



**PROEXKA1.0 – PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS ACEROS AISI SAE 1045 Y 4140 MEDIANTE EL MÉTODO DE BARRAS CONCÉNTRICAS CORTADAS.**

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)

**DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO:**

En esta investigación fue realizado el diseño y la construcción de un equipo de laboratorio que permite medir la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 y 4140. El equipo tiene como fin principal, la realización de prácticas de laboratorio que permitan afianzar al estudiante conceptos relacionados al fenómeno de conducción de calor, a través de la aplicación de la Ley de Fourier y la ecuación de difusión de calor. La configuración del equipo consiste en disponer de tres barras metálicas cilíndricas dispuestas en serie, de igual diámetro y aisladas térmicamente.

Las barras de los extremos son usadas como referencia, pues se conocen las propiedades físicas. Para este caso se usa cobre, y una tercera barra a la cual se le determina la conductividad térmica. Esta configuración dispone de una fuente de calor constante en un extremo y un sumidero de calor en el otro, siendo este proceso innovador para la fase experimental.

El fenómeno de conducción de calor a través de la barras es simulado en condiciones de estado estable y muestra que el flujo de calor en dirección radial es despreciable, por el efecto del aislante y por el hecho que  $D/L \ll 1$ , siendo predominante el flujo de calor axial. Estas simulaciones son usadas para elegir las dimensiones propicias del equipo, el número de termocuplas

necesarias, y el requerimiento de potencia para la superficie calefactora.

**Contenido**

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO:.....1  
 Lista de Tablas.....2  
 Lista de Figuras.....2  
 1. INTRODUCCION .....2  
 2. DIAGNOSTICO INICIAL .....3  
 2.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO .....3  
 2.2 SABERES DE LA UNIDAD 1 DEL PLAN DE CURSO DE TRANSFERENCIA DE CALOR. ....3  
 2.3 REJILLA DE DIAGNÓSTICO INICIAL .....4  
 3. OBJETIVOS DEL PROCEDIMIENTO .....5  
 3.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROCEDIMIENTO...5  
 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROCEDIMIENTO.....5  
 4. DISEÑO Y PRUEBAS DEL EQUIPO.....5  
 4.1 DISEÑO PRELIMINAR .....5  
 4.2 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN .....5  
 4.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN .....6  
 4.3.1 Sumidero de calor .....6  
 4.3.2 Sistema de medición de las temperaturas .....7  
 4.3.2.1 Indicador de temperaturas.....7  
 4.3.3 Pruebas finales .....8  
 4.3.3.1 Pruebas en el acero AISI SAE 1045 .....8  
 4.3.3.2 Pruebas en el acero AISI SAE 4140 .....8  
 4.4 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DEL EQUIPO.....9  
 5. MANUAL DE OPERACIÓN DE COMSOL MULTIPHYSICS PARA PRUEBA DE CONDUCCIÓN DE CALOR EN METALES .....9  
 6. PROTOCOLO Y PROCEDIMIENTO (MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL EQUIPO CONSTRUIDO) ....15  
 6.1 DERECHOS DE LOS USUARIOS.....16  
 6.2 DEBERES DE LOS USUARIOS .....16

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



6.3 NORMAS DE TRABAJO DE OBLIGATORIO CUMPLIMIENTO.....	16
6.4 NORMAS DE SEGURIDAD.....	17
6.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	17
6.5.1 El pre-informe.....	17
6.5.2 El informe.....	18
6.5.3 Competencias y Resultados de Aprendizaje.....	18
7. REJILLA FINAL DE EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	19
8. ANALISIS FINAL DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	20
Referencias.....	21

### Lista de Tablas

Tabla 1. Estudiantes beneficiados del procedimiento innovador experimental.....	3
Tabla 2. Saberes de la Unidad 1 del plan de curso de transferencia de calor.....	3
Tabla 3. Rejilla de diagnóstico inicial.....	4
Tabla 4. Formato de Preinforme.....	17
Tabla 5. Modelo de preinforme.....	18
Tabla 6. Formato de informe.....	18
Tabla 7. Identificación, competencia y resultados de aprendizaje.....	18
Tabla 8. Formato de desarrollo del ensayo.....	18
Tabla 9. Rejilla de evaluación final.....	19

### Lista de Figuras

Figura 1. Sistema de medición de la conductividad térmica por el método de barras cortadas.....	5
Figura 2. Modelo final y prototipo real del equipo.....	6
Figura 3. Sumidero de calor.....	7
Figura 4. Indicador de temperaturas FP 4030.....	7
Figura 5. Modelo del sistema de barra compuesta envuelta en aislante.....	7
Figura 6. Inicio de prueba al acero AISI SAE 1045.....	8

## 1. INTRODUCCION

En la formación académica en áreas de las ciencias e ingeniería, las prácticas de laboratorio son herramientas indispensables ya que éstas permiten experimentar fenómenos físicos básicos y brindan a los estudiantes una experiencia directa, que ayudan a afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clase que a la postre redundará en un buen desempeño profesional.

