

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



**Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos  
fabricados con polvo de la estopa de coco**

PRESENTADO POR

**PEDRO EDUARDO CHÁVEZ HERNÁNDEZ  
MARLON VALENTIN LÓPEZ SÁNCHEZ**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2008.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :  
**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :  
**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :  
**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :  
**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

DIRECTOR :  
**ING. JUAN ANTONIO FLORES DÍAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO MECANICO**

Título :

**Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos  
fabricados con polvo de la estopa de coco**

Presentado por :

**PEDRO EDUARDO CHÁVEZ HERNÁNDEZ  
MARLON VALENTIN LÓPEZ SÁNCHEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

**Ing. MSc LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY**

San Salvador, Noviembre de 2008

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**Ing. MSc LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY**

## **DEDICATORIA**

A Dios todo poderoso, por darnos la sabiduría necesaria para llegar hasta el final de este sendero.

A nuestros padres, familiares y amigos, por su constante apoyo y sobre todo por su comprensión.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos en gran manera a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron al buen desarrollo de este trabajo de graduación y sobre todo a aquellos que nos animaron a seguir adelante.

Al Ing. Alejandro Monroy por su valiosa ayuda, brindándonos su valiosa experiencia en el manejo y extracción de la fibra y polvo de la estopa de coco.

Al Lic. Tomas Soriano, por su constante apoyo en la realización del ensayo de conductividad térmica.

A la Ing. Leyla Jiménez, nuestra asesora, por su valioso apoyo en el desarrollo de este trabajo.

## INTRODUCCION

Uno de los problemas en que se encuentra la industria en general, es el costo de materias primas e insumos para la elaboración de sus productos, la cual en muchos casos afecta de manera directa tanto al medio ambiente como a la sociedad en general, tal es el caso cuando el mal manejo y disposición inadecuada de los clasificados hasta ahora desechos del coco pudiesen ser utilizados con fines orientados a la industria.

Otro factor a mencionar es que con el transcurrir del tiempo se incrementan dichos costos e insumos debido a la escasez o a la alta demanda de los mismos por lo que es necesario buscar alternativas ingenieriles al problema utilizando desechos de procesos de transformación que por el momento solo generan contaminación ambiental.

Las alcaldías normalmente tienen que pagar a los botadero de basura (Como a la empresa MIDES) un estimado de \$15.00 por tonelada<sup>1</sup>, el poder disminuir la cantidad de toneladas botadas resulta, primero en un ahorro para la alcaldía y luego el no saturar los pocos botaderos disponibles e incrementar el grado de polución del país.

Dentro de los desechos agroindustriales, uno que se encuentra con bastante frecuencia es la estopa de coco (cáscara de coco), este ocupa mucho espacio y se descompone a un ritmo muy lento (más de 20 años en descomponerse), así que, posibilita encontrarle una utilidad y nuevas aplicaciones a este, redundando en beneficio para el medio ambiente y posibilita la generación de una industria que explote este recurso actualmente desaprovechado.

---

<sup>1</sup> Tomado de La Prensa Gráfica del 4 de Octubre del 2006.

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos, fabricados a base de polvo de estopa de coco.

El trabajo se ha dividido en tres etapas las cuales comprenden:

Etapa 1: Consiste en una recopilación bibliográfica de todos los conceptos a utilizar en el desarrollo del trabajo. Tiene como objetivo principal, aclarar los conceptos básicos y definir adecuadamente los términos a utilizar.

Etapa 2: En esta etapa se diseñan los procedimientos a utilizar en el desarrollo de los ensayos a realizar, utilizando estos procedimientos, se desarrollan los ensayos definidos.

Etapa 3: Esta etapa consiste en el análisis de los resultados obtenidos, estudiar la tendencia las propiedades ensayadas. Se determina, como varía la Conductividad Térmica, la Resistencia a la Compactación y la Densidad Aparente; en función de la compactación y el porcentaje de humedad del polvo con el que se elabore la probeta.

## OBJETIVOS

### *Objetivo General:*

- Evaluar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco en relación a la presión de compactación y el porcentaje de humedad del polvo. Analizar la utilización del polvo de coco en la fabricación de aislantes térmicos.

### *Objetivos específicos:*

- Recopilar información sobre la elaboración de aislantes térmicos a base de fibras vegetales.
- Determinar propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco, para tres diferentes presiones de compactación y porcentajes de humedad del polvo de coco.
- Analizar comparativamente los resultados y estudiar el efecto de la presión de compactación y el porcentaje de humedad del polvo de coco en las propiedades físicas y mecánicas de los aislantes térmicos.



## INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	i
OBJETIVOS.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE FIGURAS UTILIZADAS.....	vii
INDICE DE TABLAS UTILIZADAS.....	ix
CAPITULO 1: MARCO DE REFERENCIA.....	1
1.0 INTRODUCCION.....	1
1.1 APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL COCOTERO.....	2
1.1.1 DESCRIPCION BOTANICA DEL COCOTERO.....	4
1.1.2 LA INDUSTRIA DE LA FIBRA DE COCO .....	6
1.2 AISLANTES TERMICOS.....	8
1.2.1 PROPIEDADES DE LOS AISLANTES TÉRMICOS.....	10
1.2.1.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	10
1.2.1.2 DENSIDAD APARENTE.....	12
1.2.1.3 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.....	13
1.2.1.4 ABSORCIÓN DE AGUA POR VOLUMEN.....	15
1.2.1.5 HUMEDAD ESPECÍFICA O RELACIÓN DE HUMEDAD.....	15
1.2.1.6 OTRAS PROPIEDADES.....	15
1.2.2 TIPOS DE AISLANTES TRADICIONALES.....	16
1.2.2.1 FIBRA DE VIDRIO.....	16
1.2.2.2 LANA MINERAL.....	18
1.2.2.3 LANA ROCA.....	19

1.2.2.5 ESPUMA CELULÓSICA.....	20
1.2.2.6 ESPUMA DE POLIETILENO .....	20
1.2.2.7 ESPUMA DE POLIURETANO .....	20
1.2.2.8 ESPUMA ELASTOMÉRICA.....	21
1.3 FIBRAS VEGETALES .....	22
1.3.1 CASCARILLA DE ARROZ.....	22
1.3.2 FIBRAS DE BANANO .....	23
1.3.3 FIBRA DE COCO.....	24
CAPITULO 2: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	25
2.0 INTRODUCCION.....	25
2.1 EXTRACCION DEL POLVO DE LA ESTOPA DE COCO.....	25
2.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO .....	27
2.2.1 MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	30
2.2.1.1 EQUIPO.....	30
2.2.1.2 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS .....	33
2.2.1.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....	34
2.2.2 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	36
2.2.2.1 EQUIPO .....	36
2.2.2.2 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS.....	37
2.2.2.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....	39
2.2.3 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE .....	39
CAPITULO 3: RESULTADOS.....	40
3.0 INTRODUCCION.....	40
3.1 ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TERMICA.....	40

3.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	49
3.3 ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE .....	50
CAPITULO 4: DISCUSION DE RESULTADOS .....	52
4.0 INTRODUCCION .....	52
4.1 COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA .....	52
4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	56
4.3 DENSIDAD APARENTE.....	57
CONCLUSIONES .....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	60
ANEXOS.....	61

## INDICE DE FIGURAS UTILIZADAS

FIGURA 1 EL COCOTERO.....	3
FIGURA 2 PRINCIPALES PRODUCTOS DERIVADOS DEL COCOTERO.....	4
FIGURA 3 FRUTO DEL COCOTERO.....	6
FIGURA 4 APARIENCIA DEL POLVO DE COCO.....	8
FIGURA 5 AISLANTES TÉRMICOS TÍPICOS.....	9
FIGURA 6 FORMAS TÍPICAS DE LOS AISLANTES TÉRMICOS.....	10
FIGURA 7 EFECTO DE LA POROSIDAD EN LA DENSIDAD APARENTE.....	13
FIGURA 8 FIBRA DE VIDRIO.....	17
FIGURA 9 PLACAS DE LANA MINERAL.....	19
FIGURA 10 FIBRA DE COCO.....	24
FIGURA 11 LAVADO Y EXPOSICIÓN AL SOL DEL POLVO DE COCO.....	26
FIGURA 12 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE LA HUMEDAD.....	28
FIGURA 13 CIRCUITO DEL EQUIPO SONDA AGUJA, PARA LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	30
FIGURA 14 MONTAJE DEL EQUIPO PARA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	31
FIGURA 15 SONDA TIPO AGUJA CONECTADA A UN TERMÓMETRO DIGITAL.....	32
FIGURA 16 HERRAMIENTA PARA COMPACTAR MANUALMENTE LAS PROBETAS.....	32
FIGURA 17 MÁQUINA HUMBOLDT PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	37
FIGURA 18 COMPACTACIÓN DE LA PROBETA PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	38

FIGURA 19 MÁQUINA TINIUS OLSEN EFECTUANDO COMPRESIÓN DE PROBETAS.....	38
FIGURA 20 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. HUMEDAD DEL 100%.....	43
FIGURA 21 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. HUMEDAD DE 96%.....	44
FIGURA 22 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. HUMEDAD DE 92%.....	45
FIGURA 23 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. COMPACTACIÓN DE 6.44%.....	46
FIGURA 24 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. COMPACTACIÓN DE 12.89%.....	47
FIGURA 25 GRÁFICO COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA VERSUS PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN. COMPACTACIÓN DE 19.44%.....	48
FIGURA 26. DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA DETERMINAR DENSIDAD.....	50
FIGURA 27. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN PARA 92%, 96% Y 100% HUMEDAD.....	54
FIGURA 28. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE HUMEDAD PARA 6.44%, 12.89% Y 19.44% COMPACTACIÓN.....	55
FIGURA 29 DENSIDAD APARENTE VERSUS CARGA DE COMPACTACIÓN.....	57

## INDICE DE TABLAS UTILIZADAS

TABLA 1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES A TEMPERATURA AMBIENTE.....	11
TABLA 2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y AISLANTES COMERCIALES.....	23
TABLA 3 CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS.....	29
TABLA 4 PROPORCIÓN DE MASAS DE POLVO DE COCO Y AGUA.....	33
TABLA 5 FORMATO DE HOJA DE REGISTRO PARA ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	35
TABLA 6 FORMATO DE HOJA DE PARA REGISTRO DE LA MEDICIÓN DE DENSIDAD APARENTE.....	39
TABLA 7 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD.....	41
TABLA 8 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	49
TABLA 8 LONGITUDES DE LOS LADOS DE LA PROBETA.....	51
TABLA 9 RESUMEN DE DENSIDADES APARENTES DE LAS MUESTRAS.....	51
TABLA 10 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MATERIALES SELECCIONADOS.....	56

## **CAPITULO 1: MARCO DE REFERENCIA**

### **1.0 INTRODUCCION**

En la industria a nivel mundial, el punto con mayor relevancia es el suministro de las materias primas, y este determina en gran manera el costo de un producto determinado, el conseguir materias primas a bajo costo significa en muchos de los casos un precio competitivo. En muchos de los casos además, el volumen de materia prima disponible determina el volumen de la producción.

En la mayoría de las industrias, la materia prima se obtiene de los recursos que la tierra produce, muchos de esos recursos no son renovables y poco a poco van desapareciendo, causando un fuerte impacto, tanto ambiental como económico. Esta situación obliga a buscar alternativas con materiales que sean renovables y que no causen mayor deterioro del medio ambiente.

Algunas industrias desarrollan estudios para evaluar la incorporación de materiales, residuos de otros procesos de transformación y considerados como desecho, en sus procesos productivos y de esa forma combatir el desabastecimiento de materia prima. En China, por ejemplo, la escasez de la madera como materia prima ha llevado a la incorporación de las fibras de tallos de las plantas de arroz y trigo en la fabricación de tableros aglomerados, por lo que este país sigue desarrollando estudios para la incorporación de otros insumos en sus procesos.

A nivel local, uno de los desechos con potencial para el desarrollo de nuevos productos es la cáscara del coco. El cultivo del cocotero alcanza 5 676 manzanas, siendo el área más extensa de frutales cultivados en El Salvador y cuenta con una agroindustria relativamente desarrollada, en comparación con las demás frutas. [1]

De acuerdo a datos del MAG<sup>1</sup>, la producción anual de coco es 48 409.87 TM anuales, la fibra representa el 10% de la cáscara, por lo que la cantidad de fibra puede estimarse en 4 841 TM, lo cual asegura la disponibilidad de la materia prima para la industrialización de este subproducto.

### **1.1 APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL COCOTERO**

El cocotero (*cocus nucifera L*) es la más importante de todas las palmeras, su fruto, hojas y madera proporcionan a muchos miles de pobladores rurales, alimento, bebidas, combustible y alojamiento.

El origen de esta planta es desconocido, para algunos botánicos es de origen asiático y para otros del Caribe. Sin tomar en cuenta su origen, los cocoteros se han expandido a través de muchas de las zonas tropicales del mundo, ayudado probablemente en muchos casos por el factor humano. (Figura 1)

---

<sup>1</sup> Ministerio de Agricultura y Ganadería





Figura 1: El Cocotero.

Siendo los residuos de coco un potencial de recursos ociosos o mal aprovechados, su inclusión en el horizonte de los negocios puede resultar en actividades que proporcionen ganancias a través de la creación de nuevos productos con valor agregado y aunque el objetivo sea económico, el sentido social surge con fuerza extendiéndose a largo plazo, en el que estará contribuyendo para la mejora de la calidad de vida de la sociedad, debido a la reducción progresiva tanto del uso de los recursos como de los impactos ambientales.

Del coco no se pierde nada, los desechos de coco incluyen cáscaras frescas, conchas de coco y desechos de la industria de la estopa de coco. Muestra de productos fabricados a partir del coco se ilustran en la figura 2.

En relación a su comercialización, los cinco productos comercialmente más importantes a nivel mundial son:

- Coco entero (verde o maduro)
- Copra (pulpa deshidratada)
- Aceite de coco
- Torta de coco (residuo obtenido de la extracción del aceite)
- Fibra y polvo de coco

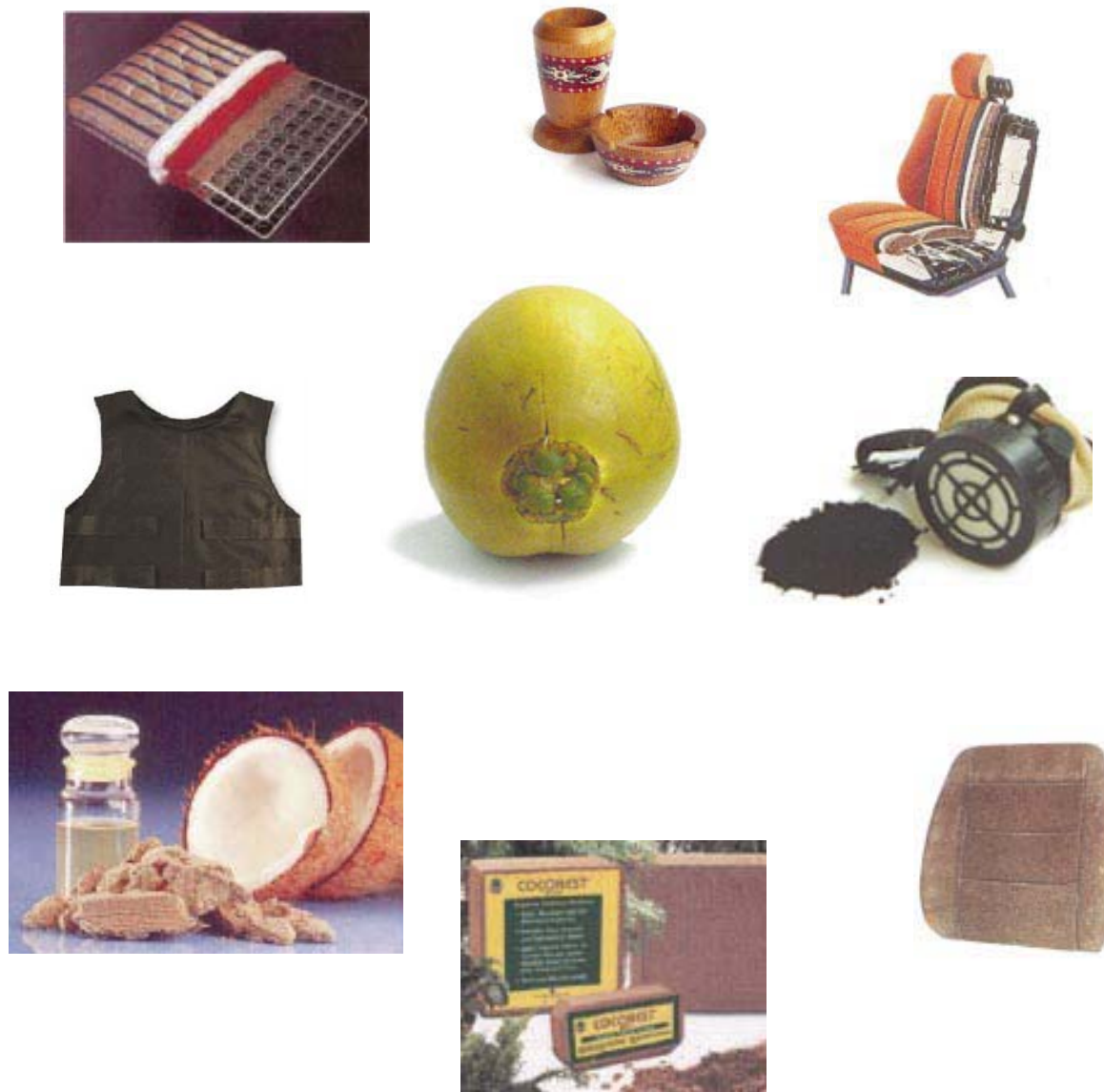


Figura 2. Principales productos derivados del cocotero

### 1.1.1 Descripción botánica del cocotero

El cocotero pertenece a la familia Palmácea. Existen diferentes especies de esta monocotiledónea y su fruto varía de color, forma, tamaño, etc....

En general, un coco maduro pesa cerca de 1.0 a 1.5 kg y consiste de 6 partes descritas a continuación:

- a) **Raíz:** el coco posee raíces delgadas, largas y en gran cantidad, la mayoría se dirigen en busca del agua de la capa freática. Las radicales están situadas en una zona superficial, tienen un papel de absorción de minerales y no llevan pelos absorbentes.
- b) **Tallo:** es un espite no ramificado. En su extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema Terminal que posee la planta. La inflorescencia es la única ramificación del tallo. El crecimiento en altura depende de las condiciones ecológicas y de la edad de la planta pero pueden alcanzar los 30 metros de altura.
- c) **Hojas:** es de tipo pinnada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continúa un raquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos. El largo de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta. Una planta adulta emite de 12 a 14 hojas por año.
- d) **Inflorescencia:** son paniculadas axilares protegidas por una bráctea llamada espada. La espada se desarrolla en 3 o 4 meses, después se abre y libera las espigas. Cada espiga posee flores masculinas en los dos tercios terminales y femeninas en el tercio basal.
- e) **Fruto:** es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra, ver figura 3. Más al

interior se encuentra el endocarpo que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido, también conocido como agua de coco.

- f) **Embrión:** se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo. Es la semilla germinativa envuelta por el albumen sólido.

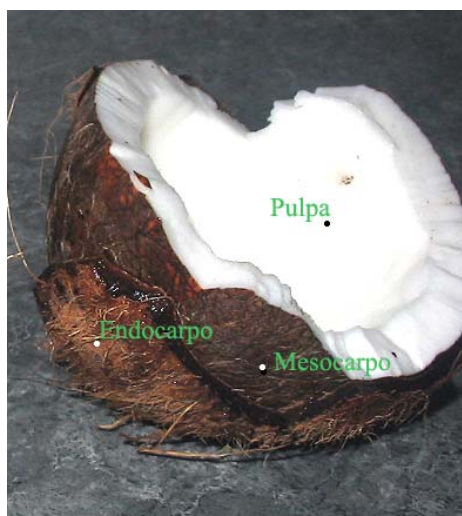


Figura 3. Fruto del cocotero

### 1.1.2 La industria de la fibra de coco

El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático mundial ha producido una aceleración en la transición hacia una economía sostenible y más inocua para el medio ambiente. Esta transición se realiza, principalmente, por el cambio en la utilización de cultivos agrícolas de alimentos a energía y el traspaso en la utilización de petroquímicos a recursos renovables, como por ejemplo cultivos no alimentarios. Como recurso renovable de importancia se prevé que las fibras lignocelulósicas derivadas de las plantas tengan una función importante en esa transición.

Se ha mencionado anteriormente que la cáscara de coco es el mesocarpio fibroso que está entre el exocarpio duro ó cubierta exterior, el endocarpio o envoltura dura, constituyendo aproximadamente el 53 % del peso total del fruto maduro.

El valor principal de la cáscara de coco radica en su contenido de fibra. Pertenece a la familia de las fibras duras como el henequén y puede definirse de forma cilíndrica, pared delgada, extremos redondos; tiene pequeños vasos cementados y largos, vasos anulares en espiral.

De acuerdo a estudios realizados por el Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, la composición química promedio de la estopa de coco es la siguiente:

Lignina	42.5%
Celulosa	32.3%
Pentanososa	14.7%
Grasas saponificables	5.1%
Grasa insaponificables	0.7%
Cenizas	3.5%
Proteínas	1.2%

Los principales componentes son la celulosa y lignina. Esta última, provee la resistencia y rigidez a la fibra. Además exhibe baja conductividad al calor, resistencia al impacto, a las bacterias y al agua. Su resistencia y durabilidad lo hace un material adecuado para la construcción para utilizarlo como material de aislamiento térmico y acústico.

La médula que aglomera las fibras es un material suave similar al corcho y es químicamente reactiva mientras se mantiene seca, volviéndose inerte al ser empapada con agua. La apariencia del polvo de coco se muestra en la figura 4.



Figura 4. Apariencia del polvo de coco

## **1.2 AISLANTES TERMICOS.**

Un aislante térmico es un material usado en 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.

Son muy utilizados en la industria de la construcción para fabricar casas más confortables sin el uso de mucha energía (ver figura 5); entre los aislantes más utilizados se encuentran: poliuretanos, poliestireno, lana mineral, corcho, tabla aglomerada, tabla de madera, bloques de concreto y ladrillo.

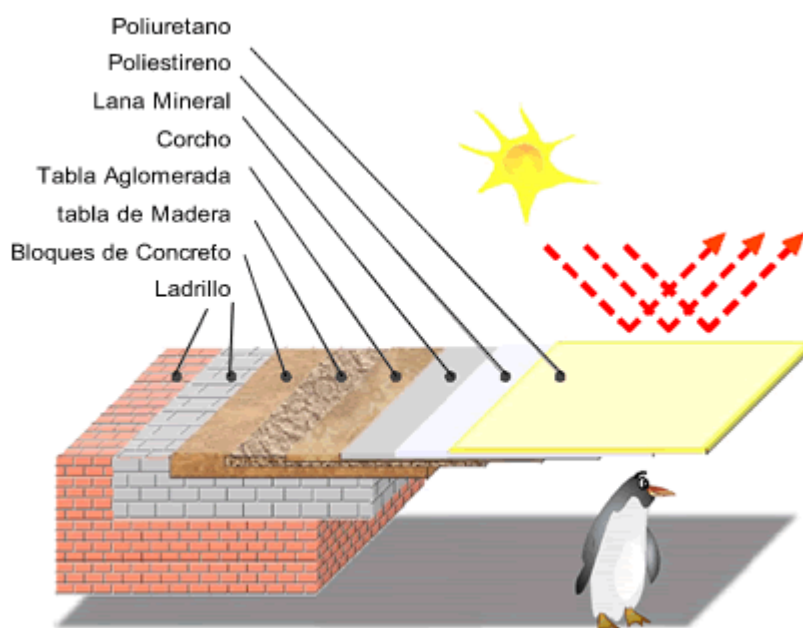


Figura 5: Aislantes térmicos típicos

Gracias a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación, el material más resistente al paso de calor es el aire y algunos otros gases. Sin embargo, el fenómeno de convección que se origina en las cámaras de aire aumenta sensiblemente su capacidad de transferencia térmica.

Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico, materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire confinado en el interior de celdillas más o menos herméticas. También suelen utilizarse materiales combinados de sólidos y gases: fibra de vidrio, lana de roca, vidrio expandido, poliestireno expandido, espuma de poliuretano, aglomerados de corcho, etc. En la mayoría de los casos el gas encerrado es el aire. Se fabrican en gran cantidad de formas, de modo tal que se adapten a la forma del material que se planea aislar, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Formas típicas de los aislantes térmicos

### 1.2.1 Propiedades de los aislantes térmicos.

La propiedad básica de un aislante térmico, es la conductividad térmica, ya que ésta determina si un material restringe el flujo de calor en la cantidad deseada, pero en muchos de los casos, son necesarias además otras propiedades para interactuar con la aplicación específica en la que se seleccione.

