47	0,1188
<b>77</b>	385	698	254	0,015	0,0529	186,47	0,1189
<b>78</b>	390	699	255	0,015	0,0529	186,47	0,1191
<b>79</b>	395	700	256	0,015	0,0529	186,47	0,1193
<b>80</b>	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 <sup>2</sup> )	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

<b>43</b>	215	609	163	0,02	0,0529	186,47	0,1582
<b>44</b>	220	611	165	0,02	0,0529	186,47	0,1578
<b>45</b>	225	614	166	0,02	0,0529	186,47	0,1575
<b>46</b>	230	616	167	0,02	0,0529	186,47	0,1571
<b>47</b>	235	618	168	0,02	0,0529	186,47	0,1567
<b>48</b>	240	620	170	0,02	0,0529	186,47	0,1564
<b>49</b>	245	623	171	0,02	0,0529	186,47	0,1560
<b>50</b>	250	625	172	0,02	0,0529	186,47	0,1557
<b>51</b>	255	627	173	0,02	0,0529	186,47	0,1554
<b>52</b>	260	629	174	0,02	0,0529	186,47	0,1551
<b>53</b>	265	631	175	0,02	0,0529	186,47	0,1548
<b>54</b>	270	633	176	0,02	0,0529	186,47	0,1545
<b>55</b>	275	635	177	0,02	0,0529	186,47	0,1542
<b>56</b>	280	637	178	0,02	0,0529	186,47	0,1539
<b>57</b>	285	638	179	0,02	0,0529	186,47	0,1536
<b>58</b>	290	640	180	0,02	0,0529	186,47	0,1533
<b>59</b>	295	642	181	0,02	0,0529	186,47	0,1530
<b>60</b>	300	644	182	0,02	0,0529	186,47	0,1528
<b>61</b>	305	646	183	0,02	0,0529	186,47	0,1525
<b>62</b>	310	647	184	0,02	0,0529	186,47	0,1522
<b>63</b>	315	649	185	0,02	0,0529	186,47	0,1520
<b>64</b>	320	651	186	0,02	0,0529	186,47	0,1517
<b>65</b>	325	652	187	0,02	0,0529	186,47	0,1515
<b>66</b>	330	654	188	0,02	0,0529	186,47	0,1513
<b>67</b>	335	655	189	0,02	0,0529	186,47	0,1510
<b>68</b>	340	657	189	0,02	0,0529	186,47	0,1508
<b>69</b>	345	658	190	0,02	0,0529	186,47	0,1506
<b>70</b>	350	660	191	0,02	0,0529	186,47	0,1504
<b>71</b>	355	661	192	0,02	0,0529	186,47	0,1501
<b>72</b>	360	663	193	0,02	0,0529	186,47	0,1499
<b>73</b>	365	664	193	0,02	0,0529	186,47	0,1497
<b>74</b>	370	666	194	0,02	0,0529	186,47	0,1495
<b>75</b>	375	667	195	0,02	0,0529	186,47	0,1493
<b>76</b>	380	669	196	0,02	0,0529	186,47	0,1491
<b>77</b>	385	670	196	0,02	0,0529	186,47	0,1489
<b>78</b>	390	671	197	0,02	0,0529	186,47	0,1487
<b>79</b>	395	673	198	0,02	0,0529	186,47	0,1485
<b>80</b>	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 <sup>2</sup> )	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

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

Ensayo 9 Probeta 9 e=20mm

<b>Ord.</b>	<b>t (min)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>e (m)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΔQ (W)</b>	<b>k</b>
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

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

<b>Prueba 1</b>		
<b>Lo final (mm)</b>	<b>Volumen Final (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% compactación volumétrico</b>
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

<b>Prueba 2</b>		
<b>Lo final (mm)</b>	<b>Volumen Final (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% compactación volumétrico</b>
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

<b>Prueba 3</b>		
<b>Lo final (mm)</b>	<b>Volumen Final (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% compactación volumétrico</b>
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

<b>Prueba 4</b>		
<b>Lo final (mm)</b>	<b>Volumen Final (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% compactación volumétrico</b>
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

<b>Prueba 5</b>		
<b>Lo final (mm)</b>	<b>Volumen Final (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>% compactación volumétrico</b>
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

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

### Ensayo 2

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

### Ensayo 3

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

Ensayo 4

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

Ensayo 5

<b>Peso inicial</b>	<b>960,5</b>			
	Peso Molde	Peso con Molde	Peso sin Molde	% de composición
<b>Mayor a 2 mm</b>	433,5	465,5	32,0	3,33%
<b>Entre 0,3 mm y 2 mm</b>	374,5	850,5	476,0	49,56%
<b>Entre 0,15 mm y 0,3 mm</b>	347,0	615,5	268,5	27,95%
<b>Entre 0,075 mm y 0,15 mm</b>	438,0	495,5	57,5	5,99%
<b>Menor a 0,075 mm</b>	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 <sup>2</sup> )	MOR (Mpa)
<b>Prueba 1</b>	15	40,875	1,090
<b>Prueba 2</b>	15	42,750	1,140
<b>Prueba 3</b>	15	41,663	1,111
			1,114

<b>Resultados</b>	
Carga Aplicada (Kg)	
<b>Prueba 1</b>	4,2
<b>Prueba 2</b>	4,4
<b>Prueba 3</b>	4,3

Tracción Paralela

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

Tracción Paralela

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

Prueba de Recuperación de Humedad

	<b>Masa inicial g</b>	<b>Masa Final g</b>	<b>C %</b>
<b>Prueba 1</b>	100	198	98,00%
<b>Prueba 2</b>	103	202	96,12%
<b>Prueba 3</b>	102	202	98,04%
			97,39%