En particular, el trabajo en el laboratorio contribuye al pensamiento creativo, a la capacidad para resolver problemas, promover el pensamiento científico y desarrollar habilidades prácticas como: registro, análisis e interpretación de datos, así como adquirir la capacidad de formular hipótesis y hacer suposiciones [1]. Esto indiscutiblemente afianza los conocimientos y amplía la visión de los estudiantes sobre los fenómenos que se estudian. El trabajo práctico en el laboratorio enseña además, que los resultados obtenidos difieren a los adquiridos de manera teórica, mostrando que las decisiones que se toman requieren de un profundo análisis. Esto obliga a integrar o investigar otros fenómenos que pueden estar incidiendo en dicho resultado. En la investigación, el trabajo de laboratorio permite que se generen nuevos conocimientos y se haga investigación de punta. Cabe destacar que los laboratorios validan la teoría y ajustan datos para simuladores por computadora, estos buscan obtener resultados más cercanos a la realidad; también sirven para ajustar modelos matemáticos para diferentes condiciones fenomenológicas.

El objetivo de este trabajo es implementar un equipo de laboratorio didáctico para prácticas de transferencia de calor por conducción. Por tanto, el equipo permite determinar la conductividad térmica de un material sólido basado en la Ley de Fourier a partir de la distribución de temperatura del material y de la densidad de flujo de calor que viaja a través del mismo.

Con ayuda del paquete de simulación COMSOL Multiphysics [2] y basados en la revisión de la literatura, se realizó un diseño preliminar el cual se simuló para

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



determinar la conveniencia de la distribución de temperaturas generada en relación

A la instrumentación necesaria y sus requerimientos técnicos; requerimiento de potencia de la fuente de calor y de las especificaciones del sumidero de calor, permitiéndonos ejecutar las actividades para el construcción y montaje del equipo.

Para las prácticas se usan materiales de composición química conocida y de esta forma poder contrastar los datos obtenidos con los reportados en la literatura.

## 2. DIAGNOSTICO INICIAL

El programa de ingeniería Electromecánica de las Unidades Tecnológicas de Santander se ofrece con base en la reglamentación sobre ciclos propedéuticos que establece la ley 749 de 2002, además, se enmarca en el diseño, caracterización, operación y mantenimiento de los sistemas, procesos y elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos, de control y electromecánicos integrados. En los últimos semestres los estudiantes cursan la asignatura transferencia de calor, esta es netamente teórica, pero con miras a desarrollar creatividad, innovación y adquirir las competencias académicas del saber con el saber hacer, sin dejar de lado el ser.

### 2.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Normalmente para la asignatura se ofertan dos (2) grupos por semestre con capacidad aproximada de 37 estudiantes cada uno. En la tabla 1 se aprecia el comportamiento de los cursos de transferencia de calor en los semestres I/2016, II/2016, I/2017, II/2017.

Tabla 1. Estudiantes beneficiados del procedimiento innovador experimental.

Semestre	Cursos ofertados-Código	Número de estudiantes	Total estudiantes por semestre
I/2016	E111	35	73
	E112	38	
II/2016	E111	36	73
	E112	37	
I/2017	E111	34	73
	E112	36	
II/2017	E111	38	77
	E112	39	

Total estudiantes beneficiarios del procedimiento innovador en los 4 semestres de aplicación.	296
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Fuente: Autor

De acuerdo a la tabla 1 se puede apreciar la población estudiantil beneficiada de este procedimiento innovador en la determinación de la conductividad térmica por el método de barras concéntricas cortadas, para este caso, en los últimos 4 semestres son en total 296 estudiantes.

## 2.2 SABERES DE LA UNIDAD 1 DEL PLAN DE CURSO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Con este procedimiento, el estudiante de la asignatura transferencia de calor, adquiere los saberes correspondientes a la Unidad 1, planificada para las tres (3) primeras semanas de clase. En este tiempo se verá la teoría en el aula y la fase experimental se lleva a cabo en el laboratorio de térmicas, con ello, los estudiantes contrastan los saberes teóricos con las competencias experimentales.

La tabla 2 muestra los saberes correspondientes a la Unidad 1 del plan de curso.

Tabla 2. Saberes de la Unidad 1 del plan de curso de transferencia de calor.

SABERES DE LA UNIDAD 1 DEL PLAN DE CURSO		
Conceptuales	Procedimentales	Actitudinales
*Conceptos básicos de la transferencia de calor Ecuación de la conducción de calor. *Conducción en estado estable. *Mecanismo físico de la conducción.	*Análisis e interpretación del concepto de calor y sus distintas formas de transferencia; los mecanismos de transferencia de calor y las ecuaciones de conducción de calor *Diferenciación de los métodos de transferencia de calor y deducción de las ecuaciones correspondientes, aplicando el concepto de resistencia térmica para solución de problemas de aplicación.	*Respeta la opinión de sus demás compañeros en el salón de clases. *Cumple con las actividades asignadas para su socialización en el salón de clases y en el laboratorio de térmicas. *Colabora con los compañeros en el seguimiento de las actividades académicas.
*Ley de Fourier de la conducción de calor. *Conductividad Térmica.		