#### 1.2.1.1 Conductividad térmica

La conductividad térmica  $k$  es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Es una propiedad sensible a la microestructura y se relaciona con el calor que se transfiere cada segundo a través de un plano dado del área  $A$  cuando



existe un gradiente de temperatura. [2] .Se expresa en  $W/m \cdot ^\circ C$  o en  $W/m \cdot K$  y entre más grande es este valor, significa que el material conduce con mucha más facilidad la energía térmica, y si por lo contrario, el valor se hace más pequeño, significa que este material conduce con dificultad la energía térmica. Algunos valores típicos de conductividad se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Conductividad térmica de materiales a temperatura ambiente

Material	$k$ ( $W \cdot m^{-1} K^{-1}$ )
Vapor de agua	0.025
Aire	0.026
Agua líquida	0.61
Mercurio	8.4
Espuma de poliestireno	0.036
Papel	0.13
Vidrio	0.35 – 1.3
Hielo	2.2
Plomo	34
Acero	45
Aluminio	204
Cobre	380

A los malos conductores de calor, generalmente se les denomina, aislantes térmicos, y presentan valores por debajo de  $1 \text{ W/m.K}$ .

De acuerdo con los valores de la tabla 1, el aire es uno de los mejores aislantes térmicos, con un  $k$  de  $0.026 \text{ W/m.K}$

### **1.2.1.2 Densidad aparente**

Es la relación entre el peso de la muestra en kilogramos y su volumen aparente en metros cúbicos. El fabricante de aislantes térmicos debería indicar la densidad aparente de cada uno de los tipos de productos fabricados, relacionándolos con la conductividad térmica en cada tipo diferente, para cada espesor comercializado.

En el cálculo de la densidad aparente, no se considera, por ejemplo la porosidad del material y el volumen de estos poros ya incluido en el volumen total, lo cual significa, que la densidad real del material siempre será mayor que la densidad aparente, ya que el volumen real de material es menor que el aparente, por el efecto de incremento de volumen que los poros implican.

Además, entre más grande sea la porosidad del material, mucho mayor será la densidad aparente, comportamiento que puede apreciarse en la figura 7.

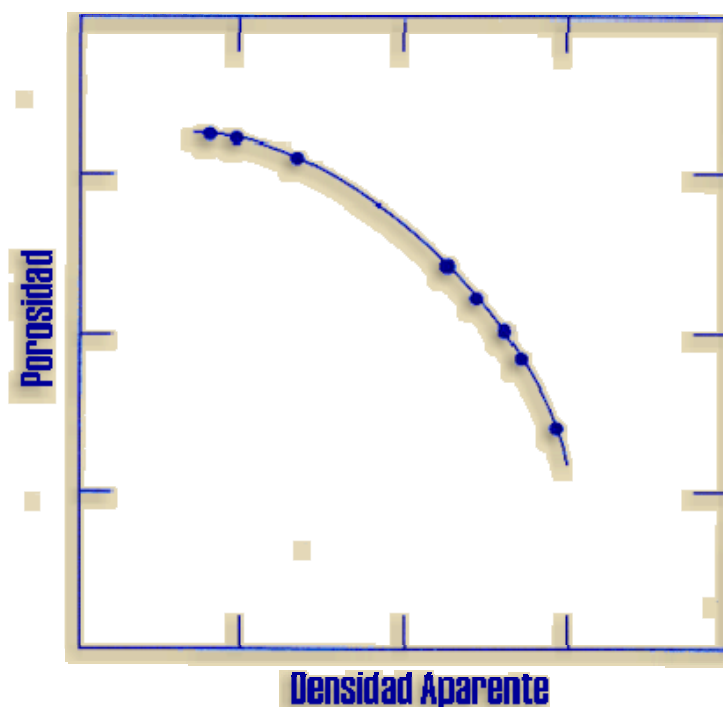


Figura 7. Efecto de la porosidad en la densidad aparente.

### 1.2.1.3 Permeabilidad al vapor de agua

Es la cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material de espesor dado por unidad de área, unidad de tiempo y de diferencia de presión parcial de vapor de agua. Normalmente se expresa en  $\text{g cm/m}^2 \text{ mmHg día}$  o  $\text{g m/MN s}$  en el SI.

Teniendo en cuenta la importancia que el contenido de humedad de un material aislante tiene en otras propiedades como la conductividad térmica y la densidad, esta propiedad deberá indicarse en los materiales aislantes, para cada tipo, con indicación del método de ensayo que para cada tipo de material establezca la Comisión de Normas correspondiente.

También podrá indicarse su valor inverso, que es la resistividad al vapor. Para materiales aislantes comercializados en espesores fijos y determinados, es conveniente incluir la resistencia a la difusión al vapor expresada en  $\text{g/m}^2 \text{ mmHg día}$  o  $\text{g/MN s}$  en el SI o, su inversa, la permeancia.

En materiales compuestos que llevan incorporada una lámina o barrera contra el vapor se deberá indicar el valor de la resistencia al vapor o permeancia del conjunto, debiendo tomar en cuenta que tal resistencia es la propia del material sin incluir las juntas que eventualmente pueda tener el aislamiento.

Para determinar el valor, normalmente se utiliza el Método del desecador, que consiste en preparar unas muestras que se sellarán adecuadamente y que hacen de barrera de vapor entre ambientes con distinta humedad relativa. En el interior se pone un desecante apropiado que lo mantiene al 0% de humedad relativa mientras que en la cámara se controla una humedad del 50% y una temperatura de 23 °C, lo que crea una diferencia de presión de 1400 Pa. Pasado un tiempo de estabilización, las probetas se irán pesando periódicamente para determinar la cantidad de vapor de agua transferida y absorbida por el desecador.

Una vez obtenido el aumento de peso y conocida la superficie expuesta y el espesor, se determina la permeabilidad.

#### **1.2.1.4 Absorción de agua por volumen**

Esta propiedad, íntimamente ligada a la conductividad térmica y densidad, se define por el peso de agua que absorbe una probeta de un material aislante sumergido en agua, durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. También podrá indicarse en peso o en porcentaje sobre el peso de la probeta tipo.

#### **1.2.1.5 Humedad específica o relación de humedad**

La humedad es un fenómeno natural que se presenta a nivel molecular y se encuentra básicamente relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en una determinada sustancia, la cual puede estar en estado sólido o gaseoso.

La humedad específica es la razón entre la masa de agua presente en la muestra (en kg) y la masa de sustancia seca presente en la mezcla, según la ecuación 1:

$$\text{relación de humedad} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sustancia seca}} \quad (\text{ecuación 1})$$

#### **1.2.1.6 Otras propiedades**

Los fabricantes deberían indicar además otras propiedades que puedan interesar en función del empleo y condiciones en que se vaya a colocar el material aislante, como:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Envejecimiento ante la humedad, el calor y las radiaciones
- Deformación bajo carga (Módulo de elasticidad)
- Coeficiente de dilatación lineal
- Comportamiento frente a parásitos
- Comportamiento frente a agentes químicos
- Comportamiento frente al fuego

## **1.2.2 Tipos de aislantes tradicionales**

### **1.2.2.1 Fibra de vidrio**

La fibra de vidrio es un producto natural, inorgánico y mineral, que por su naturaleza, características técnicas y prestaciones, es indispensable en cualquier proyecto, aportando notorios y rentables beneficios al mejorar ostensiblemente el confort térmico en todo tipo de cubiertas. (Ver figura 8)

Gracias a su estructura elástica y fibrosa, la fibra de vidrio presenta valores inmejorables de absorción y amortiguación acústica. El ruido ya sea ambiental,

industrial o proveniente de otros locales, es uno de los mas acusados factores de falta de confort.



Figura 8. Fibra de vidrio

El uso de fibra de vidrio permite:

- Acondicionar y aislar acústicamente los locales.
- Proteger a las personas de las agresiones acústicas.
- Seguridad frente al fuego.

Debido a la naturaleza inorgánica de la fibra de vidrio, ésta resulta de carácter incombustible y mantiene sus excelentes propiedades térmicas y acústicas incluso a elevadas temperaturas.

La inclusión de fibra de vidrio en los elementos constructivos permite:

- Evitar la formación de incendios en los aislantes.

- Evitar la transmisión de incendios por el aislante.
- Proteger al edificio frente a la acción del fuego.

El entrelazado de fibras le confieren un elevado poder aislante térmico, por lo que el uso de la fibra de vidrio reduce las necesidades de climatización en cualquier época del año, consiguiendo:

- Ahorro de energía.
- Ahorro económico.
- Confort térmico.
- Contribuir a la ecología.
- Reducir la emisión de contaminantes atmosféricos.

#### **1.2.2.2 Lana Mineral**

Este material se asemeja tanto en apariencia como en su colocación a la lana de vidrio, ver figura 9, y se diferencia en que la lana mineral es resistente al fuego porque presenta mayor punto de fusión que la lana de vidrio.

La presentación comercial de la lana de vidrio y la mineral es en manta o en paneles rígidos, aglomerados con resinas. La lana mineral también es un excelente material para aislamiento acústico en construcción liviana, de uso en pisos, techos y paredes.



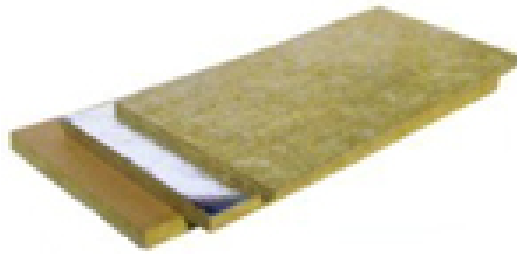


Figura 9. Placas de lana mineral

### **1.2.2.3 Lana Roca**

Es una lana mineral elaborada a partir de rocas diabásicas (rocas basálticas), obteniéndose un producto de propiedades complementarias a la lana de vidrio. Es un producto especialmente indicado para los aislamientos térmicos en la industria en aplicaciones de altas temperaturas.

La lana de roca se obtiene fibrando por centrifugación el material, controlando en el proceso los contenidos de sílice y de óxidos metálicos.

### **1.2.2.4 Espuma de poliestireno.**

El material de espuma de poliestireno, es un aislante inerte derivado del petróleo y del gas natural. Debido a su combustibilidad se le incorporan retardantes de llama denominándose difícilmente inflamable.

Posee un buen comportamiento térmico para densidades comprendidas en un rango de 7-10 Kg/m<sup>3</sup> a 30 Kg/m<sup>3</sup> y su coeficiente de conductividad varía de 0,041 a 0,032 W/m·°C

Es fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo cual se lo debe cubrir. Posee un pésimo comportamiento acústico. Es muy permeable al vapor de agua y posee una alta resistencia a la absorción de agua en estado líquido.

#### **1.2.2.5 Espuma celulósica.**

Este material posee un aceptable poder aislante térmico y es buen fonoabsorbente, 100% ignífugo de color blanco y rapidez de colocación. El coeficiente de conductividad promedio de 0,03 W/m·°C

#### **1.2.2.6 Espuma de Polietileno.**

Se caracteriza por ser económica, hidrófuga y fácil de colocar. Su rendimiento térmico es medio y se comercializa en color blanco o color aluminio.

#### **1.2.2.7 Espuma de Poliuretano.**

La espuma de poliuretano es conocida por ser un material aislante de muy buen rendimiento, por consiguiente se pueden aplicar bajos espesores obteniendo

rendimientos similares que otros materiales en espesores mayores. Tiene excelentes propiedades como aislante acústico. Su desventaja radica en que genera, a partir del "Punto de humeo" ácido cianhídrico, el cual es extraordinariamente tóxico para humanos.

Entre las propiedades de la espuma de poliuretano, se destacan las siguientes:

- Densidad: 45-60 kg/m<sup>3</sup>
- Fuerza de compresión: 200 N/mm<sup>2</sup>
- Conductividad térmica: 0,021 W/m·K
- Temperatura de trabajo: -50 a 80 °C
- Humedad: 0 % a 100%

#### **1.2.2.8 Espuma elastomérica**

Es un aislante con un excelente rendimiento a baja y media temperatura con fácil instalación, reduciendo al máximo los costos de mano de obra. Posee en su estructura, una barrera de vapor y un comportamiento totalmente ignífugo. El coeficiente de conductividad es de 0,029 kcal/h·m·°C y la temperatura de trabajo se encuentra en el rango de -40°C a 115 °C .

### **1.3 FIBRAS VEGETALES.**

Las fibras vegetales presentan ventajas productivas (disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento), físicas (baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural, entre otras), bioquímicas (inocuidad, biodegradabilidad), entre otras. Las ventajas productivas, físicas, térmicas, ambientales y bioquímicas de las fibras naturales propician su utilización como una alternativa para impulsar el uso racional de los recursos naturales y la preservación ambiental.

#### **1.3.1 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, su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar en la tabla 2

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. [3]

Tabla 2. Conductividad térmica de la cascarilla de arroz y aislantes comerciales

Material	$k$ (W/m.K)
Lana mineral	0.0303
Poliestireno expandido	0.0330
<b>Cascarilla de arroz</b>	<b>0.0360</b>
Fibra de vidrio	0.0380
<b>Corcho aglomerado</b>	<b>0.0450</b>

### 1.3.2 Fibras de banano.

Son largas y de origen vegetal; se obtienen a partir del vástago del banano. Con ellas es posible elaborar pulpa celulósica, por lo que puede contribuir a reducir la explotación maderera.

### 1.3.3 Fibra de coco

La fibra de la cáscara de coco (figura 10) presenta características técnicas que le garantizan ventajas para la utilización industrial, entre las cuales pueden mencionarse:

- No produce hongos ni se pudre
- Conductividad térmica: 0,043 a 0,045 W/m K
- Es inodora
- resistencia a la humedad
- no es atacada por roedores



Figura 10. Fibra de coco

## CAPITULO 2: DESARROLLO EXPERIMENTAL

### **2.0 INTRODUCCION**

En este capítulo se describen los procedimientos experimentales implementados durante el desarrollo de la investigación. Comprende desde la extracción del polvo de la estopa de coco, preparación de la mezcla, elaboración de probetas, hasta la ejecución de la medición de conductividad térmica, la resistencia a la compresión y densidad aparente de las probetas. En algunos casos se incluyen resultados iniciales, necesarios para definir posteriores procedimientos metodológicos.

### **2.1 EXTRACCION DEL POLVO DE LA ESTOPA DE COCO**

El polvo de coco se obtiene durante el proceso mecánico de separación de la fibra. Al extraer la fibra, se desprende el aglomerante de la fibra, denominado “polvo de coco” el cual se origina en grandes cantidades y es separado por medio de un tamiz.

A continuación, el polvo de coco es lavado con agua para reducir el nivel de conductividad eléctrica y controlar el pH depositándolo en espacios abiertos a la exposición al sol. (Ver figura 11)



Figura 11. Lavado y exposición al sol del polvo de coco

El polvo de coco se clasifica atendiendo a su granulometría; utilizando para el desarrollo de la investigación una criba final para tamaño de partícula de 2 milímetros.

El polvo de la estopa de coco utilizado en los diferentes ensayos fue proporcionado por la empresa CADESAL.

Una vez obtenido el polvo de coco, se procedió a prepararlo, mezclándolo con agua en proporciones definidas previamente, para la fabricación de las probetas.



## **2.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

Las variables dependientes a evaluar durante el desarrollo experimental del proyecto son: densidad aparente, conductividad térmica y la resistencia a la compresión; las variables independiente son el grado de compresión aplicado a las probetas y la relación de humedad.

Las probetas a utilizar en los distintos ensayos se caracterizaron en función de tres grados de compactación y tres valores de relación de humedad, como se presenta en la tabla 3.

Las probetas se fabricaron atendiendo a las características de cada ensayo, de acuerdo con las especificaciones de la tabla 3 y se describirán en los apartados correspondientes a cada ensayo.

### **CONTROL DEL GRADO DE COMPRESION**

El grado de compresión aplicado a las probetas se controló por medio de la reducción de la longitud del polvo de la estopa de coco en el molde, utilizando marcas para asegurar el mismo grado de compactación a todas las probetas de la serie.

### **CONTROL DE LA HUMEDAD ESPECÍFICA**

Se utilizó un sensor para medir la relación de humedad de suelos, el cual registra la conductividad de la muestra, la cual va a ser mayor mientras más sea la cantidad de agua presente en ella. En este método, se introducen dos electrodos separados por

cierta distancia, para luego ser sometidos a una diferencia de potencial constante. La corriente circulante será entonces proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra. En la figura 12 se aprecia un esquema de medición. [4]

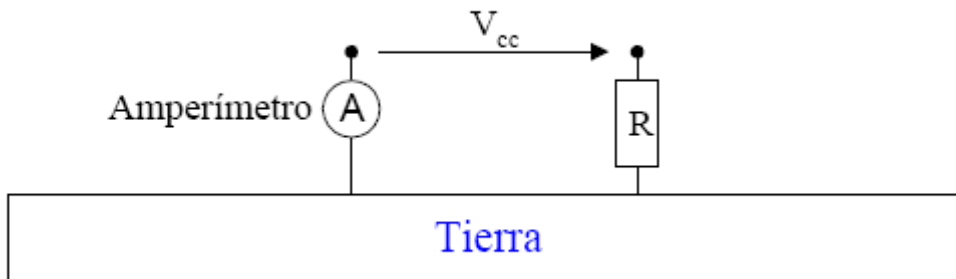


Figura 12. Esquema de medición de la humedad

Tabla 3. Caracterización de probetas

CODIGO	TIPO DE ENSAYO	CONDICION DE LA PROBETA	
		GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	RELACIÓN DE HUMEDAD (%)
ECT-01	Conductividad Térmica	6.44	92
ECT-02	Conductividad Térmica	12.89	92
ECT-03	Conductividad Térmica	19.44	92
ECT-04	Conductividad Térmica	6.44	96
ECT-05	Conductividad Térmica	12.89	96
ECT-06	Conductividad Térmica	19.44	96
ECT-07	Conductividad Térmica	6.44	100
ECT-08	Conductividad Térmica	112.89	100
ECT-09	Conductividad Térmica	19.44	100
ERC-01	Resistencia a la compresión y densidad aparente	4000 kg	90
ERC-02	Resistencia a la compresión y densidad aparente	5000 kg	90
ERC-03	Resistencia a la compresión y densidad aparente	5500 kg	90

## 2.2.1 Medición de la Conductividad térmica

### 2.2.1.1 Equipo

El equipo consta de una sonda tipo aguja conectada a un Termómetro digital, conectada a una batería de 12V, para suministrar la energía necesaria a la sonda según el diagrama de la figura 13.

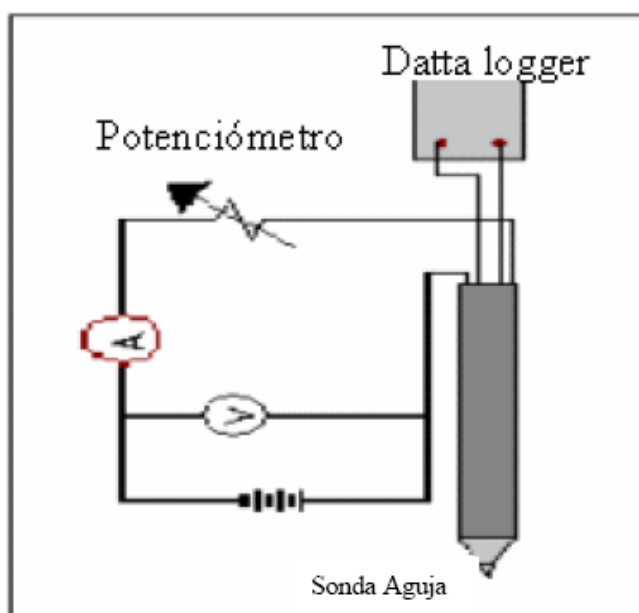


Figura 13. Circuito del Equipo Sonda aguja, para la medición de conductividad térmica

Para completar el circuito se utilizará además un voltímetro, un amperímetro, y un potenciómetro, como se muestra en la figura 14. La sonda aguja se muestra en la figura 13.



Figura 14: Montaje del equipo para medición de la conductividad térmica.

Para el procedimiento se necesitara además un Cronometro, una cinta métrica, y un tubo de PVC de 8 pulgadas (20.32 cm) de diámetro y una longitud de 1.0 m que servirá de molde para la probeta.

Para la determinación de la conductividad térmica, las probetas se compactaron manualmente utilizando la herramienta mostrada en la figura 15.



Figura 15: Sonda tipo aguja conectada a un Termómetro digital.



Figura 16. Herramienta para compactar manualmente las probetas

### 2.2.1.2 Fabricación de las probetas

Las probetas a utilizar en la estimación indirecta de la conductividad térmica, se fabricaron mezclando polvo de la estopa de coco y agua en proporciones definidas de acuerdo a la ecuación 1 y los datos de la tabla 3. Las masas correspondientes de polvo de estopa de coco y agua se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Proporción de masas de polvo de coco y agua

CODIGO	CONDICION DE LA PROBETA	
	Masa de polvo de coco (g)	Masa de agua (ml)
ECT-01	3,000	2,760
ECT-02	3,000	2,760
ECT-03	3,000	2,760
ECT-04	3,000	2,880
ECT-05	3,000	2,880
ECT-06	3,000	2,880
ECT-07	3,000	3,000
ECT-08	3,000	3,000
ECT-09	3,000	3,000

### 2.2.1.3 Procedimiento de medición

Una vez definidos los valores para el grado de compactación y relación de humedad, se aplicó el siguiente procedimiento a cada probeta:

1. Tomar 3 kg de polvo de fibra de coco, completamente seca y revolver con 2.76, 2.88, y 3 litros de agua (para 92, 96 y 100 % de relación de humedad) para formar una mezcla homogénea, hasta alcanzar el valor de la relación de humedad definida.
2. Marcar cotas en el tubo de PVC a 0.9, 0.842, 0.784 y 0.725 m.
3. Llenar el tubo de PVC con la mezcla de polvo de coco y agua hasta la cota de 0.9 m, sin compactar.
4. Compactar manualmente la mezcla hasta la segunda cota.
5. Introducir la sonda aguja en el centro de la probeta hasta que quede completamente cubierta. Se debe tener el cuidado de que la sonda quede justo al centro del tubo de PVC y perpendicular a la horizontal.
6. Conectar todos los elementos del circuito, sin cerrarlo completamente.
7. Fijar el reóstato en la posición del mayor valor de resistencia, de modo tal que se obtenga el menor valor de Corriente (para nuestro experimento fue de 1.25 A).



8. Cerrar el circuito y justo en ese momento, iniciar el conteo del tiempo, tomando lecturas de temperatura cada 30 s en la escala del termómetro hasta 300 segundos. Los valores obtenidos con su correspondiente identificación de probeta, serán anotados en la hoja de registro de la prueba, cuyo contenido se presenta en la tabla 4.
9. Repetir el punto 7 para cinco valores diferentes de corriente: 1.25, 1.50, 1.75, 2.00 y 2.25 A, por medio de la variación del valor de la resistencia del reóstato.

Tabla 5: Formato de hoja de registro para Ensayo de conductividad térmica

Código de la probeta:				
MEDICION	N°	R		
Tiempo	corriente	Voltaje	temperatura	Int
0 s				
30 s				
60 s				
90 s				
120 s				
150 s				
180 s				
210 s				
240 s				
270 s				
300 s				
pendiente		k		

## **2.2.2 Medición de la resistencia a la compresión.**

Los ensayos de compresión de las probetas de polvo de coco consideradas en la investigación, se realizaron en el laboratorio de suelos y materiales SEPROVIA S.A de C.V. de acuerdo al procedimiento descrito en la Norma ASTM C-39, el cual cubre la determinación de la resistencia a la compresión de elementos cilíndricos de concreto, limitado a muestras que no exceden los  $800 \text{ kg/m}^3$  de densidad aparente.

### **2.2.2.1 Equipo.**

En la realización del ensayo, se utilizó una máquina HUMBOLDT mostrada en la figura 16, con las siguientes características:

- Rango de pruebas de 3,000 – 300,000 lbf con una precisión de + / - 0.5 % de indicación de descarga.
- Sistema de visualización digital.
- Utilizado para el ensayo de vigas, cilindros, cubos y bloques de análisis.
- Velocidad constante.
- Cumple con la norma ASTM C 39, E4; AASHTO T22; ACI.
- Platinas para el ensayo de 6 "x 12" (152 x 305mm) utilizando cilindros de nivelación compuesto o almohadilla de los métodos de nivelación.



Figura 17. Máquina HUMBOLDT para el ensayo de compresión

#### **2.2.2.2 Fabricación de las probetas**

Para preparar la probeta, se utilizó una sección de tubo cuadrado de 5" x 5" x 3/16" y 250 mm de longitud. Este molde se llena hasta 200 mm y luego compactado en la máquina TINIUS OLSEN con capacidad de hasta 6000 kg, (ver figuras 17 y 18) Se compactarán tres muestras para cargas de compactación de 4000, 5000 y 5500 kg.

Luego de compactar, el bloque es retirado del molde, utilizando la misma prensa para empujar y que la probeta deslice sobre el molde.



Figura 18. Compactación de la probeta para el ensayo de compresión.



Figura 19. Máquina Tinius Olsen efectuando compresión de probetas

### 2.2.2.3 Procedimiento de medición

Se procedió a tomar las medidas de longitud, peso de la probeta, luego se instalo en la placa inferior de la maquina HUMBOLDT, para luego aplicar la carga a una velocidad constante, hasta llegar al valor de esfuerzo ultimo de compresión. .

Este corto procedimiento fue utilizado para las pruebas de las probetas ensayadas.

### 2.2.3 Medición de la densidad aparente.

Para este ensayo se utilizaron las probetas destinadas al ensayo de resistencia a la compresión.

En este ensayo, se midieron las dimensiones de la muestra, con objeto de determinar su volumen aparente, y luego se midió el peso de la muestra, registrando ambos valores en el formato de registro del ensayo de la resistencia a la compresión, el cual se presenta en la tabla 6

Tabla 6. Formato de hoja de para registro de la medición de densidad aparente.

CODIGO PROBETA	COMPACTACION (kg)	H(m)	A (m)	B (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	MASA (kg)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
ERC-01							
ERC-02							
ERC-03							

## CAPITULO 3: RESULTADOS

### 3.0 INTRODUCCION

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados: conductividad térmica, resistencia a la compresión y densidad aparente.

Los resultados se exponen en tablas y gráficas, de acuerdo a las especificaciones propias del ensayo correspondiente.

### 3.1 ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TERMICA

En base a los datos tomados en el ensayo de conductividad térmica, y utilizando la ecuación 1, se calcula el valor de la conductividad térmica de cada ensayo.

$$k = 0.272 \frac{I^2 R}{\tan \alpha} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

I : corriente suministrada a la sonda por la fuente energizadora.

R : resistencia del alambre de la sonda.

$\tan \alpha$  : pendiente de la gráfica T vrs Ln t

En la elaboración de las gráficas T versus  $\ln t$  para cada probeta y valor de corriente se utilizó Microsoft Excel como herramienta de software. En cada gráfica se calculó el valor de la pendiente de la curva, como  $\tan \alpha$ . Ingresando este valor en la ecuación 2, con los valores correspondientes de R e I para cada ensayo, se obtuvo el valor de  $k$ .

Tabla 7. Resultados de la medición de conductividad

código	Corriente I (A)					% comp.	humedad
	1.25	1.50	1.75	2.0	2.25		
ECT-01	0.529	0.477	0.446	0.460	0.434	6.44	92%
ECT-02	0.571	0.528	0.465	0.467	0.506	12.9	
ECT-03	0.607	0.591	0.455	0.453	0.470	19.4	
ECT-04	0.905	0.744	0.686	0.649	0.622	6.44	96%
ECT-05	0.561	0.532	0.472	0.494	0.514	12.9	
ECT-06	0.680	0.571	0.521	0.620	0.573	19.4	
ECT-07	1.556	1.701	1.843	1.675	1.819	6.44	100%
ECT-08	0.676	0.627	0.523	0.473	0.446	12.9	
ECT-09	4.145	4.598	5.72	7.324	6.829	19.4	

En la tabla 7 se presentan los resultados de la estimación del coeficiente de conductividad térmica  $k$ , del polvo de la estopa de coco para diferentes condiciones de humedad específica y grado de compactación, en términos del valor de  $k$  para cada una de las probetas detallada en la tabla 3.

Los valores obtenidos en los ensayos para determinar la conductividad térmica se presentan en el anexo 1. Los valores de la tabla representan el promedio de tres ensayos.

Los gráficos correspondientes se presentan en las figuras 20 y 21, 22, 23, 24 y 25.



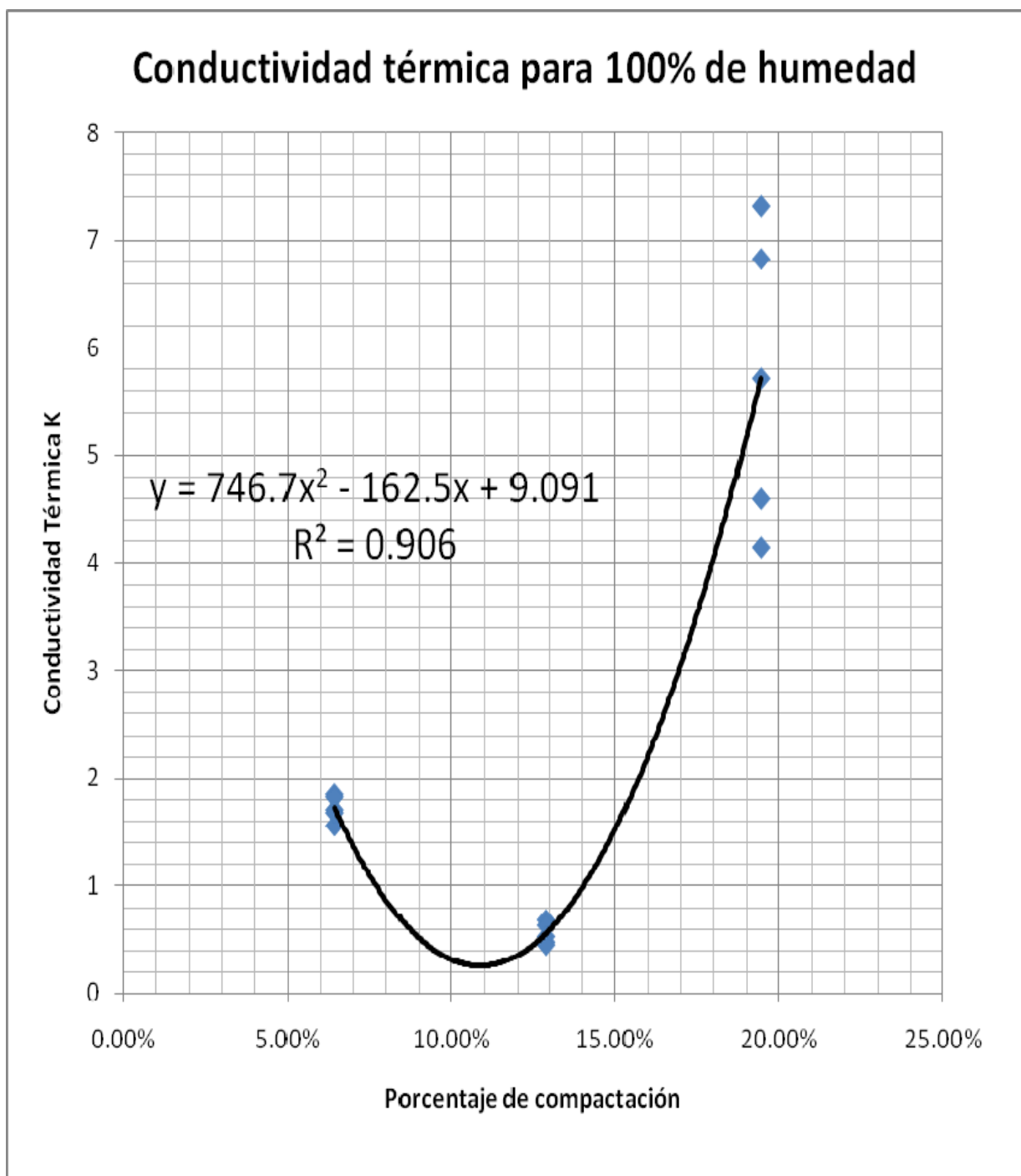


Figura 20. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Compactación. Humedad del 100%

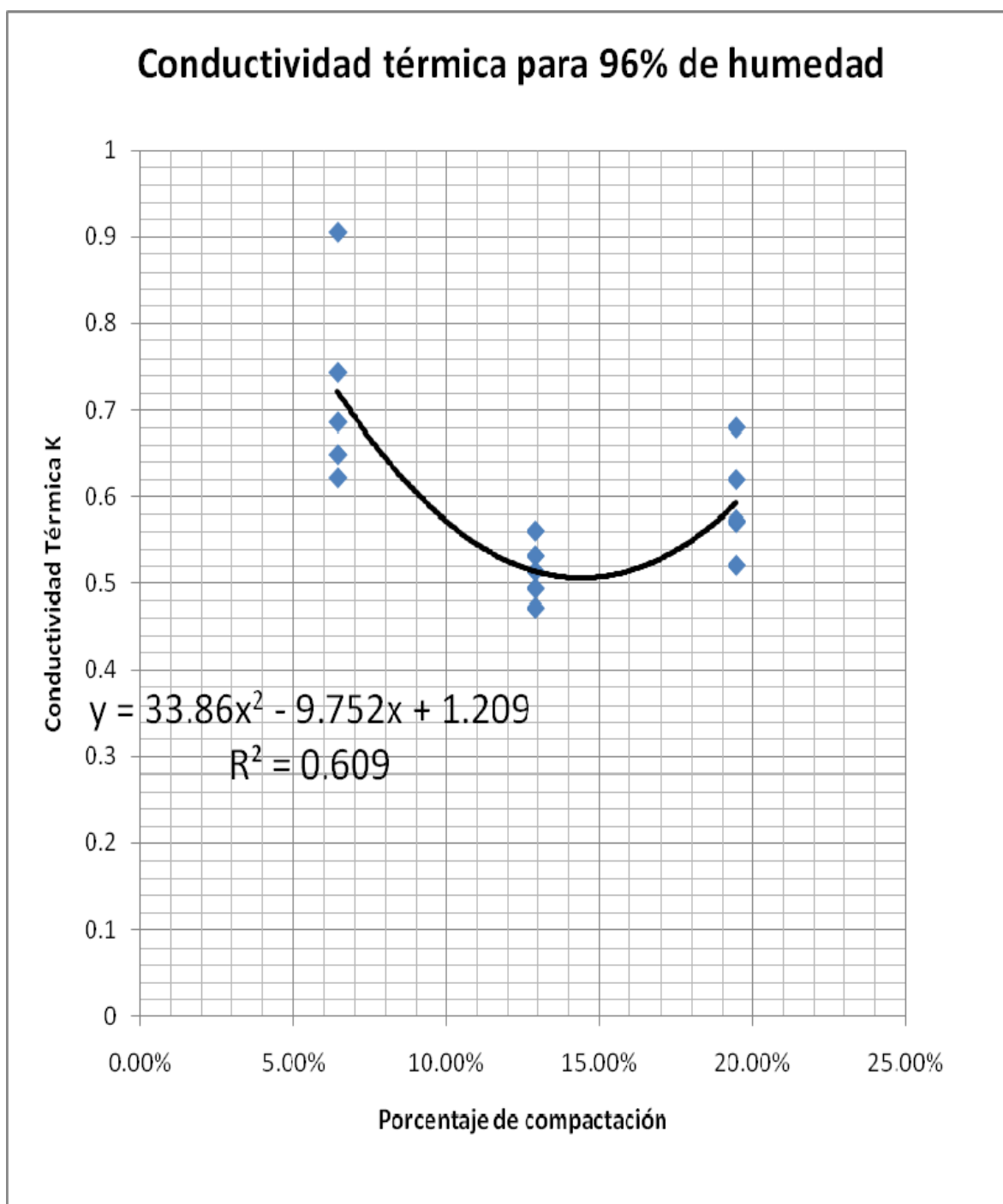


Figura 21. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Compactación. Humedad de 96%.

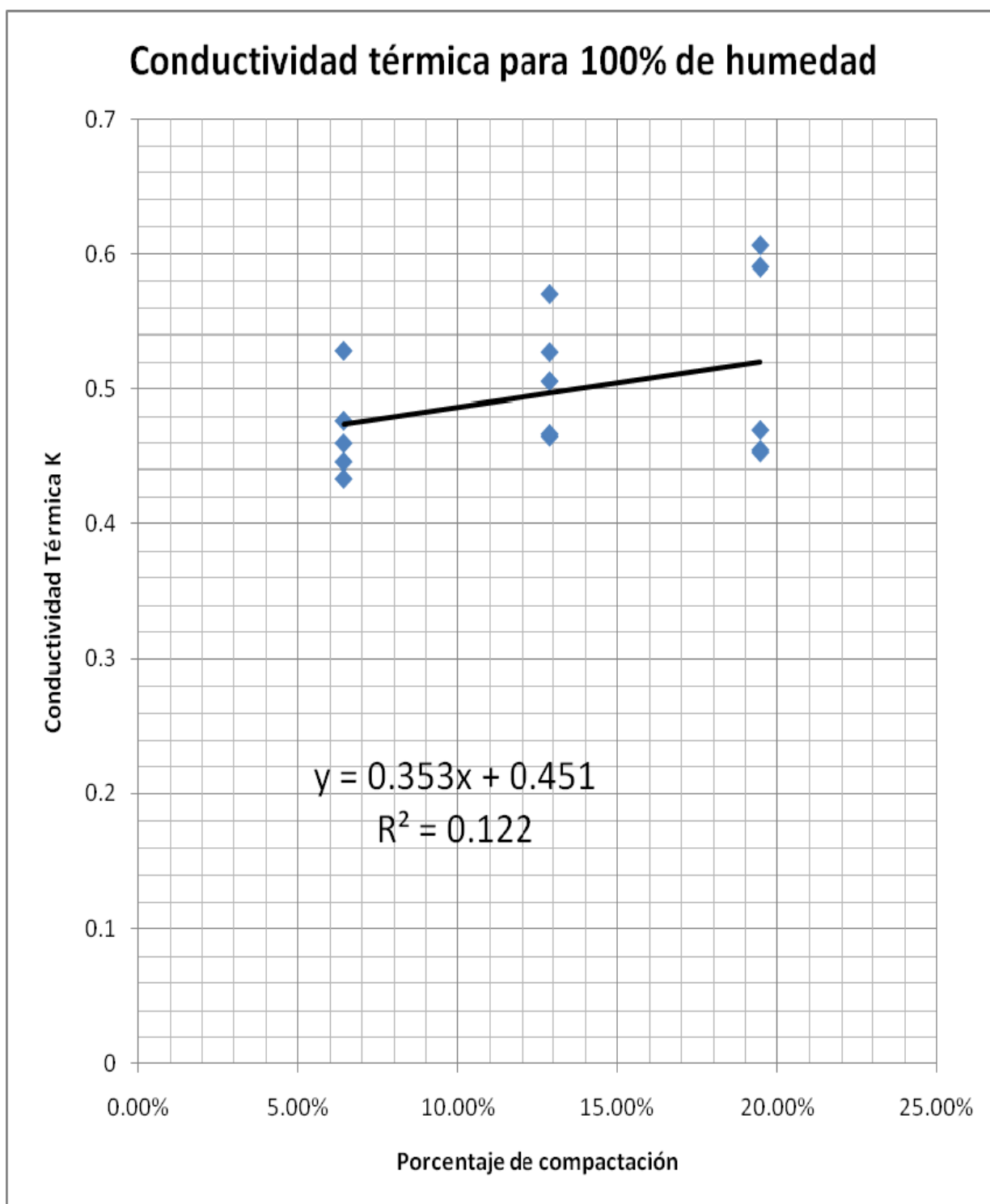


Figura 22. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Compactación. Humedad de 92%.

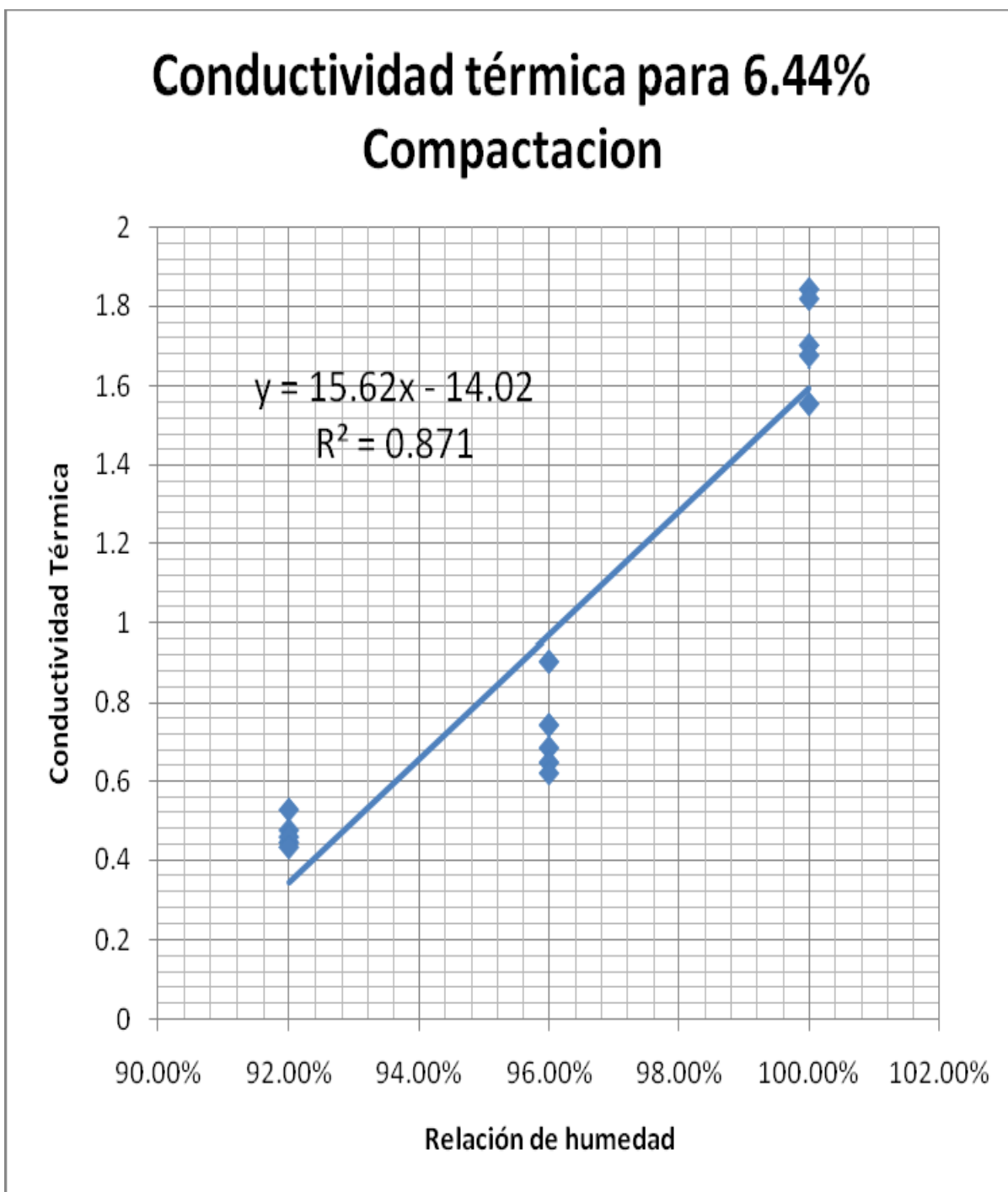


Figura 23. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Humedad. Compactación de 6.44%.

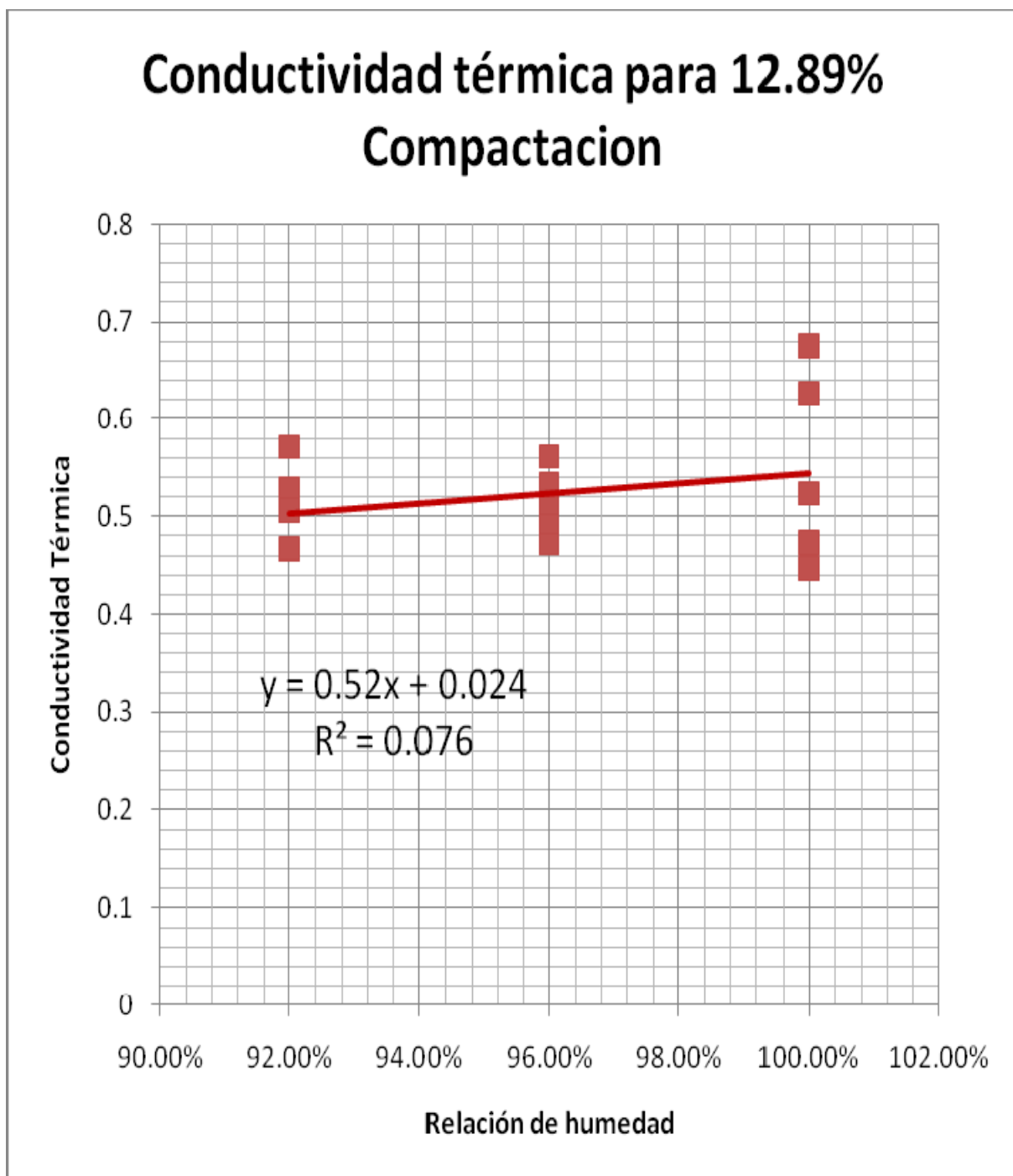


Figura 24. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Humedad. Compactación de 12.89%.

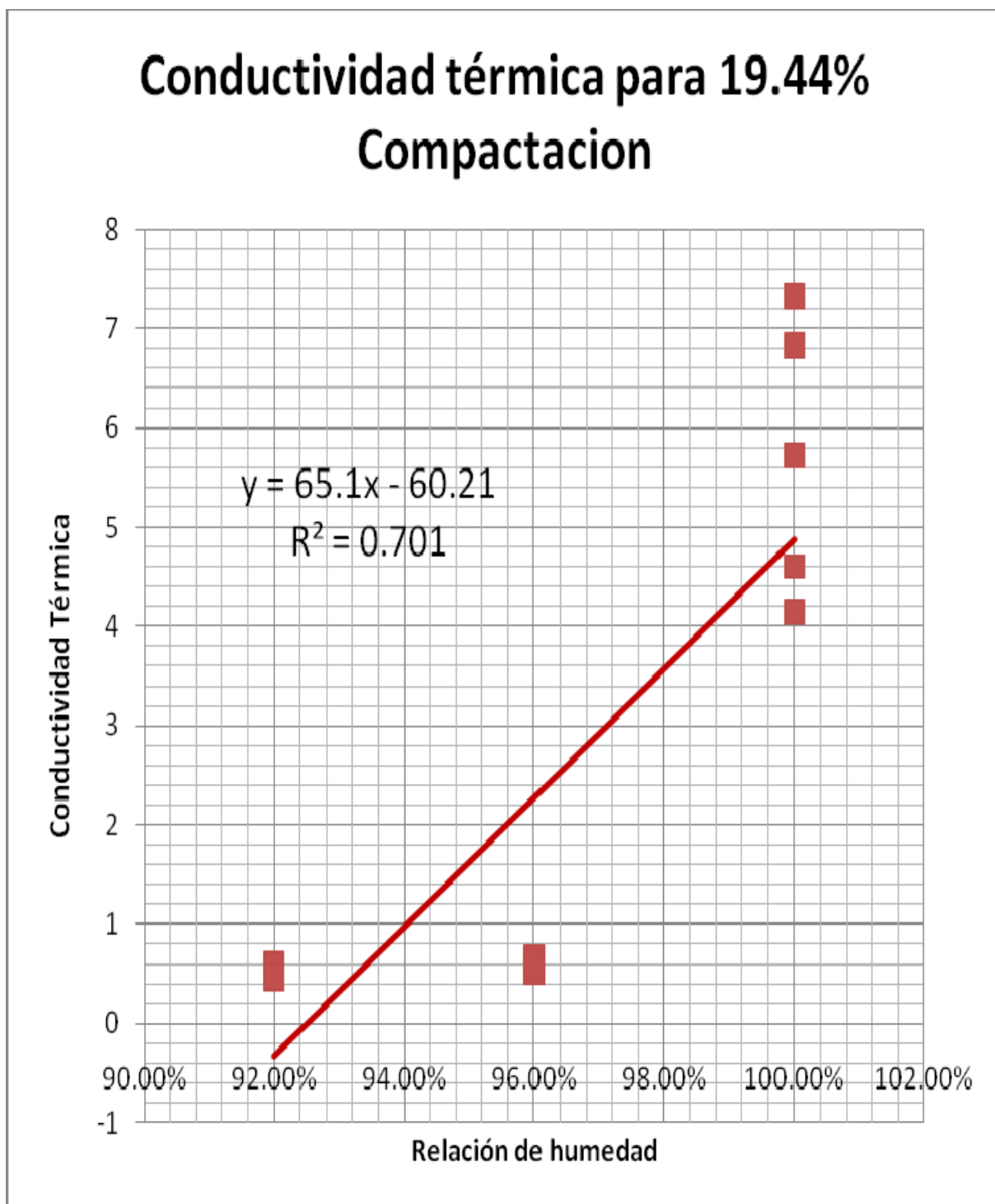


Figura 25. Gráfico Coeficiente de Conductividad Térmica versus Porcentaje de Humedad. Compactación de 19.44%.

### 3.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Para este ensayo se utilizó una máquina de compresión marca HUMBOLDT modelo CM-300, aplicando una carga máxima de  $8 \text{ kg / cm}^2$ , con velocidad constante del pistón móvil.

De acuerdo a lo establecido en el procedimiento de realización del ensayo, se definieron las siguientes variables:

- Carga máxima:  $8 \text{ kg / cm}^2$
- Área efectiva:  $0.115 \times 0.117 \text{ m}$

Ninguna de las probetas de ensayo llegó al punto de fractura, repitiéndose este comportamiento en todos los ítem de ensayo. Los resultados del ensayo de compresión se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados del ensayo de compresión

PROBETA	CARGA MAXIMA ( $\text{kg / cm}^2$ )
ERC-1	8
ERC-2	8
ERC-3	8
ERC-4	1.27

ERC-4: Probeta elaborada con una mezcla de 97% de polvo de estopa de coco y 3% de cemento.

### 3.3 ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE.

Para la estimación de la densidad aparente del polvo de la estopa de coco, se utilizó el concepto básico de densidad aparente: masa de la muestra dividida entre el volumen aparente, calculado a partir de las dimensiones de la probeta. Estos datos se presentan en la tabla 8.

Debido a dificultades con el montaje del molde en la máquina de ensayo, no se obtuvieron las mismas alturas en la probeta, por lo que se calculó un valor promedio a partir de las mediciones efectuadas en tres lados de la probeta. Las dimensiones correspondientes a la probeta se muestran en la figura 26.

A y B son las dimensiones correspondientes a los lados de la base de la probeta, mientras que H representa la altura.

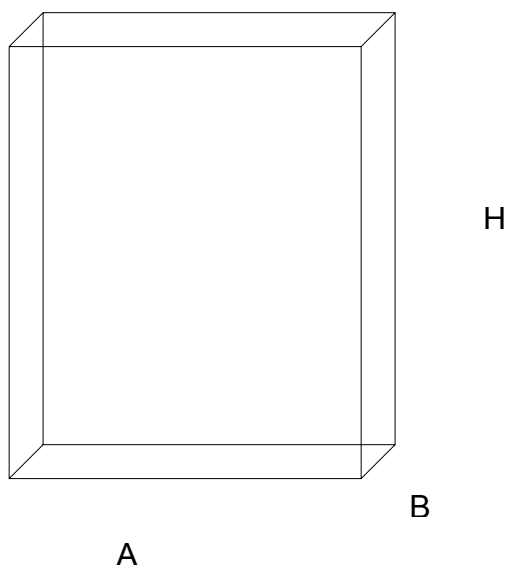


Figura 26. Dimensiones de la probeta para determinar densidad



Tabla 8. Longitudes de los lados de la probeta.

H promedio (m)	A (m)	B (m)
0.05425	0.116	0.116
0.0475	0.116	0.116
0.04425	0.116	0.116

La densidad aparente para cada probeta se estimó aplicando la ecuación 3:

$$\text{densidad aparente} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (\text{ecuación 3})$$

Los resultados se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Resumen de densidades aparentes de las muestras.

PROBETA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	MASA (kg)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
ERC-01	0.00073	0.286	391.8
ERC-02	0.00064	0.286	446.9
ERC-03	0.00060	0.286	476.7

## CAPITULO 4: DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.0 INTRODUCCION

En este capítulo se analizarán las tendencias observadas en los gráficos a partir de los datos resultantes de cada ensayo.

### 4.1 COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA

Las ecuaciones ajustadas para el comportamiento del coeficiente de conductividad térmica en función del grado de compactación para un valor constante de relación de humedad, son las siguientes:

Ecuación 3: Conductividad térmica de 100%:

$$Y = 746.77 X^2 - 162.53 X + 9.0914$$

$$R^2 = 0.906$$

Ecuación 4: Conductividad térmica de 96%:

$$Y = 33.86 X^2 - 9.7521 X + 1.209$$

$$R^2 = 0.6096$$

Ecuación 5: Conductividad térmica de 92%:

$$Y = 0.3532 X + 0.4516$$

$$R^2 = 0.1221$$

De acuerdo a los datos obtenidos, el coeficiente de conductividad presenta una tendencia similar a mayores relaciones de humedad y una tendencia lineal para el valor menor, que corresponde a 92%.

Se muestra en la Figura 25 y 26, el consolidado de todos los resultados para la evaluación de la conductividad térmica.

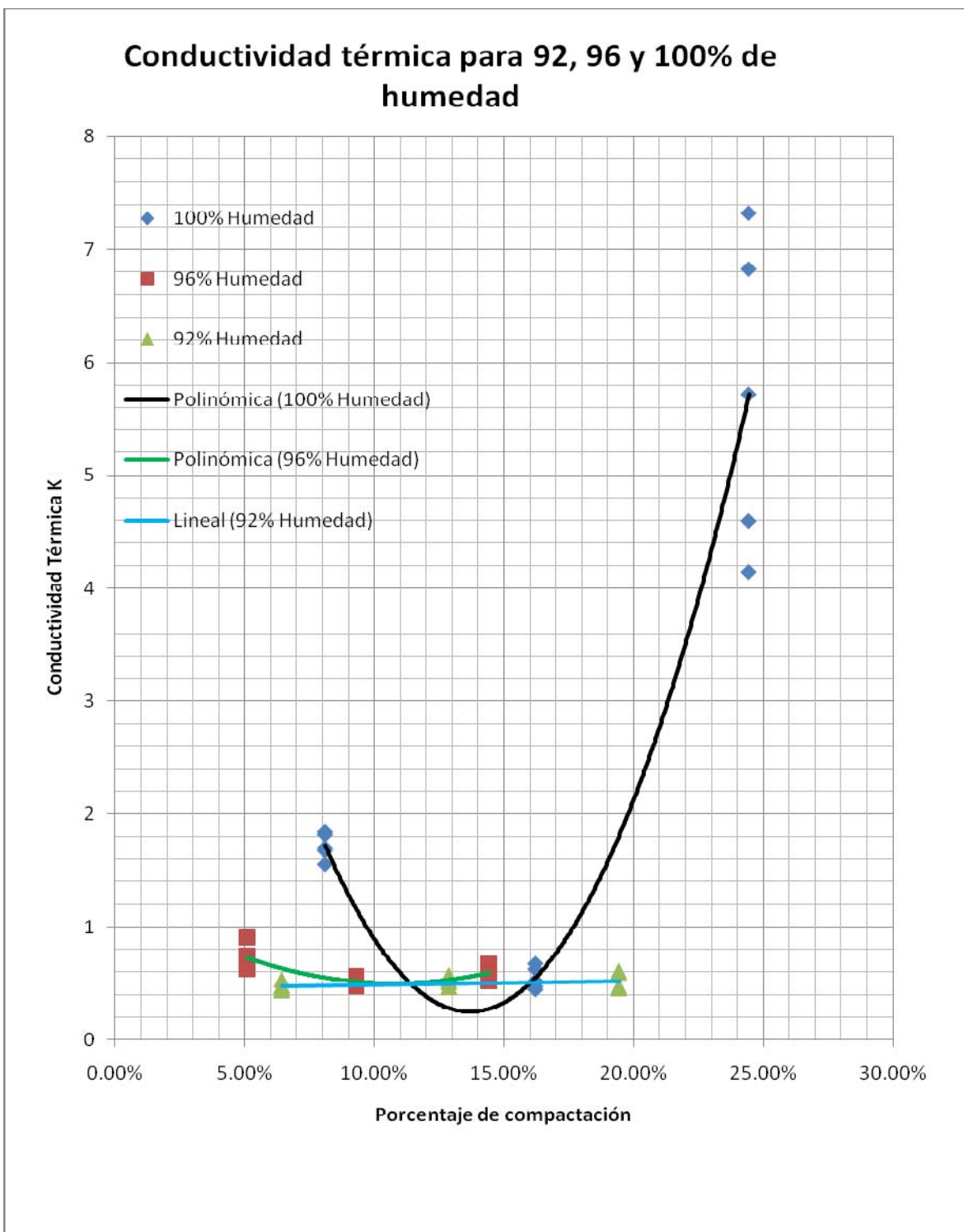


Figura 27. Coeficiente de Conductividad Térmica en función del grado de compactación para 92%, 96% y 100% humedad

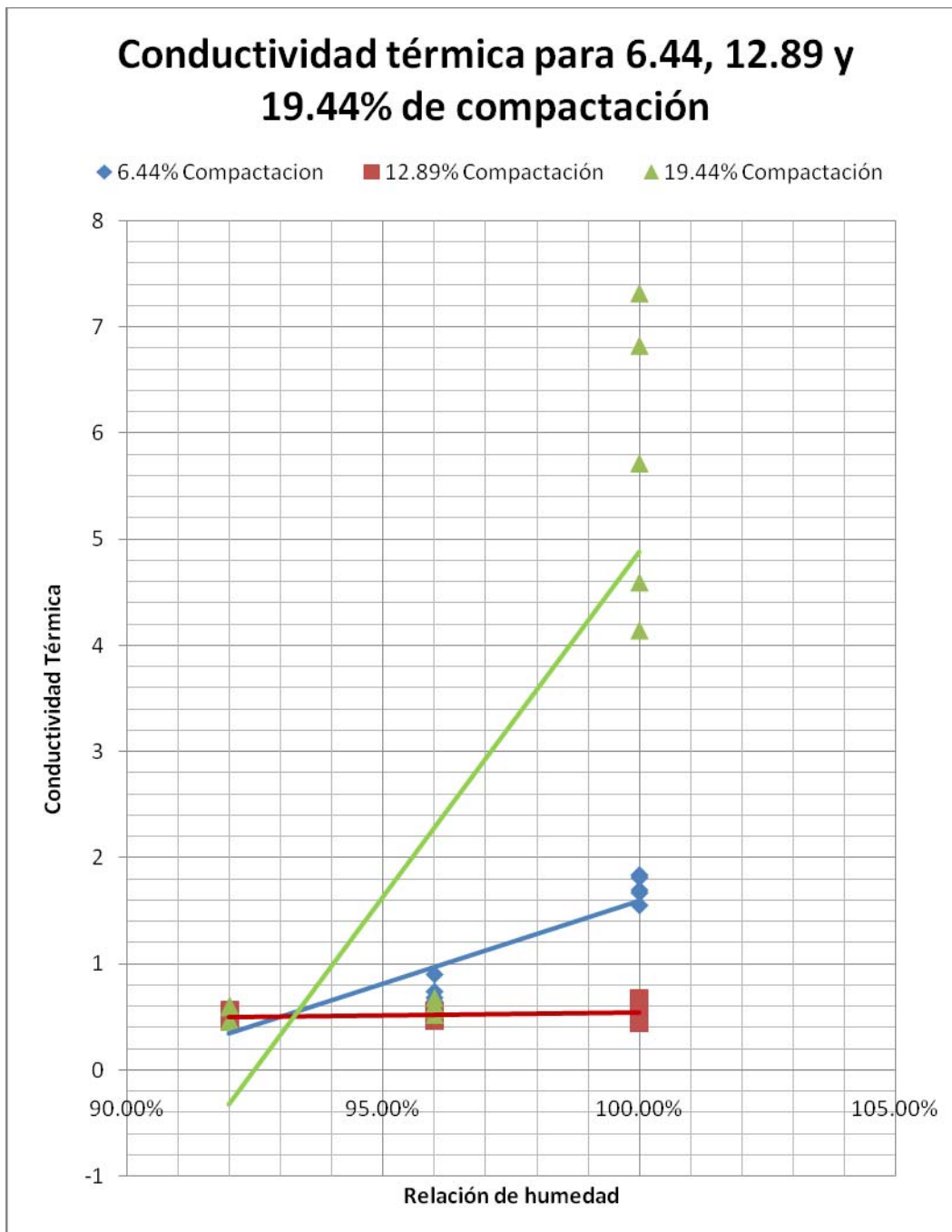


Figura 28. Coeficiente de Conductividad Térmica en función de la relación de humedad para 6.44%, 12.89% y 19.44% compactación.

## 4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION

En la tabla 10 se presentan valores de resistencia a la compresión de materiales seleccionados a fin de establecer concordancia con los valores obtenidos en el estudio.

Tabla 10. Resistencia a la compresión de materiales seleccionados

especie	Resistencia a la compresión (paralela) (psi)	Resistencia a la compresión (perpendicular, psi)
Roble (150 % humedad)	3560	670
Cedro (150% humedad)	2770	240

Los altos valores de resistencia a la compresión observados para las probetas fabricadas con polvo de la estopa de coco pueden atribuirse a la interacción entre la celulosa y la lignina, componentes que constituyen aproximadamente el 75% de la composición de la estopa de coco y al carácter cristalino de las cadenas poliméricas

Las ligaduras covalentes de glucosa que forman la celulosa crean una molécula recta y rígida, además de la presencia de enlaces laterales entre las moléculas de celulosa. Los enlaces cruzados presentes en la lignina que originan una estructura tridimensional compleja, aportan rigidez al polvo y le permiten resistir fuerzas de compresión, como ha quedado evidenciado con los resultados del ensayo.

### 4.3 DENSIDAD APARENTE

De acuerdo con los resultados, la densidad aparente exhibe un comportamiento similar al presentado en la figura 7, relacionando la porosidad con el grado de compactación. El comportamiento de la densidad aparente en función de la carga de compactación se ilustra en la figura 27.

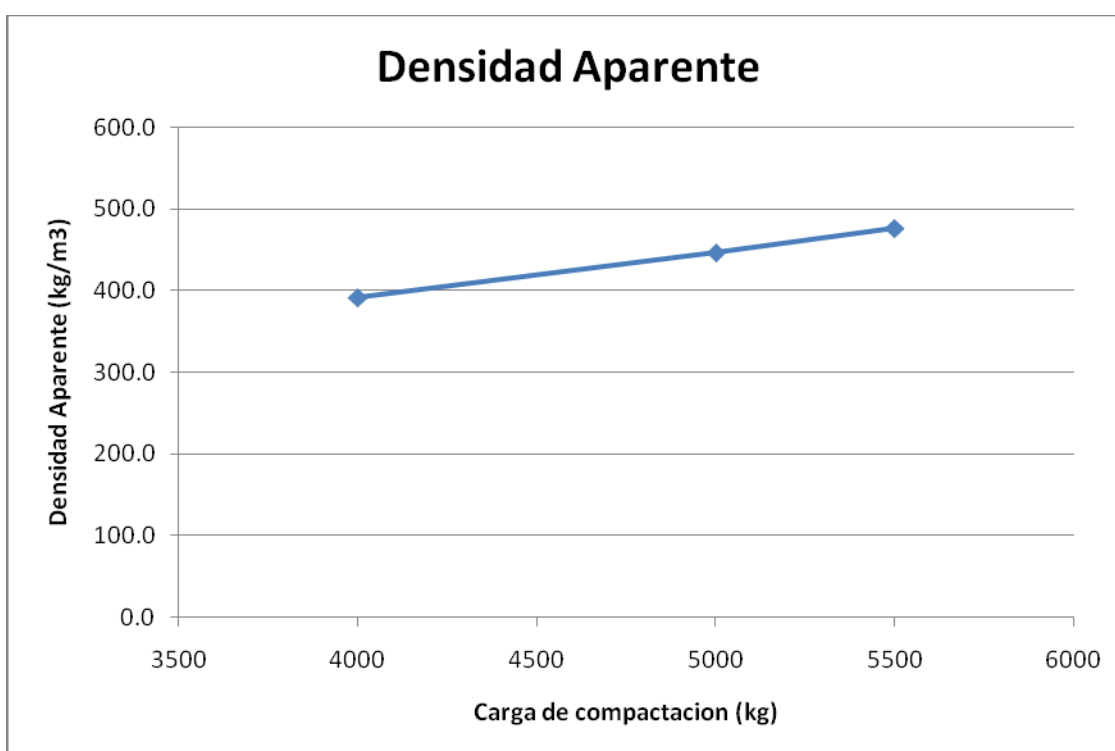


Figura 29. Densidad aparente versus carga de compactación.

Como era de esperarse y se resume en la figura 24, la densidad aparente aumenta con el incremento de la carga de compactación, lo cual reduce el espacio entre las partículas de polvo de la estopa de coco.

## CONCLUSIONES

Se estudió el comportamiento de la conductividad térmica, la resistencia a la compresión y la densidad aparente del polvo extraído de la estopa de coco.

La conductividad térmica se evaluó a través de la determinación del coeficiente de conductividad térmica  $k$  aplicando el Método de la Sonda de Aguja.

Los principales resultados de este trabajo son:

1. La conductividad térmica del polvo de la estopa de coco presenta valores comparables a los de otras fibras vegetales, ya que no existen datos previos para el polvo de la estopa de coco con los que establecer concordancia.
2. La conductividad térmica depende de dos variables estructurales del polvo de la estopa de coco: el tamaño y la fracción volumétrica de las partículas de polvo. Considerando constante el tamaño de partícula, la conductividad térmica se incrementa a partir de un mínimo con el aumento del grado de compactación del polvo; mientras que a grado de compactación constante, la conductividad térmica aumenta con el aumento de la relación de humedad.
3. Como era de esperarse, la resistencia a la compresión presenta valores altos ya que depende tanto del tamaño del polvo como de la naturaleza de este material. A la luz de modelos clásicos de materiales compuestos, esta propiedad se ve influenciada por los enlaces covalente fuertes que unen las moléculas de celulosa.
4. Se propone el estudio del comportamiento de la conductividad térmica del polvo de la estopa de coco con métodos de medición que permitan obtener



medidas directas que aquellos propios del Método de la Sonda de Aguja empleada en este trabajo.

5. Se propone el estudio del comportamiento de la conductividad térmica del polvo de la estopa de coco considerando humedades específicas menores a 92% y mayores a 100% con diferentes tamaños de polvo, a fin de evaluar la influencia de las moléculas de agua presentes en la superficie de las partículas de polvo, basado en el argumento del área interfacial y considerando que la humedad en este tipo de materiales lignocelulósicos puede ser superior al 200 por ciento.
  
6. Se propone el estudio de la resistencia a la tensión de probetas fabricadas con polvo de la estopa de coco, considerando la influencia de las ligaduras covalentes de glucosa presentes en la celulosa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Boletín de oferta frutícola de El Salvador, programa nacional de frutas, MAG, El Salvador, 2004.
2. ASKELAND, R. ASKELAND. Ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. Internacional Thomson Editores. S.A. México, 2004.
3. CADENA, CAROLINA GIOVANA / BULA SILVERA, ANTONIO JOSE BULA. Estudio de la Variación de la Conductividad Térmica de la Cascarilla de Arroz Aglomerada con Fibras Vegetales. Ingeniería y Desarrollo, Diciembre, numero 012. Universidad del Norte Barranquilla, Colombia.
4. Automatización industrial: sensores de humedad. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile. 2007.

# ANEXOS

## ANEXO 1

Código de la probeta: ECT-01				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	LN(t)
1.25 A	0 s	12.59 V	25.7 °C	
1.25 A	30 s	12.59 V	28.6 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.59 V	30.3 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.59 V	31.5 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.59 V	32.5 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.59 V	33.4 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.59 V	34.2 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.59 V	34.9 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.59 V	35.6 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.59 V	36.2 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.59 V	36.8 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>4.417</b>	<b>K</b>	<b>0.529</b>	

TABLA A1: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-01 utilizando 1.25 A. para la corriente.

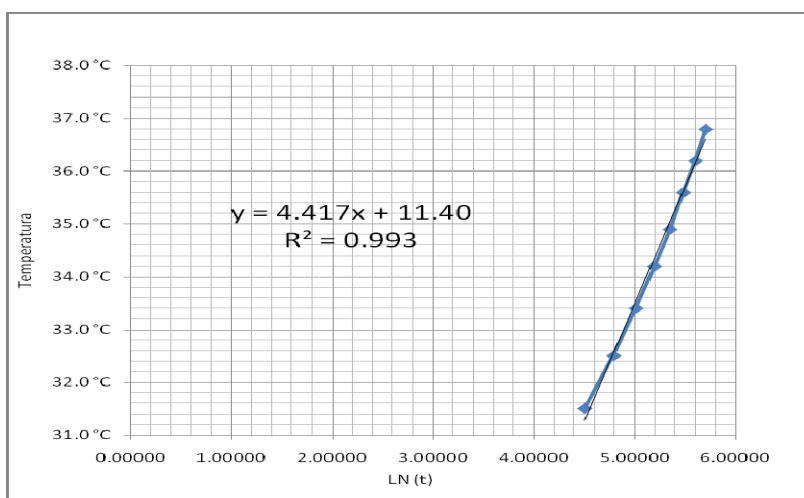


Gráfico A1: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-01 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-01				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.55 V	26.3 °C	
1.50 A	30 s	12.55 V	30.5 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.55 V	33.2 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.55 V	35.0 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.55 V	36.6 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.55 V	38.0 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.55 V	39.3 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.55 V	40.5 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.55 V	41.6 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.55 V	42.5 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.55 V	43.4 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>7.051</b>	<b>K</b>	<b>0.477</b>	

TABLA A2: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-01 utilizando 1.50 A. para la corriente.

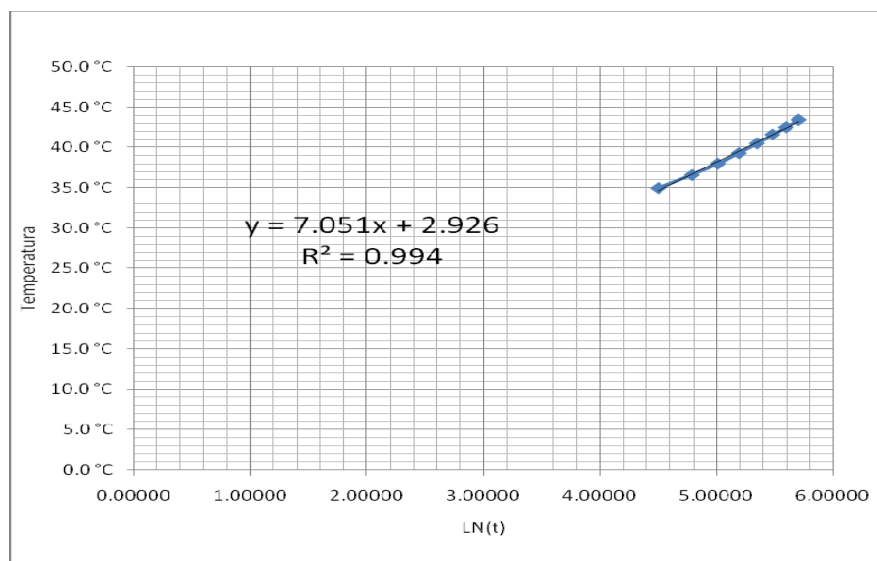


Gráfico A2: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-01 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-01				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.48 V	22.6 °C	
1.75 A	30 s	12.48 V	28.7 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.48 V	32.4 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.48 V	35.2 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.48 V	37.5 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.48 V	39.5 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.48 V	41.3 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.48 V	43.1 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.48 V	44.7 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.48 V	46.1 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.48 V	47.5 °C	5.70378
Pendiente	10.27	K	0.446	

TABLA A3: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-01 utilizando 1.75 A. para la corriente.

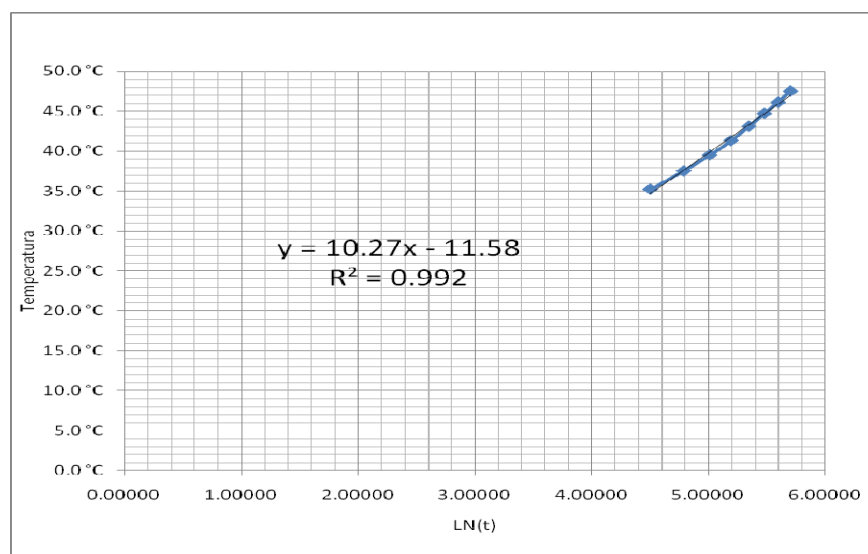


Gráfico A3: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-01 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-01				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.60 V	26.3 °C	
2.00 A	30 s	12.60 V	34.3 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.60 V	39.3 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.60 V	42.6 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.60 V	45.6 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.60 V	48.3 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.60 V	50.6 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.60 V	52.7 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.60 V	54.7 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.60 V	56.5 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.60 V	58.2 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>13</b>	<b>K</b>	<b>0.46</b>	

TABLA A4: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-01 utilizando 2.00 A. para la corriente.

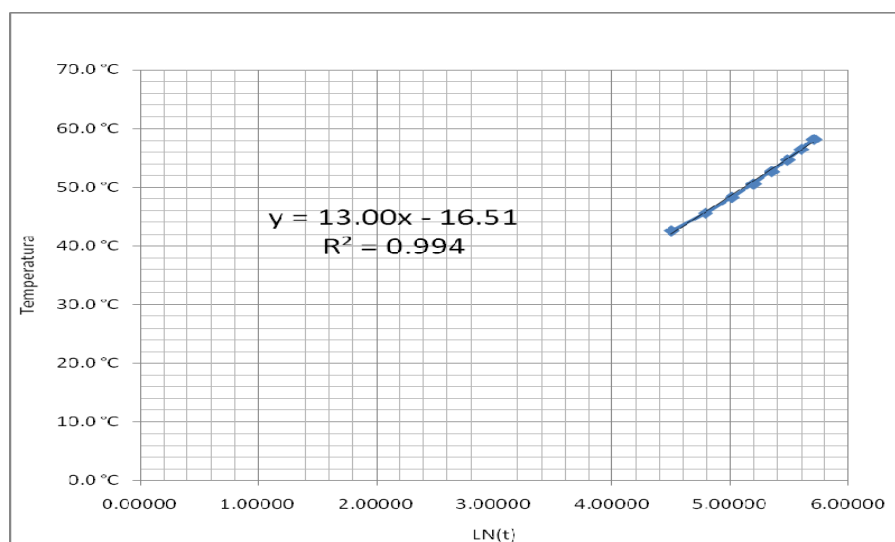


Gráfico A4: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-01 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-01				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.53 V	26.6 °C	
2.25 A	30 s	12.53 V	36.5 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.53 V	42.4 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.53 V	46.7 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.53 V	50.6 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.53 V	53.9 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.53 V	57.2 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.53 V	60.0 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.53 V	62.7 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.53 V	65.2 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.53 V	67.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>17.46</b>	<b>K</b>	<b>0.434</b>	

TABLA A5: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-01 utilizando 2.25 A. para la corriente.

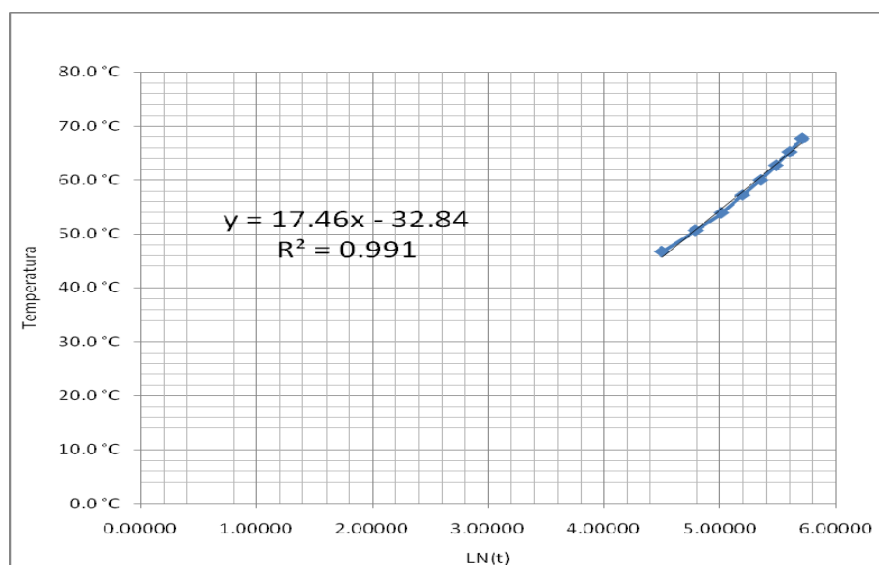


Gráfico A5: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-01 utilizando 2.25 A. para la corriente.



Código de la probeta: ECT-02				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.61 V	25.6 °C	
1.25 A	30 s	12.61 V	28.4 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.61 V	30.1 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.61 V	31.3 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.61 V	32.2 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.61 V	33.0 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.61 V	33.8 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.61 V	34.5 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.61 V	35.1 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.61 V	35.6 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.61 V	36.2 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>4.095</b>	<b>K</b>	<b>0.571</b>	

TABLA A6: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-02 utilizando 1.25 A. para la corriente.

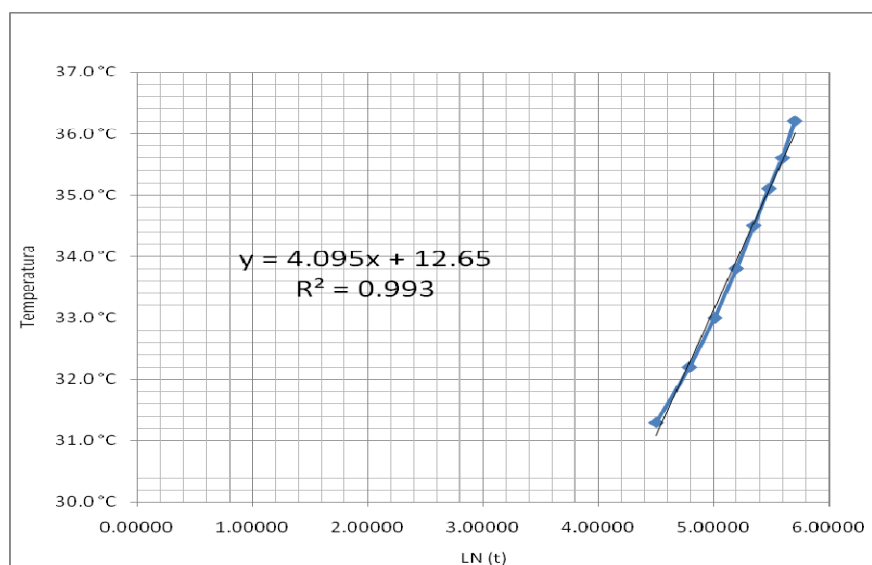


Gráfico A6: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-02 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-02				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.60 V	26.8 °C	
1.50 A	30 s	12.60 V	31.0 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.60 V	33.5 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.60 V	35.2 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.60 V	36.6 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.60 V	37.9 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.60 V	39.1 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.60 V	40.1 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.60 V	41.1 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.60 V	42.0 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.60 V	42.8 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>6.377</b>	<b>K</b>	<b>0.528</b>	

TABLA A7: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-02 utilizando 1.50 A. para la corriente.

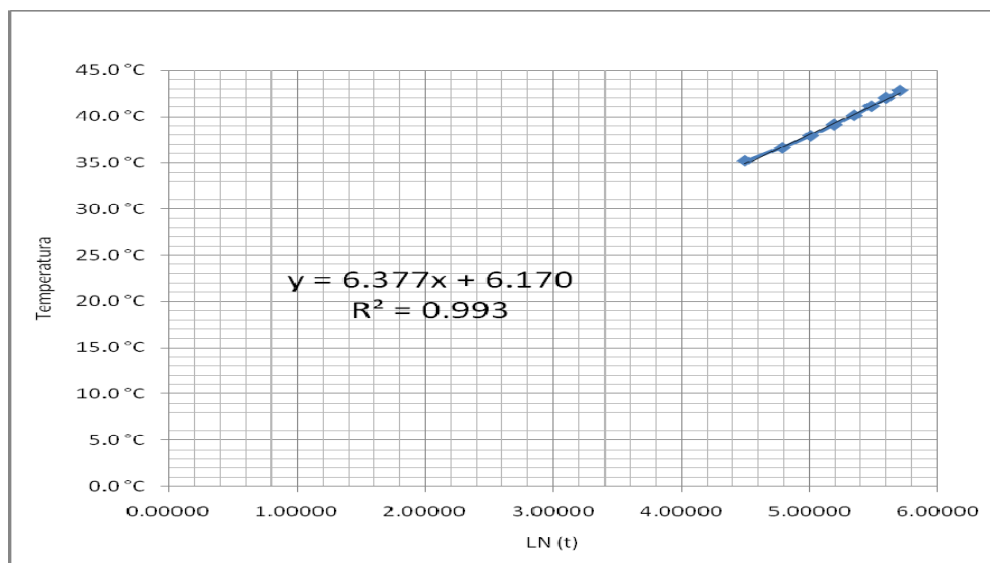


Gráfico A7: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-02 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-02				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.60 V	27.1 °C	
1.75 A	30 s	12.60 V	33.0 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.60 V	36.7 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.60 V	39.1 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.60 V	41.3 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.60 V	43.1 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.60 V	44.9 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.60 V	46.6 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.60 V	48.1 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.60 V	49.6 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.60 V	50.9 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>9.856</b>	<b>K</b>	<b>0.465</b>	

TABLA A8: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-02 utilizando 1.75 A. para la corriente.

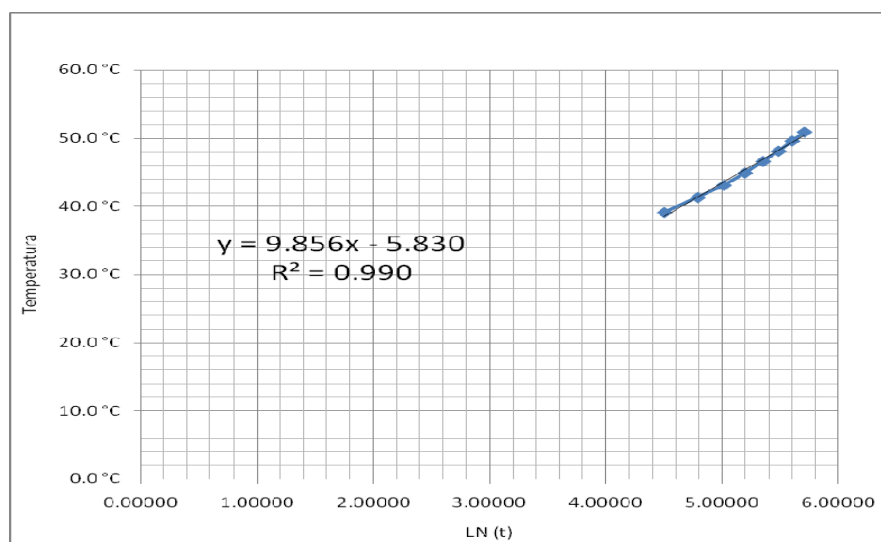


Gráfico A8: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-02 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-02				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.48 V	23.6 °C	
2.00 A	30 s	12.48 V	31.3 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.48 V	36.2 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.48 V	39.6 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.48 V	42.4 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.48 V	44.9 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.48 V	47.2 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.48 V	49.4 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.48 V	51.4 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.48 V	53.2 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.48 V	54.9 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>12.81</b>	<b>K</b>	<b>0.467</b>	

TABLA A9: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-02 utilizando 2.00 A. para la corriente.

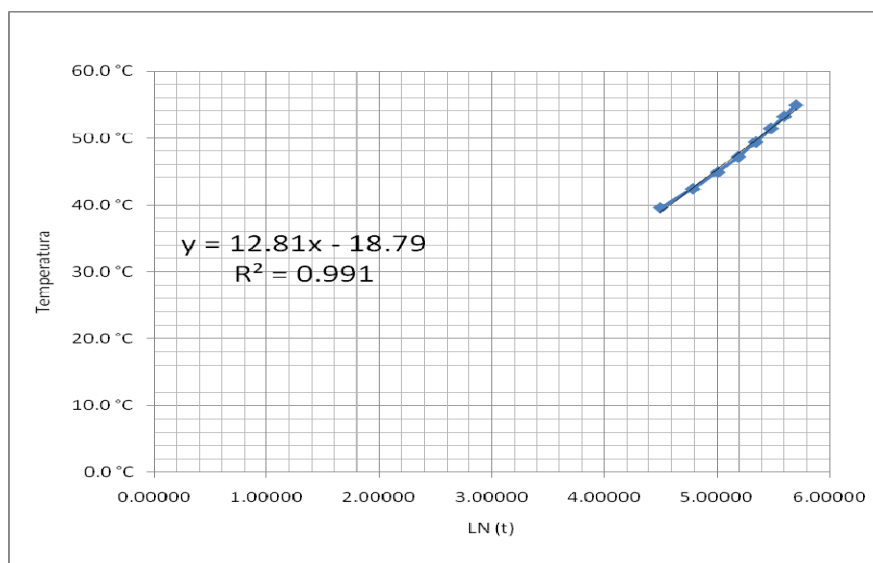


Gráfico A9: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-02 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-02				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.49 V	26.0 °C	
2.25 A	30 s	12.49 V	35.8 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.49 V	41.4 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.49 V	45.4 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.49 V	48.7 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.49 V	51.6 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.49 V	54.6 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.49 V	57.5 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.49 V	60.1 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.49 V	62.4 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.49 V	64.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>14.97</b>	<b>K</b>	<b>0.506</b>	

TABLA A10: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-02 utilizando 2.25 A. para la corriente.

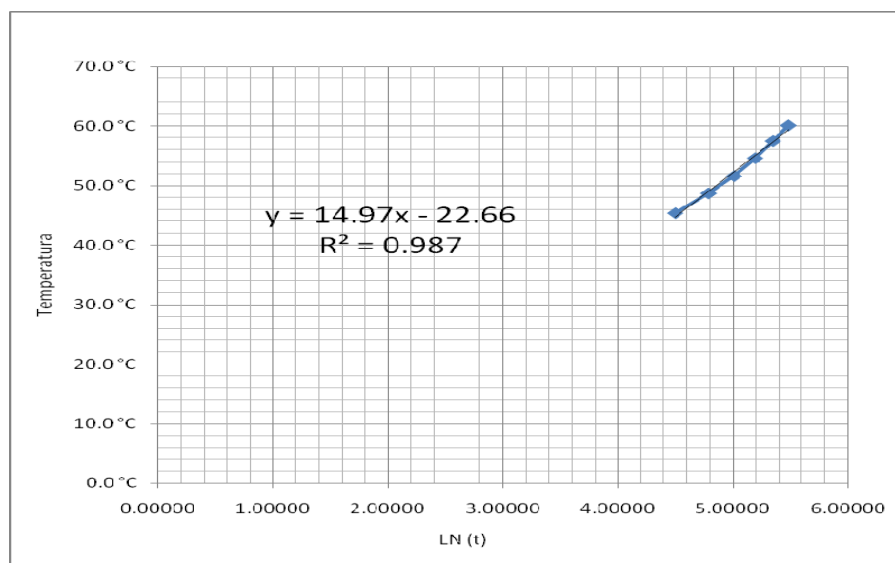


Gráfico A10: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-02 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-03				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.63 V	26.1 °C	
1.25 A	30 s	12.63 V	29.0 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.63 V	30.7 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.63 V	31.8 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.63 V	32.7 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.63 V	33.5 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.63 V	34.2 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.63 V	34.9 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.63 V	35.4 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.63 V	35.9 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.63 V	36.4 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>3.848</b>	<b>K</b>	<b>0.607</b>	

TABLA A11: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-03 utilizando 1.25 A. para la corriente.

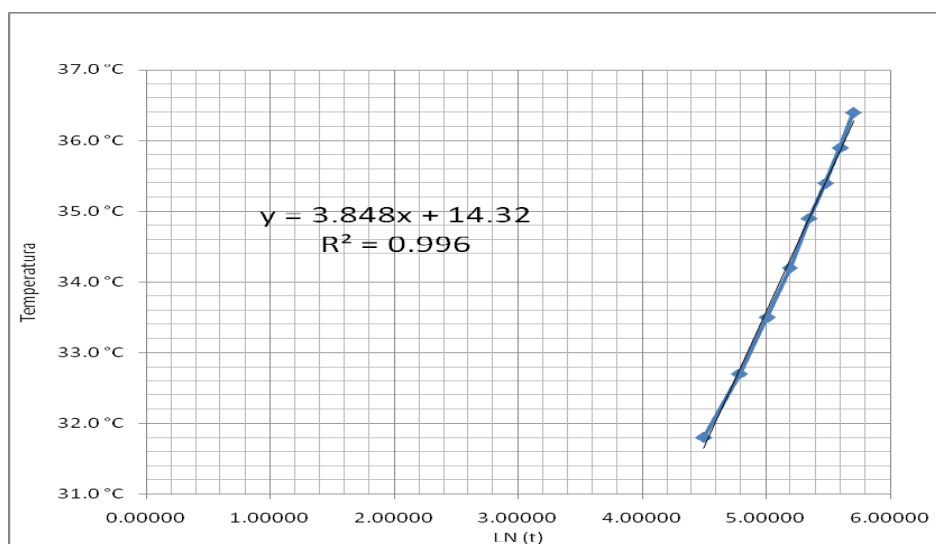


Gráfico A11: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-03 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-03				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.59 V	26.2 °C	
1.50 A	30 s	12.59 V	30.4 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.59 V	33.0 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.59 V	34.8 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.59 V	36.1 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.59 V	37.3 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.59 V	38.3 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.59 V	39.3 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.59 V	40.1 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.59 V	40.9 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.59 V	41.6 °C	5.70378
Pendiente	5.7	K	0.591	

TABLA A12: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-03 utilizando 1.50 A. para la corriente.

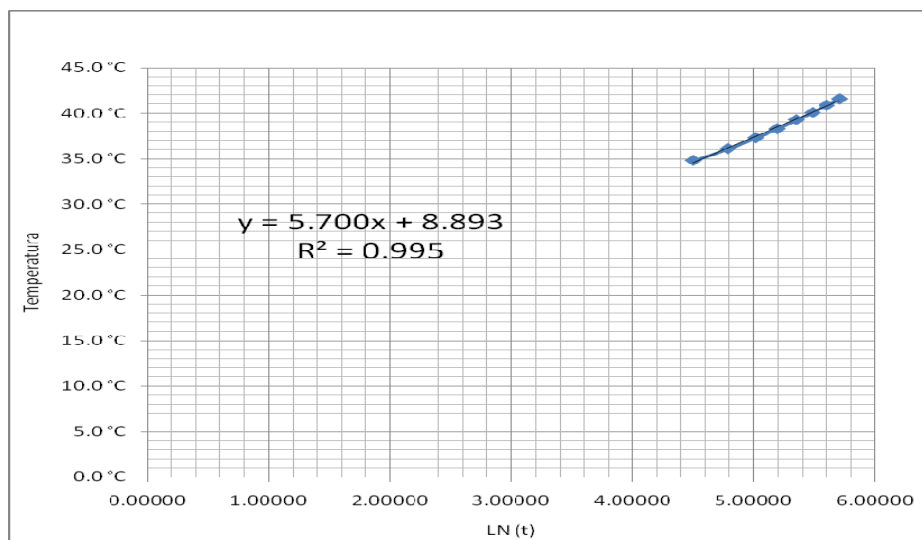


Gráfico A12: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-03 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-03				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.71 V	27.2 °C	
1.75 A	30 s	12.71 V	33.2 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.71 V	37.0 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.71 V	39.6 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.71 V	41.9 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.71 V	43.8 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.71 V	45.7 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.71 V	47.4 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.71 V	48.9 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.71 V	50.3 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.71 V	51.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>10.08</b>	<b>K</b>	<b>0.455</b>	

TABLA A13: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-03 utilizando 1.75 A. para la corriente.

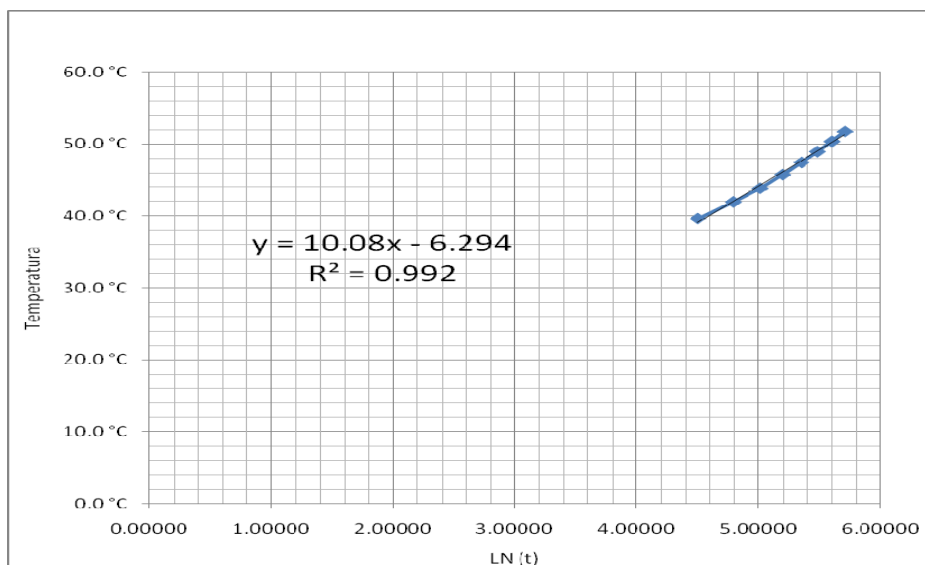


Gráfico A13: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-03 utilizando 1.75 A. para la corriente.



Código de la probeta: ECT-03				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.71 V	27.9 °C	
2.00 A	30 s	12.71 V	35.7 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.71 V	40.4 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.71 V	43.8 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.71 V	46.7 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.71 V	49.4 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.71 V	51.8 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.71 V	54.0 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.71 V	56.0 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.71 V	57.8 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.71 V	59.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>13.2</b>	<b>K</b>	<b>0.453</b>	

TABLA A14: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-03 utilizando 2.00 A. para la corriente.

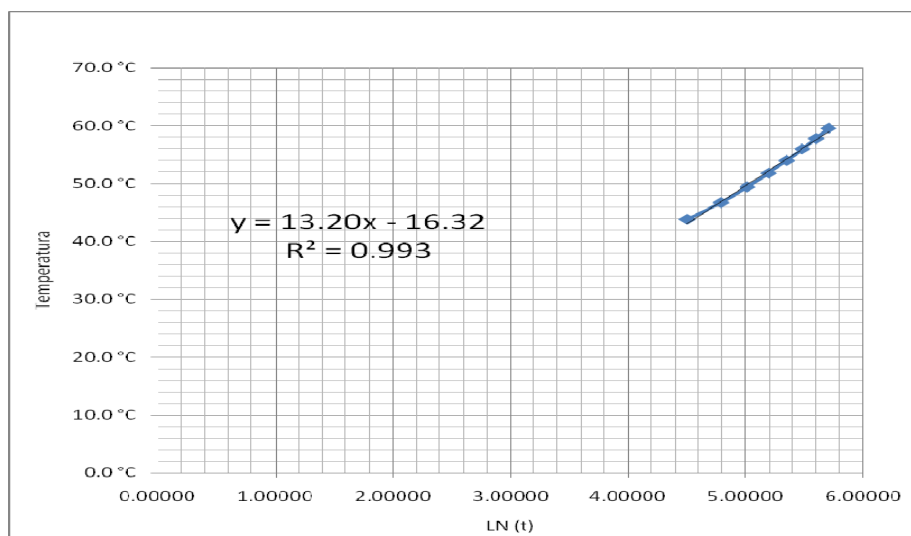


Gráfico A14: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-03 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-03				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.59 V	26.6 °C	
2.25 A	30 s	12.59 V	36.7 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.59 V	43.3 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.59 V	48.0 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.59 V	51.8 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.59 V	55.3 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.59 V	58.6 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.59 V	61.7 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.59 V	64.4 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.59 V	67.1 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.59 V	69.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>16.11</b>	<b>K</b>	<b>0.47</b>	

TABLA A15: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-03 utilizando 2.25 A. para la corriente.

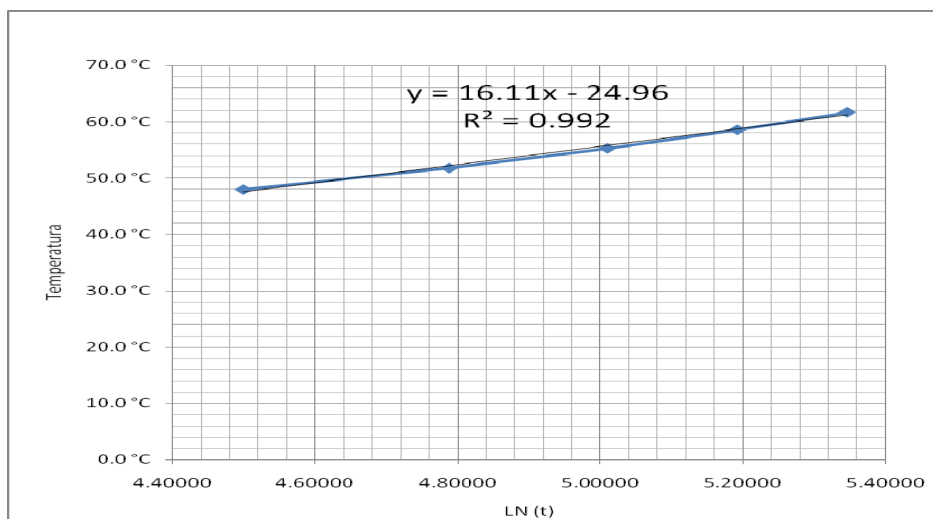


Gráfico A15: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-03 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-04				
R		5.5		
Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t	
0 s	12.21 V	27.5 °C		
30 s	12.21 V	29.4 °C	3.40120	
60 s	12.21 V	31.2 °C	4.09434	
90 s	12.21 V	32.0 °C	4.49981	
120 s	12.21 V	32.6 °C	4.78749	
150 s	12.21 V	33.2 °C	5.01064	
180 s	12.21 V	33.6 °C	5.19296	
210 s	12.21 V	34.0 °C	5.34711	
240 s	12.21 V	34.4 °C	5.48064	
270 s	12.21 V	34.8 °C	5.59842	
300 s	12.21 V	35.1 °C	5.70378	
<b>2.582</b>	<b>K</b>	<b>0.905</b>		

TABLA A16: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-04 utilizando 1.25 A. para la corriente.

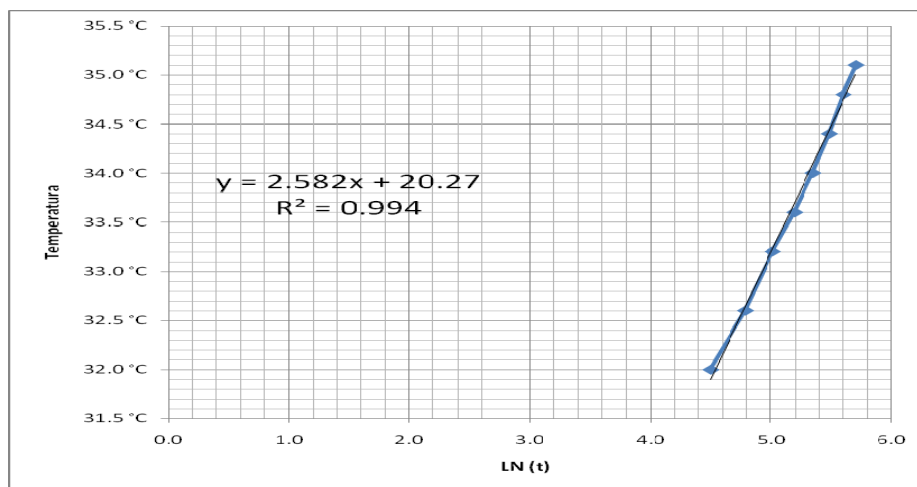


Gráfico A16: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-04 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-04				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.21 V	27.4 °C	
1.50 A	30 s	12.21 V	31.4 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.21 V	33.5 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.21 V	34.9 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.21 V	35.9 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.21 V	36.8 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.21 V	37.6 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.21 V	38.4 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.21 V	39.1 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.21 V	39.7 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.21 V	40.3 °C	5.70378
Pendiente	4.526	K	0.744	

TABLA A17: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-04 utilizando 1.50 A. para la corriente.

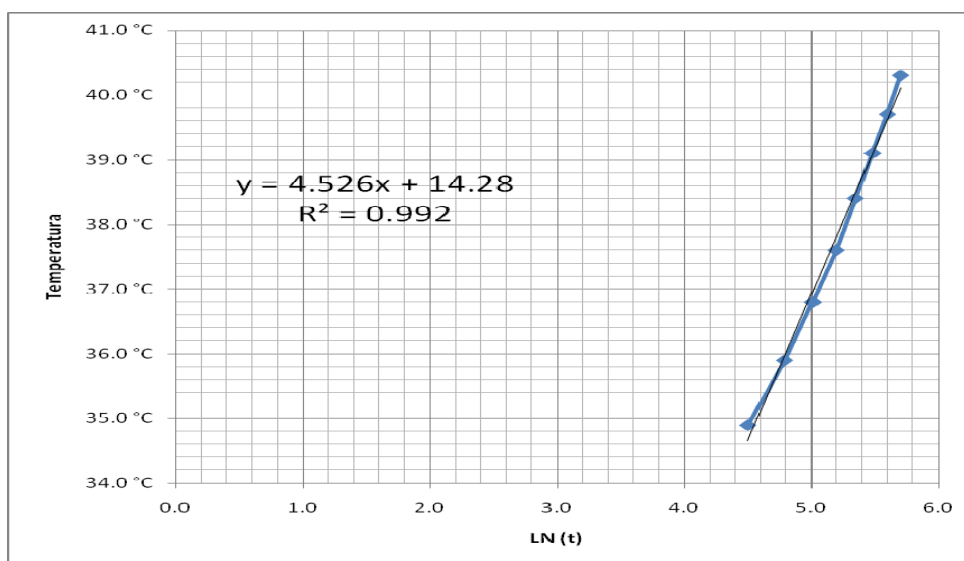


Gráfico A17: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-04 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-04				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.19 V	27.3 °C	
1.75 A	30 s	12.19 V	32.7 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.19 V	35.5 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.19 V	37.4 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.19 V	38.9 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.19 V	40.2 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.19 V	41.4 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.19 V	42.5 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.19 V	43.6 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.19 V	44.5 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.19 V	45.4 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>6.683</b>	<b>K</b>	<b>0.686</b>	

TABLA A18: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-04 utilizando 1.75 A. para la corriente.

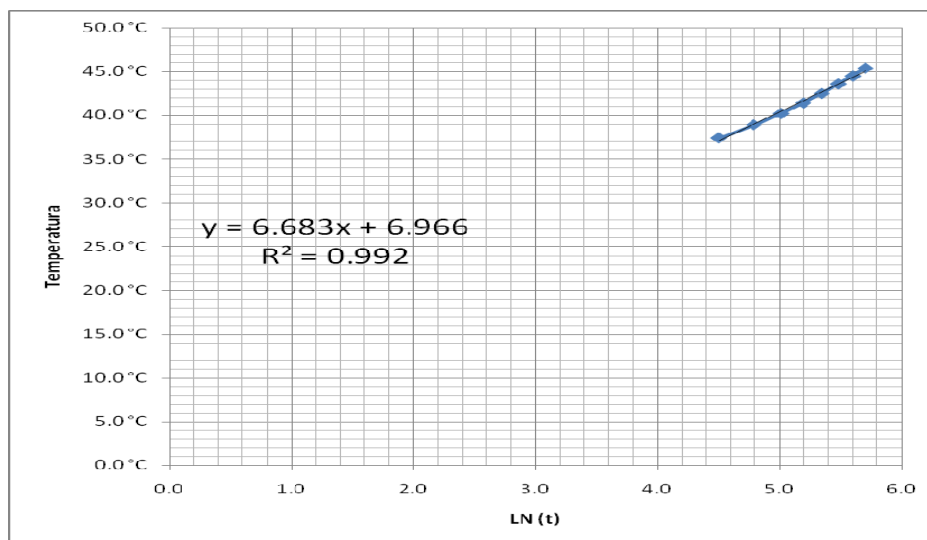


Gráfico A18: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-04 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-04				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.12 V	25.4 °C	
2.00 A	30 s	12.12 V	32.8 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.12 V	36.6 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.12 V	39.1 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.12 V	41.2 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.12 V	43.0 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.12 V	44.6 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.12 V	46.2 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.12 V	47.6 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.12 V	48.9 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.12 V	50.2 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>9.227</b>	<b>K</b>	<b>0.649</b>	

TABLA A19: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-04 utilizando 2.00 A. para la corriente.

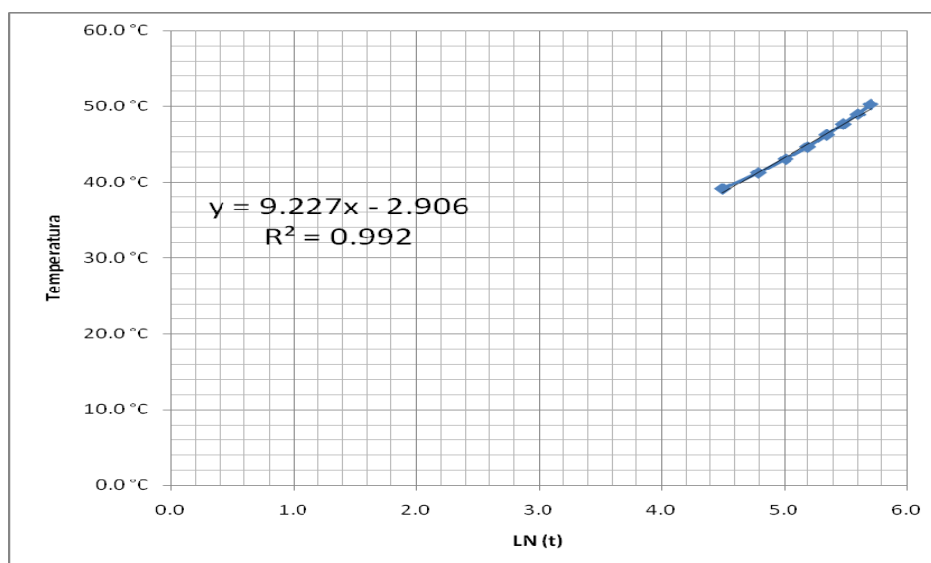


Gráfico A19: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-04 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-04				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.12 V	25.2 °C	
2.25 A	30 s	12.12 V	33.8 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.12 V	38.7 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.12 V	42.0 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.12 V	44.6 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.12 V	47.0 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.12 V	49.1 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.12 V	51.2 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.12 V	53.1 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.12 V	54.9 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.12 V	56.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>12.18</b>	<b>K</b>	<b>0.622</b>	

TABLA A20: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-04 utilizando 2.25 A. para la corriente.

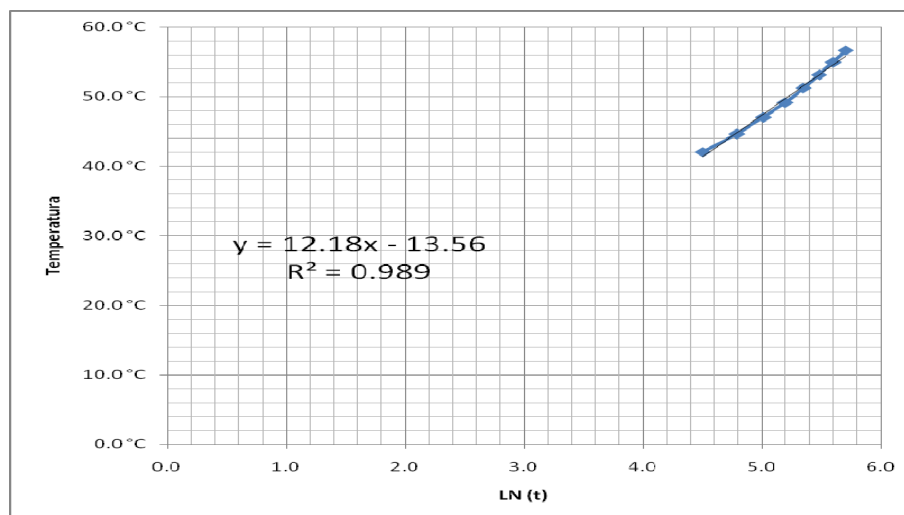


Gráfico A20: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-04 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-05				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.41 V	25.6 °C	
1.25 A	30 s	12.41 V	28.2 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.41 V	29.8 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.41 V	30.9 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.41 V	31.8 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.41 V	32.6 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.41 V	33.4 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.41 V	34.1 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.41 V	34.7 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.41 V	35.3 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.41 V	35.9 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>4.169</b>	<b>K</b>	<b>0.561</b>	

TABLA A21: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-05 utilizando 1.25 A. para la corriente.

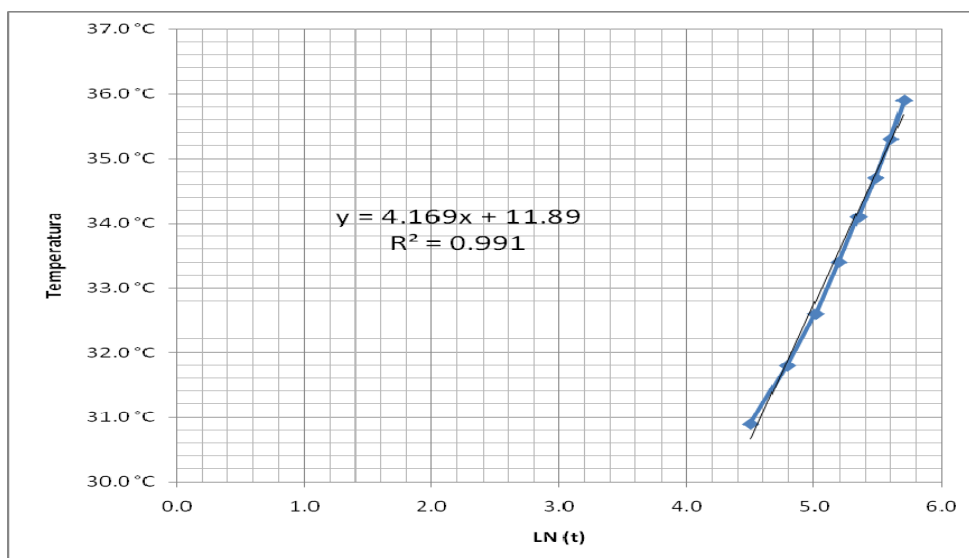


Gráfico A21: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-05 utilizando 1.25 A. para la corriente.



Código de la probeta: ECT-05				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.35 V	26.4 °C	
1.50 A	30 s	12.35 V	30.3 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.35 V	32.5 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.35 V	34.1 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.35 V	35.5 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.35 V	36.8 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.35 V	37.9 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.35 V	39.0 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.35 V	39.9 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.35 V	40.8 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.35 V	41.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>6.322</b>	<b>K</b>	<b>0.532</b>	

TABLA A22: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-05 utilizando 1.50 A. para la corriente.

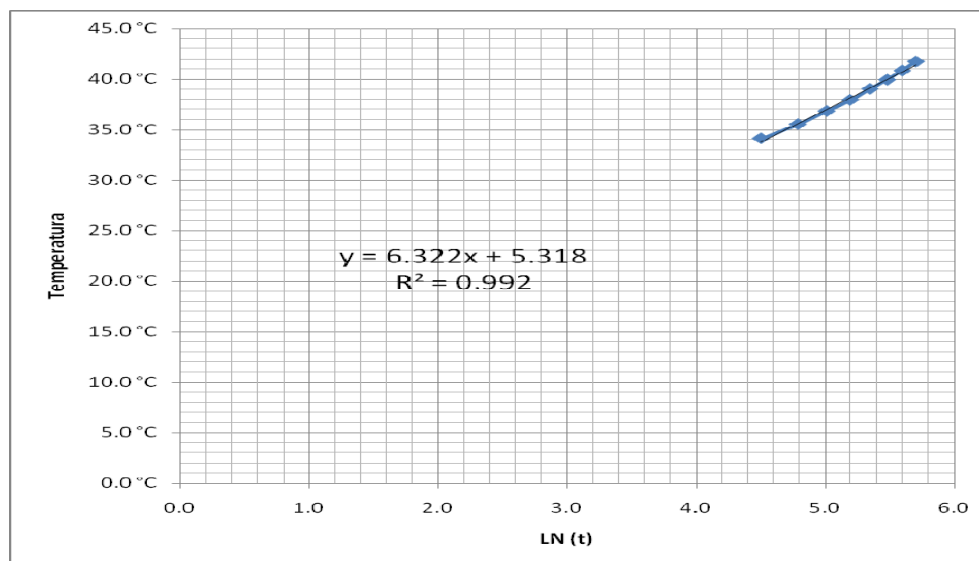


Gráfico A22: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-05 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-05				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.25 V	26.4 °C	
1.75 A	30 s	12.25 V	32.6 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.25 V	35.9 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.25 V	38.3 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.25 V	40.4 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.25 V	42.3 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.25 V	44.1 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.25 V	45.7 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.25 V	47.2 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.25 V	48.6 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.25 V	49.9 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>9.707</b>	<b>K</b>	<b>0.472</b>	

TABLA A23: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-05 utilizando 1.75 A. para la corriente.

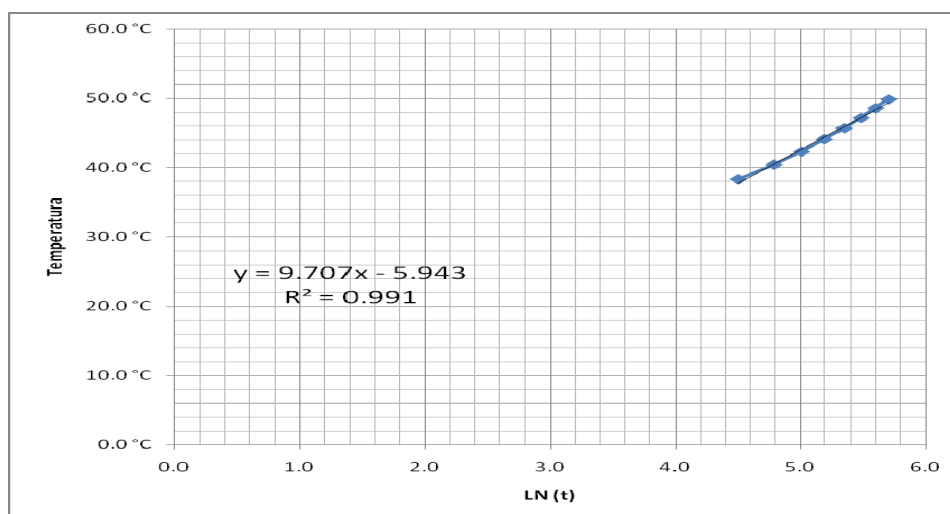


Gráfico A23: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-05 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-05				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.21 V	24.5 °C	
2.00 A	30 s	12.21 V	31.9 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.21 V	36.2 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.21 V	39.1 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.21 V	41.8 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.21 V	44.1 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.21 V	46.3 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.21 V	48.3 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.21 V	50.3 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.21 V	52.0 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.21 V	53.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>12.12</b>	<b>K</b>	<b>0.494</b>	

TABLA A24: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-05 utilizando 2.00 A. para la corriente.

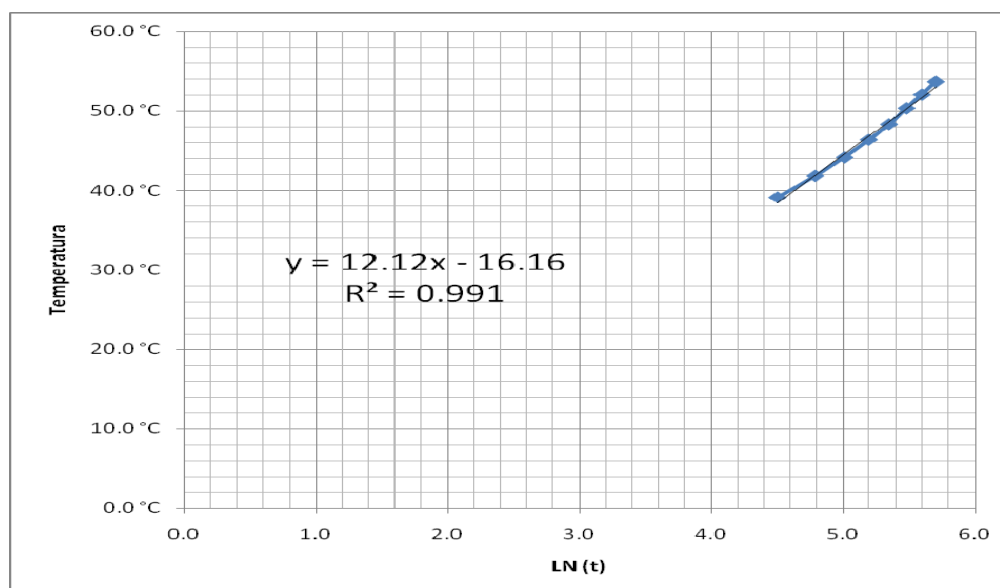


Gráfico A24: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-05 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-05				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.11 V	24.0 °C	
2.25 A	30 s	12.11 V	34.0 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.11 V	39.4 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.11 V	43.4 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.11 V	46.7 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.11 V	49.9 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.11 V	52.7 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.11 V	55.4 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.11 V	57.8 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.11 V	60.3 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.11 V	62.4 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>14.73</b>	<b>K</b>	<b>0.514</b>	

TABLA A25: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-05 utilizando 2.25 A. para la corriente.

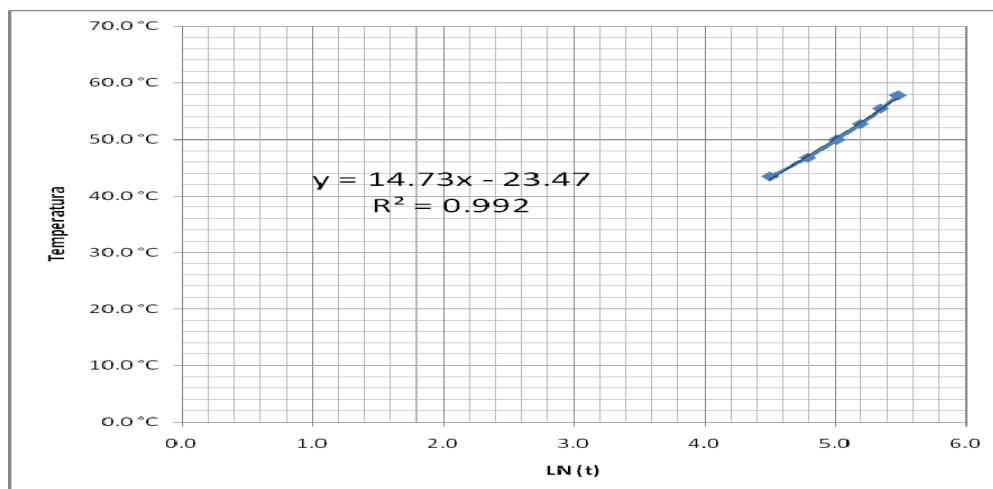


Gráfico A25: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-05 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-06				
MEDICION 1		R		5.5
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.20 V	26.5 °C	
1.25 A	30 s	12.20 V	28.7 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.20 V	30.5 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.20 V	31.5 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.20 V	32.3 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.20 V	33.0 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.20 V	33.6 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.20 V	34.2 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.20 V	34.7 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.20 V	35.2 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.20 V	35.6 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>3.439</b>	<b>K</b>	<b>0.68</b>	

TABLA A26: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-06 utilizando 1.25 A. para la corriente.

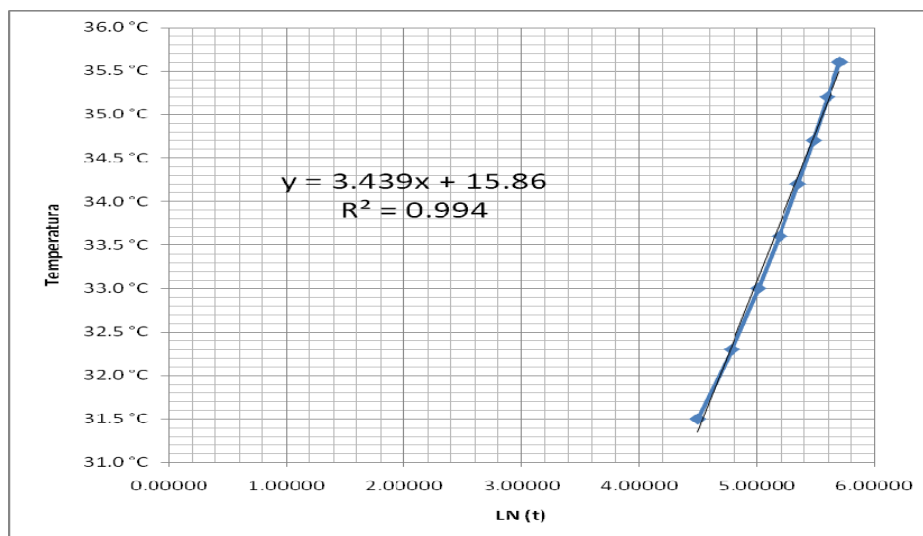


Gráfico A26: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-06 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-06				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.20 V	26.8 °C	
1.50 A	30 s	12.20 V	31.0 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.20 V	33.4 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.20 V	35.0 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.20 V	36.3 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.20 V	37.6 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.20 V	38.6 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.20 V	39.6 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.20 V	40.5 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.20 V	41.3 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.20 V	42.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>5.89</b>	<b>K</b>	<b>0.571</b>	

TABLA A27: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-06 utilizando 1.50 A. para la corriente.

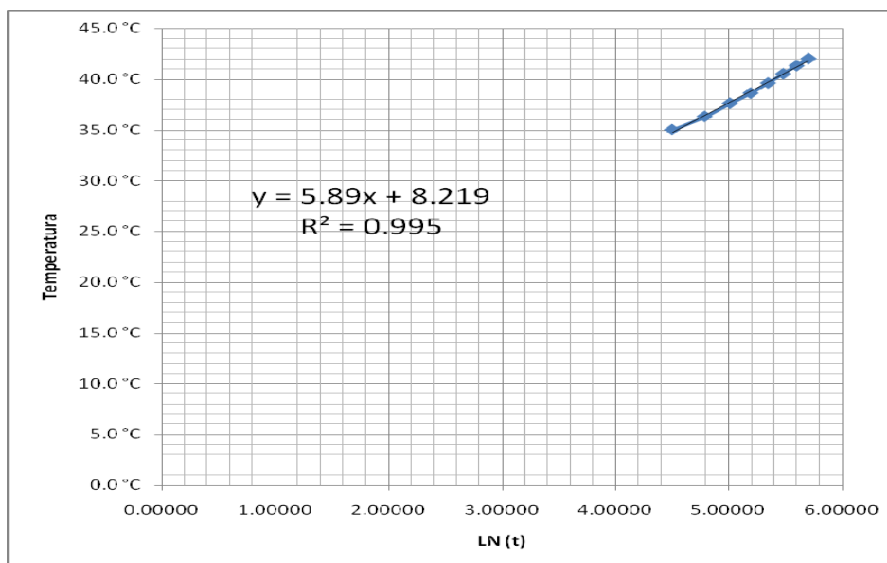


Gráfico A27: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-06 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-06				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.23 V	27.3 °C	
1.75 A	30 s	12.23 V	33.2 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.23 V	36.5 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.23 V	38.9 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.23 V	40.8 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.23 V	42.6 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.23 V	44.1 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.23 V	45.7 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.23 V	47.0 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.23 V	48.2 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.23 V	49.4 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>8.789</b>	<b>K</b>	<b>0.521</b>	

TABLA A28: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-06 utilizando 1.75 A. para la corriente.

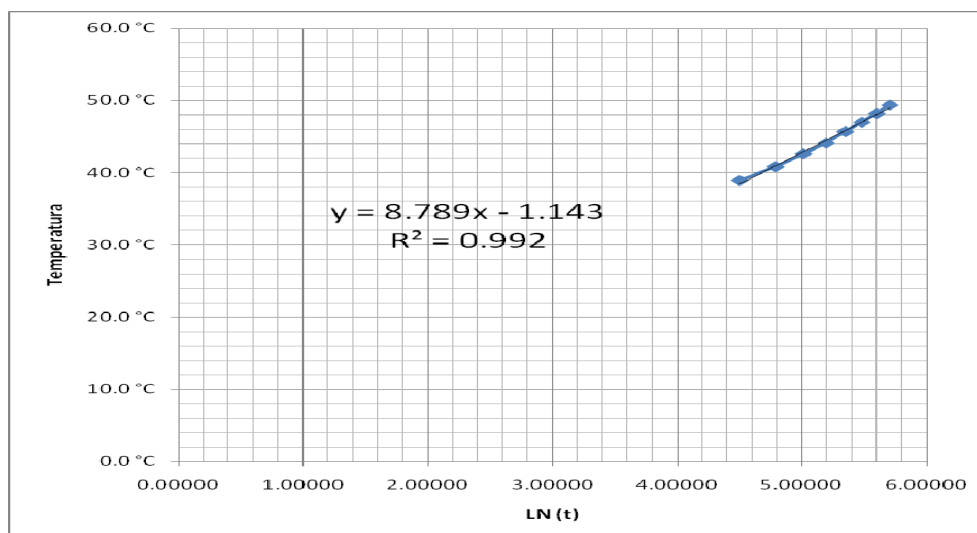


Gráfico A28: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-06 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-06				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.23 V	24.7 °C	
2.00 A	30 s	12.23 V	32.1 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.23 V	36.5 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.23 V	39.4 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.23 V	41.9 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.23 V	42.4 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.23 V	44.1 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.23 V	46.2 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.23 V	48.0 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.23 V	49.6 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.23 V	51.2 °C	5.70378
Pendiente	9.647	K	0.62	

TABLA A29: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-06 utilizando 2.00 A. para la corriente.

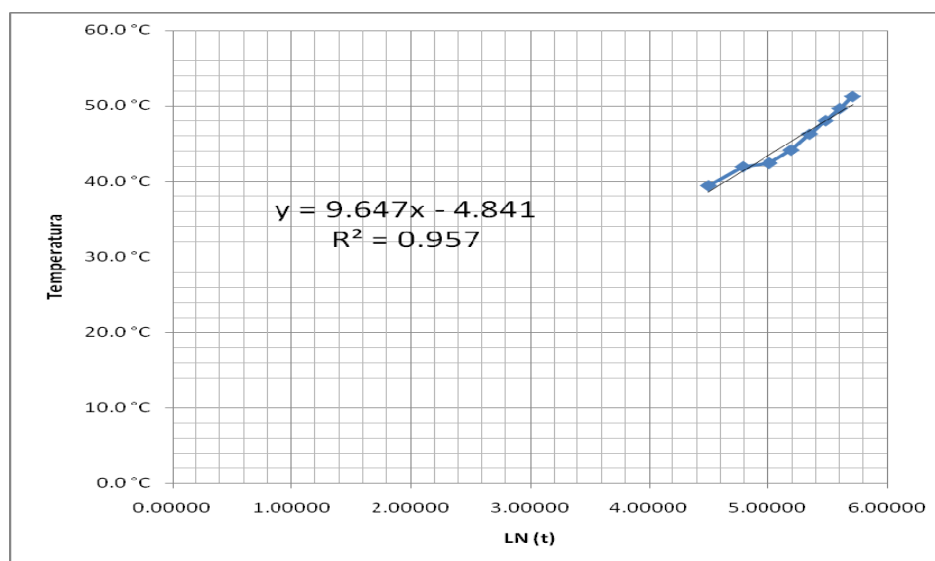


Gráfico A29: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-06 utilizando 2.00 A. para la corriente.



Código de la probeta: ECT-06				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.34 V	24.5 °C	
2.25 A	30 s	12.34 V	34.0 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.34 V	39.5 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.34 V	43.3 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.34 V	46.7 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.34 V	48.9 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.34 V	52.2 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.34 V	54.6 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.34 V	56.9 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.34 V	59.0 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.34 V	61.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>13.22</b>	<b>K</b>	<b>0.573</b>	

TABLA A30: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-06 utilizando 2.25 A. para la corriente.

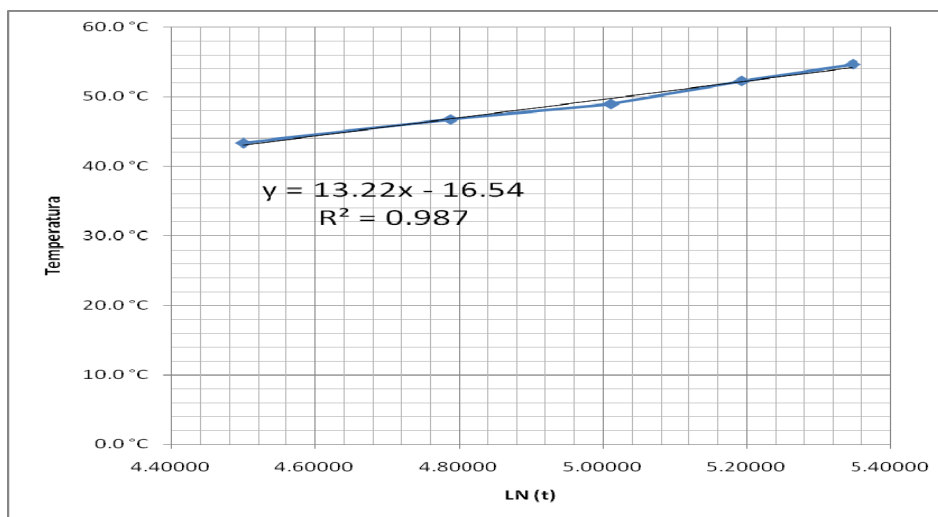


Gráfico A30: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-06 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-07				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.60 V	26.9 °C	
1.25 A	30 s	12.60 V	29.5 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.60 V	30.7 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.60 V	31.4 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.60 V	31.8 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.60 V	32.1 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.60 V	32.3 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.60 V	32.6 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.60 V	32.9 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.60 V	33.0 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.60 V	33.2 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>1.502</b>	<b>K</b>	<b>1.556</b>	

TABLA A31: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-07 utilizando 1.25 A. para la corriente.

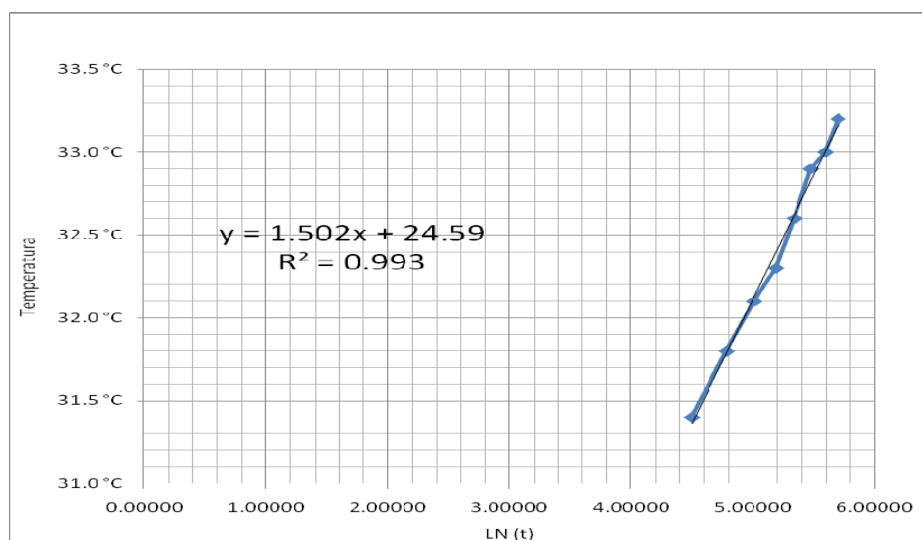


Gráfico A31: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-07 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-07				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.53 V	28.3 °C	
1.50 A	30 s	12.53 V	31.9 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.53 V	33.7 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.53 V	34.5 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.53 V	35.1 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.53 V	35.5 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.53 V	35.9 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.53 V	36.2 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.53 V	36.4 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.53 V	36.7 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.53 V	36.9 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>1.979</b>	<b>K</b>	<b>1.701</b>	

TABLA A32: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-07 utilizando 1.50 A. para la corriente.

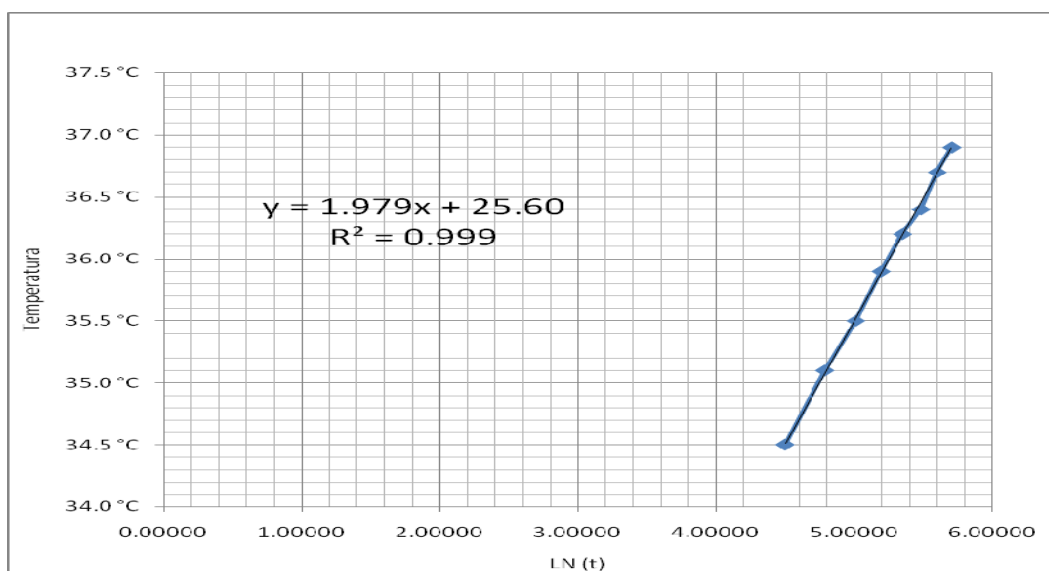


Gráfico A32: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-07 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-07				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.50 V	28.3 °C	
1.75 A	30 s	12.50 V	33.9 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.50 V	36.6 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.50 V	37.8 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.50 V	38.6 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.50 V	39.2 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.50 V	39.6 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.50 V	40.0 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.50 V	40.3 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.50 V	40.6 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.50 V	40.8 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>2.486</b>	<b>K</b>	<b>1.843</b>	

TABLA A33: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-07 utilizando 1.75 A. para la corriente.

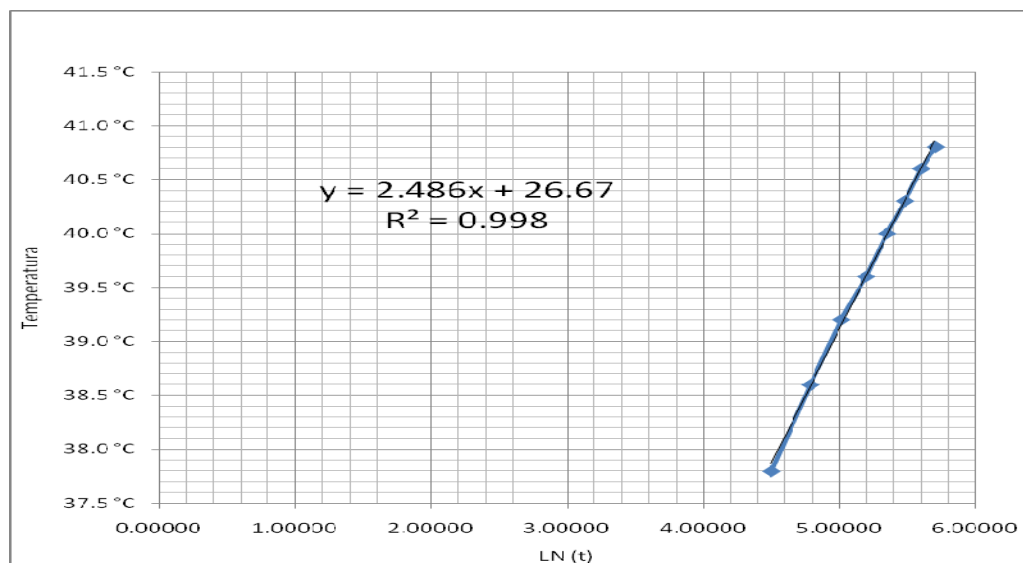


Gráfico A33: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-07 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-07				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.48 V	28.5 °C	
2.00 A	30 s	12.48 V	35.8 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.48 V	39.8 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.48 V	41.2 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.48 V	42.3 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.48 V	43.2 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.48 V	43.8 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.48 V	44.3 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.48 V	44.8 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.48 V	45.2 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.48 V	45.5 °C	5.70378
Pendiente	3.573	K	1.675	

TABLA A34: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-07 utilizando 2.00 A. para la corriente.

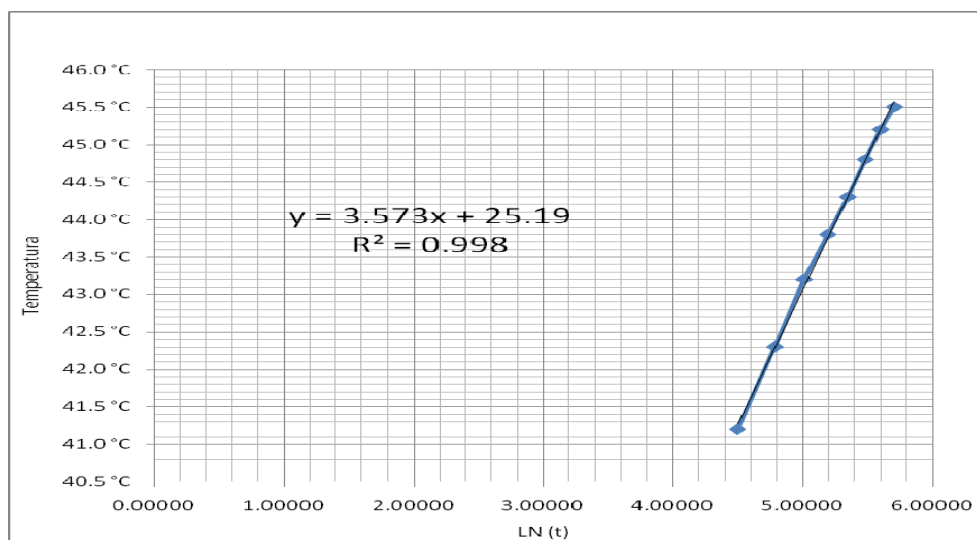


Gráfico A34: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-07 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-07				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.48 V	28.5 °C	
2.25 A	30 s	12.48 V	37.0 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.48 V	41.2 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.48 V	43.4 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.48 V	44.7 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.48 V	45.6 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.48 V	46.4 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.48 V	46.9 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.48 V	47.4 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.48 V	47.9 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.48 V	48.2 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>4.163</b>	<b>K</b>	<b>1.819</b>	

TABLA A35: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-07 utilizando 2.25 A. para la corriente.

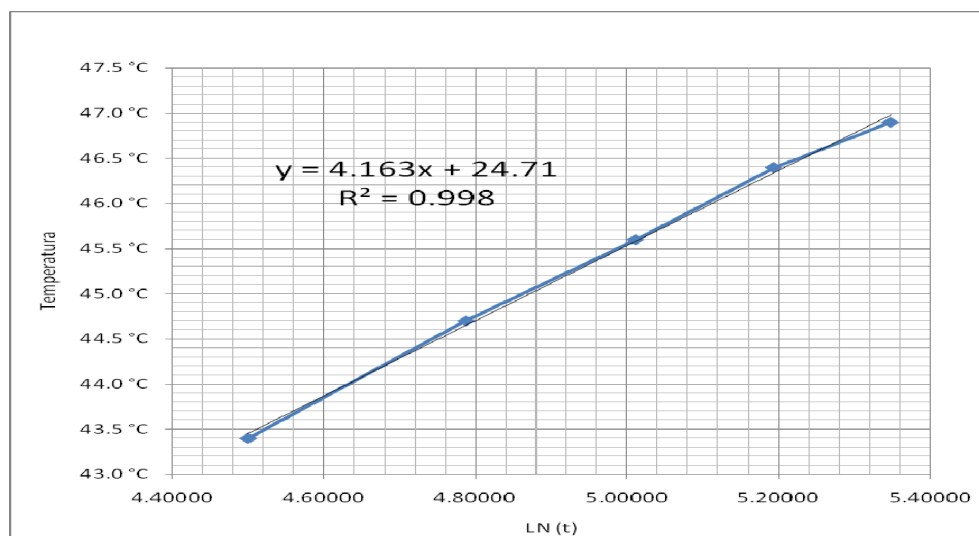


Gráfico A35: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-07 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-08				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.62 V	22.8 °C	
1.25 A	30 s	12.62 V	25.9 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.62 V	27.6 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.62 V	28.9 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.62 V	29.7 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.62 V	30.5 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.62 V	31.1 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.62 V	31.7 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.62 V	32.2 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.62 V	32.6 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.62 V	33.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>3.457</b>	<b>K</b>	<b>0.676</b>	

TABLA A36: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-08 utilizando 1.25 A. para la corriente.

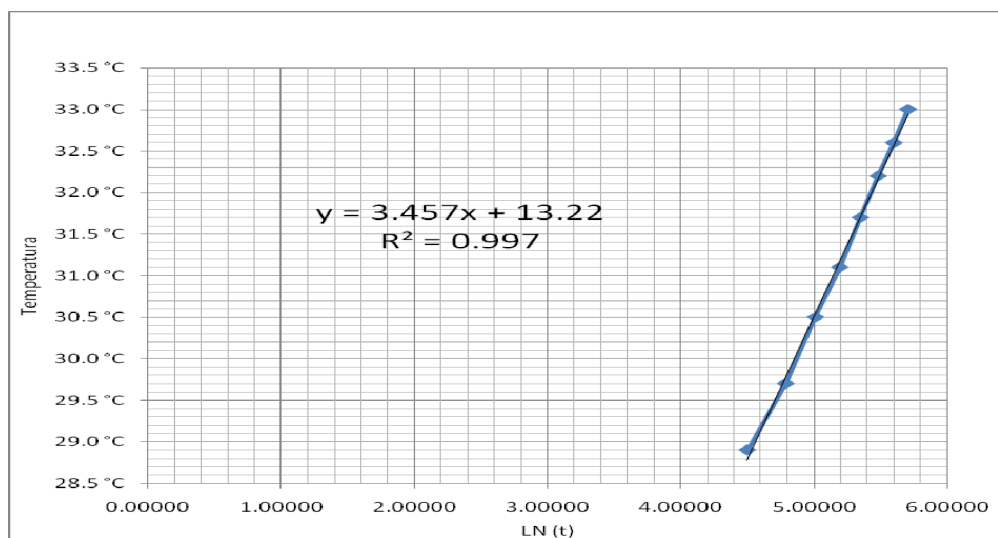


Gráfico A36: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-08 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-08				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.61 V	24.8 °C	
1.50 A	30 s	12.61 V	29.2 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.61 V	31.9 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.61 V	33.6 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.61 V	34.9 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.61 V	36.1 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.61 V	37.1 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.61 V	37.9 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.61 V	38.7 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.61 V	39.4 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.61 V	40.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>5.366</b>	<b>K</b>	<b>0.627</b>	

TABLA A37: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-08 utilizando 1.50 A. para la corriente.

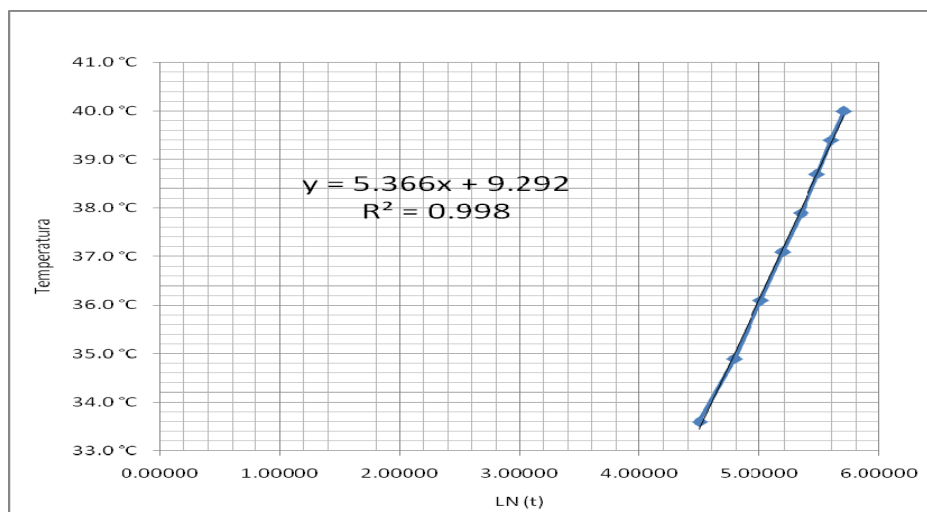


Gráfico A37: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-08 utilizando 1.50 A. para la corriente.



Código de la probeta: ECT-08				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.58 V	24.8 °C	
1.75 A	30 s	12.58 V	31.0 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.58 V	34.8 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.58 V	37.4 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.58 V	39.4 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.58 V	41.2 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.58 V	42.9 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.58 V	44.3 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.58 V	45.6 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.58 V	46.8 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.58 V	47.8 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>8.763</b>	<b>K</b>	<b>0.523</b>	

TABLA A38: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-08 utilizando 1.75 A. para la corriente.

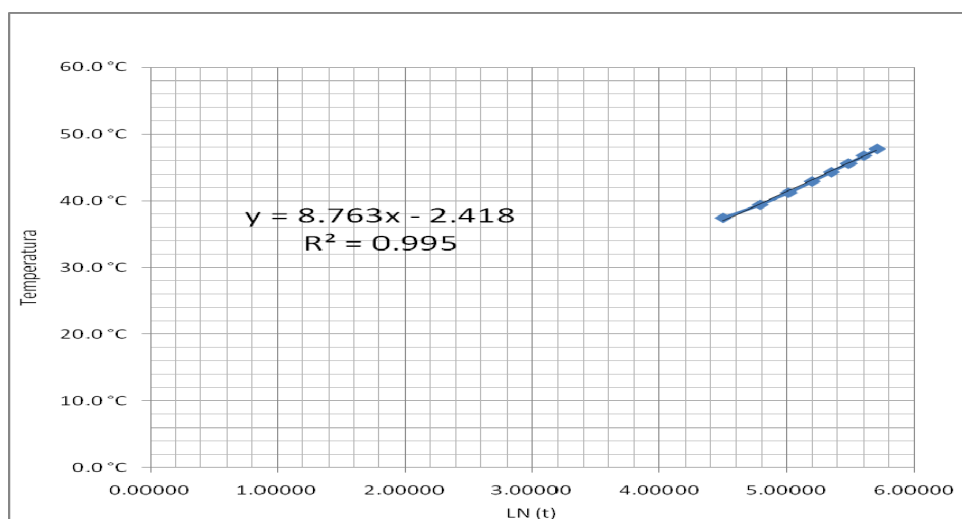


Gráfico A38: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-08 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-08				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.53 V	25.0 °C	
2.00 A	30 s	12.53 V	33.1 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.53 V	38.1 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.53 V	41.6 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.53 V	44.4 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.53 V	47.0 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.53 V	49.3 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.53 V	51.4 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.53 V	53.3 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.53 V	55.1 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.53 V	56.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>12.65</b>	<b>K</b>	<b>0.473</b>	

TABLA A39: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-08 utilizando 2.00 A. para la corriente.

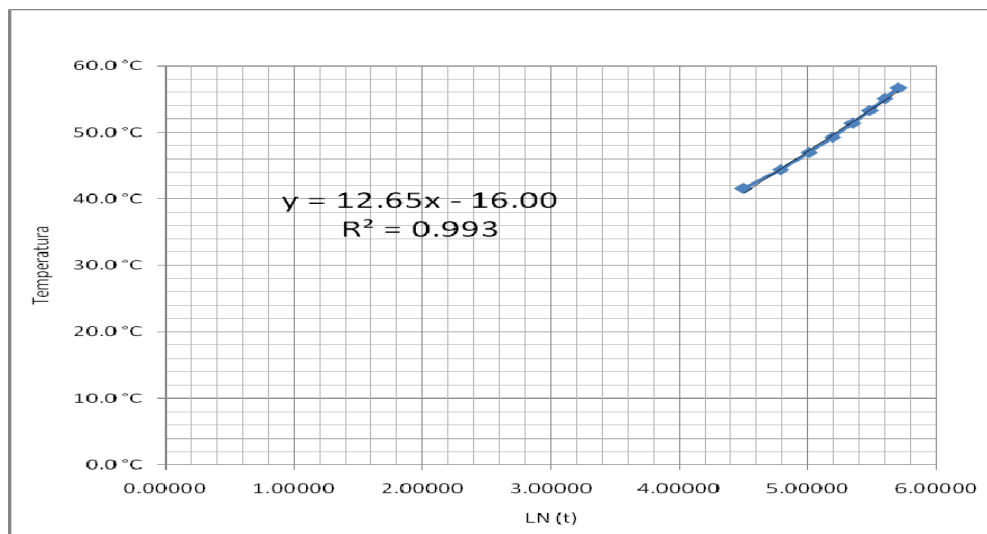


Gráfico A39: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-08 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-08				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.50 V	25.7 °C	
2.25 A	30 s	12.50 V	35.4 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.50 V	42.1 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.50 V	46.7 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.50 V	50.4 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.50 V	53.7 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.50 V	56.8 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.50 V	59.6 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.50 V	62.3 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.50 V	64.7 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.50 V	67.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>16.97</b>	<b>K</b>	<b>0.446</b>	

TABLA A40: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-08 utilizando 2.25 A. para la corriente.

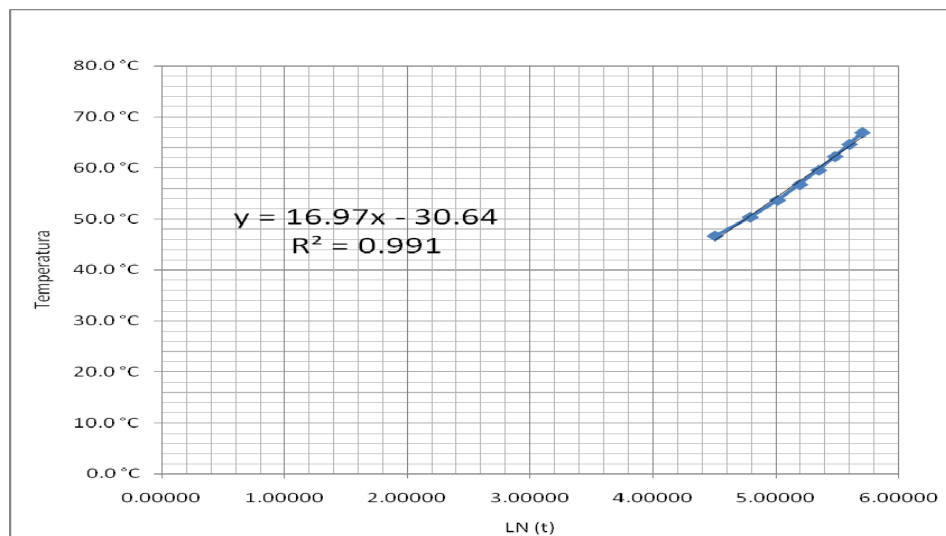


Gráfico A40: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-08 utilizando 2.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-09				
MEDICION 1		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.25 A	0 s	12.60 V	30.1 °C	
1.25 A	30 s	12.60 V	32.5 °C	3.40120
1.25 A	60 s	12.60 V	33.7 °C	4.09434
1.25 A	90 s	12.60 V	34.0 °C	4.49981
1.25 A	120 s	12.60 V	34.2 °C	4.78749
1.25 A	150 s	12.60 V	34.3 °C	5.01064
1.25 A	180 s	12.60 V	34.4 °C	5.19296
1.25 A	210 s	12.60 V	34.5 °C	5.34711
1.25 A	240 s	12.60 V	34.6 °C	5.48064
1.25 A	270 s	12.60 V	34.6 °C	5.59842
1.25 A	300 s	12.60 V	34.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>0.564</b>	<b>K</b>	<b>4.145</b>	

TABLA A41: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-09 utilizando 1.25 A. para la corriente.

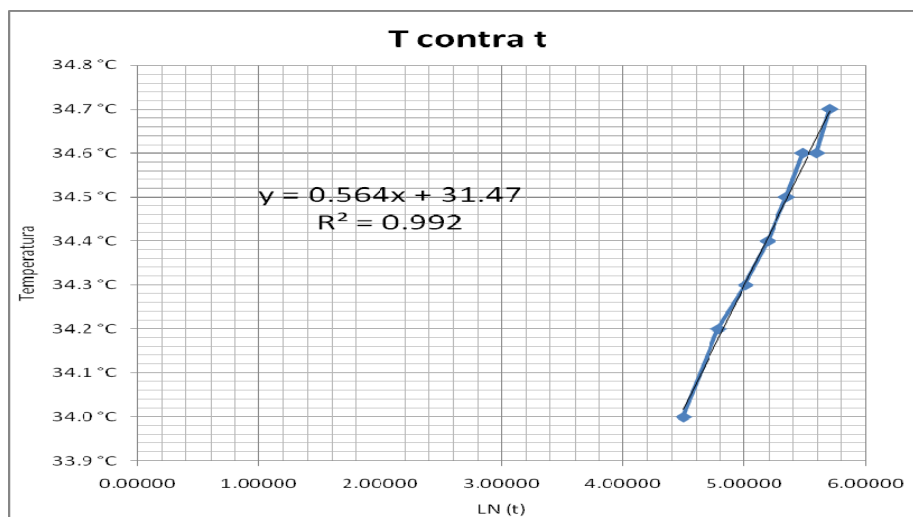


Gráfico A41: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-09 utilizando 1.25 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-09				
MEDICION 2		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.50 A	0 s	12.61 V	30.1 °C	
1.50 A	30 s	12.61 V	33.7 °C	3.40120
1.50 A	60 s	12.61 V	35.3 °C	4.09434
1.50 A	90 s	12.61 V	35.8 °C	4.49981
1.50 A	120 s	12.61 V	36.1 °C	4.78749
1.50 A	150 s	12.61 V	36.2 °C	5.01064
1.50 A	180 s	12.61 V	36.3 °C	5.19296
1.50 A	210 s	12.61 V	36.5 °C	5.34711
1.50 A	240 s	12.61 V	36.6 °C	5.48064
1.50 A	270 s	12.61 V	36.6 °C	5.59842
1.50 A	300 s	12.61 V	36.7 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>0.732</b>	<b>K</b>	<b>4.598</b>	

TABLA A42: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-09 utilizando 1.50 A. para la corriente.

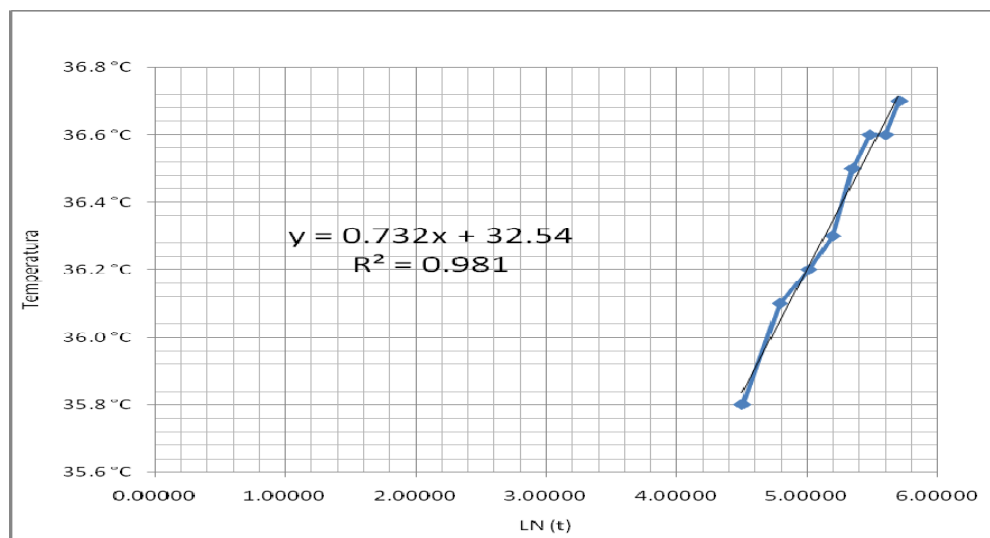


Gráfico A42: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-09 utilizando 1.50 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-09				
MEDICION 3		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
1.75 A	0 s	12.60 V	30.1 °C	
1.75 A	30 s	12.60 V	35.1 °C	3.40120
1.75 A	60 s	12.60 V	37.3 °C	4.09434
1.75 A	90 s	12.60 V	38.1 °C	4.49981
1.75 A	120 s	12.60 V	38.4 °C	4.78749
1.75 A	150 s	12.60 V	38.6 °C	5.01064
1.75 A	180 s	12.60 V	38.7 °C	5.19296
1.75 A	210 s	12.60 V	38.9 °C	5.34711
1.75 A	240 s	12.60 V	38.9 °C	5.48064
1.75 A	270 s	12.60 V	39.0 °C	5.59842
1.75 A	300 s	12.60 V	39.1 °C	5.70378
Pendiente	0.801	K	5.72	

TABLA A43: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-09 utilizando 1.75 A. para la corriente.

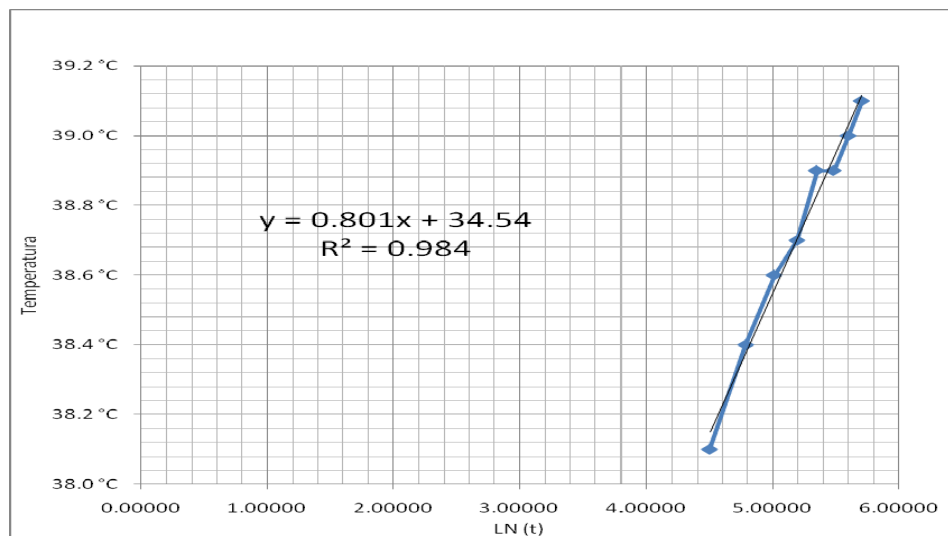


Gráfico A43: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-09 utilizando 1.75 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-09				
MEDICION 4		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.00 A	0 s	12.60 V	30.2 °C	
2.00 A	30 s	12.60 V	37.0 °C	3.40120
2.00 A	60 s	12.60 V	39.9 °C	4.09434
2.00 A	90 s	12.60 V	41.0 °C	4.49981
2.00 A	120 s	12.60 V	41.4 °C	4.78749
2.00 A	150 s	12.60 V	41.6 °C	5.01064
2.00 A	180 s	12.60 V	41.8 °C	5.19296
2.00 A	210 s	12.60 V	41.9 °C	5.34711
2.00 A	240 s	12.60 V	41.9 °C	5.48064
2.00 A	270 s	12.60 V	42.0 °C	5.59842
2.00 A	300 s	12.60 V	42.0 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>0.817</b>	<b>K</b>	<b>7.324</b>	

TABLA A44: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-09 utilizando 2.00 A. para la corriente.

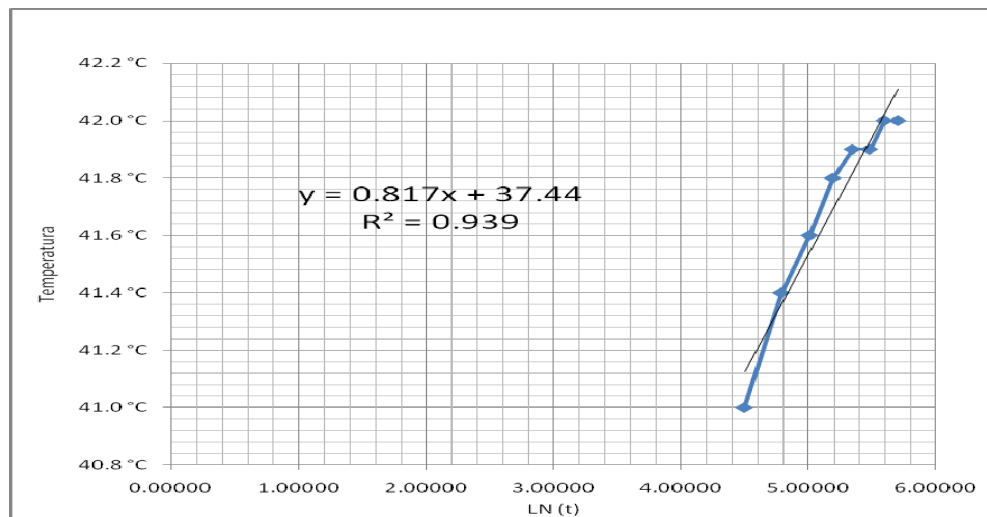


Gráfico A44: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-09 utilizando 2.00 A. para la corriente.

Código de la probeta: ECT-09				
MEDICION 5		R	5.5	
Corriente	Tiempo	Voltaje	Temperatura	ln t
2.25 A	0 s	12.60 V	30.2 °C	
2.25 A	30 s	12.60 V	38.6 °C	3.40120
2.25 A	60 s	12.60 V	42.1 °C	4.09434
2.25 A	90 s	12.60 V	43.4 °C	4.49981
2.25 A	120 s	12.60 V	44.0 °C	4.78749
2.25 A	150 s	12.60 V	44.2 °C	5.01064
2.25 A	180 s	12.60 V	44.4 °C	5.19296
2.25 A	210 s	12.60 V	44.5 °C	5.34711
2.25 A	240 s	12.60 V	44.5 °C	5.48064
2.25 A	270 s	12.60 V	44.5 °C	5.59842
2.25 A	300 s	12.60 V	44.5 °C	5.70378
<b>Pendiente</b>	<b>1.109</b>	<b>K</b>	<b>6.829</b>	

TABLA A45: Valores tomados en el ensayo de conductividad térmica a la probeta ECT-09 utilizando 2.25 A. para la corriente.

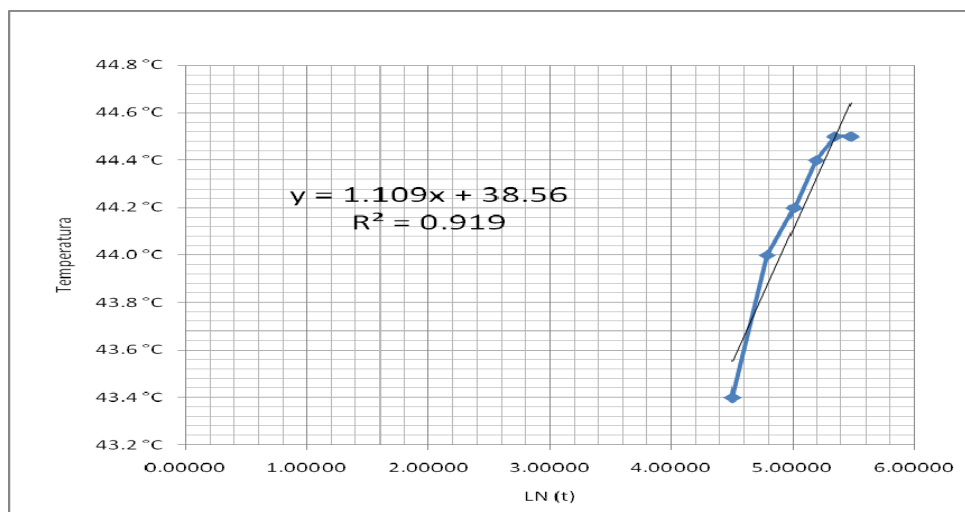


Gráfico A45: Temperatura versus LN(t) a la probeta ECT-09 utilizando 2.25 A. para la corriente.



## ANEXO 2

### A QUIEN CORRESPONDA:

Nuestro laboratorio de suelos y materiales ha recibido solicitud de ensayar a compresión TRES (3) especímenes cúbicos elaborados a base de polvo de estopa de coco y también UN (1) espécimen cilíndrico elaborado a base de polvo de estopa de coco mezclado con cemento al 3%, que forman parte del trabajo de tesis denominado **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICADOS CON POLVO DE ESTOPA DE COCO"**.

Debemos hacer notar que nuestros ensayos de laboratorio siempre están normados bajo estándares específicos para cada material que se ensaya, y en vista de que no contamos con base teórica para ensayar la mezcla de polvo de estopa de coco, únicamente hemos tomado *referencia* de los ensayos a compresión sobre muestras de concreto endurecido (ASTM C39).

Los ensayos de los especímenes cúbicos Nos. ERC-1, ERC-2 y ERC-3 no han podido ser culminados debido a la compresibilidad del material, lo que provoca que la plataforma superior se sesgue lateralmente y comience a aplicar carga sobre la misma máquina de compresión, corriendo el riesgo de dañarla.

Se ha procedido únicamente a someter a compresión UN (1) espécimen cilíndrico de las siguientes características:

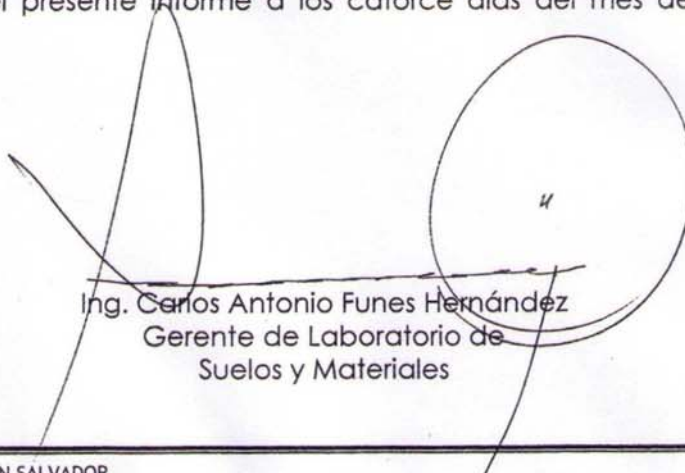
- **Diámetro: 10.5 cm**      - **Altura: 9.7 cm**      - **Peso: 532.0 g**

Al someterlo a compresión, los resultados son los siguientes:

**Para un área de ensayo de: 86.59 cm<sup>2</sup> y una carga de 110 kg se determina un esfuerzo a la compresión de 1.27 kg/cm<sup>2</sup>.**

Sin otro particular más que agradecer la confianza depositada en nuestro laboratorio para ejecutar el ensayo, emitimos el presente informe a los catorce días del mes de noviembre de 2008.

Atentamente,  
Por **SEPROBIA, S.A. DE C.V.**



Ing. Carlos Antonio Funes Hernández  
Gerente de Laboratorio de  
Suelos y Materiales