Autores:

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



*Ecuación de conducción de calor.	*Interpretación y contrastación entre valores de conductividad térmica basados en ecuaciones teóricas con los resultados experimentales.	*Puntualidad y responsabilidad en la entrega de trabajos e informes de laboratorio.
-----------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Autor

Los saberes de la asignatura para las primeras semanas de clase, contemplan la interpretación de los mecanismos de transferencia de calor (Conducción, Convección y Radiación), para este caso específico, el procedimiento se centra en la competencia teórico-práctica referente a la conductividad térmica de materiales (ACEROS AISI SAE 1045 Y 4140).

### 2.3 REJILLA DE DIAGNÓSTICO INICIAL

Teniendo en cuenta la población estudiantil que tiene la asignatura se diseña una rejilla de diagnóstico inicial donde se chequean los pre-saberes al iniciar el curso.

La rejilla diseñada cuenta con una serie de preguntas con dos únicas opciones “SI” o “NO”, aunque parezcan preguntas subjetivas ayudan a realizar un sondeo de los saberes y las expectativas de los estudiantes frente a una asignatura que en el pensum figura como teórica con cuatro (4) créditos.

Tabla 3. Rejilla de diagnóstico inicial

REJILLA DE DIAGNOSTICO INICIAL			
CRITERIOS	INDICADORES	Cumple	
		SI	NO
Sensibilización	¿Conoce los mecanismos de transferencia de calor?		X
	¿Identifica la importancia de la conductividad térmica en los materiales y la influencia de esta propiedad en los procesos industriales?		X
	¿Conoce la nomenclatura y normatividad técnica AISI SAE para la clasificación de aceros?		X
	¿Conoce algún equipo que determine conductividad térmica de materiales?		X

REJILLA DE DIAGNOSTICO INICIAL			
CRITERIOS	INDICADORES	Cumple	
		SI	NO
Marco teórico	¿Maneja el software de modelamiento COMSOL Multiphysics?		X
	¿Deduce la Ley de Fourier?		X
	¿Interpreta el fenómeno de conducción de calor en condiciones de estado estable?		X
Marco experimental	¿Identifica la distribución de temperatura de un material y la densidad de flujo de calor que viaja a través del mismo?		X
	¿Conoce los diferentes tipos de termocuplas que se encuentran comercialmente y la sensibilidad de cada una?		X
	¿Ha realizado un informe de laboratorio en formato IEEE?		X
	¿Conoce las normas de seguridad que se deben llevar a cabo durante una prueba de laboratorio?		X

Fuente: Autor

En la tabla 3, se plantean tres (3) criterios con los indicadores para cada uno, estos son:

**Sensibilización:** En este criterio se realizan unas preguntas de entrada, con ello se busca un acercamiento a conceptos básicos de la asignatura.

**Marco teórico:** Este criterio mide la capacidad teórica del estudiante referente a fenómenos y leyes termodinámicas de la naturaleza.

**Marco experimental:** Acá se plantean preguntas de conocimiento referentes componentes usados en equipos del área térmica, así como manejo el manejo de normas de trabajo en el laboratorio y el estilo para presentar el informe de la práctica realizada en un formato específico (IEEE).

Al diligenciar la rejilla de diagnóstico inicial (Tabla 3), se pudo evidenciar que los estudiantes carecen de presaberes y que se hace necesario la implementación de este procedimiento para determinar la conductividad térmica de aceros mediante el método de barras concéntricas cortadas.

Autores:

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



### 3. OBJETIVOS DEL PROCEDIMIENTO

El diseño y la aplicación de un procedimiento innovador basado en fase experimental que conlleva a la adquisición de los saberes de una temática específica en el área térmica de un egresado del programa constituyen un valor agregado en su formación.

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROCEDIMIENTO.

Implementar un banco de pruebas que permita determinar en forma experimental la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 y 4140 mediante el método de barras concéntricas cortadas para fortalecer los conocimientos teóricos de transferencia de calor en las Unidades Tecnológicas de Santander.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROCEDIMIENTO

Diseñar y construir un banco de pruebas para determinar la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 y 4140, asistido por el software de modelamiento COMSOL Multiphysics y mediante técnicas convencionales de manufactura.

Obtener de forma experimental la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045, 4140 (y diferentes metales) para compararlos con las especificaciones técnicas dadas por los fabricantes.

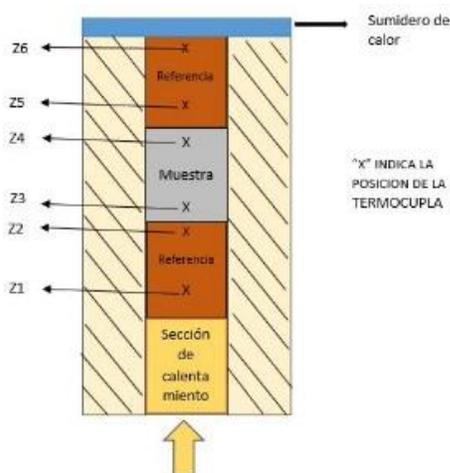
Diseñar las prácticas de laboratorio para determinar la conductividad térmica de los metales basados en los resultados obtenidos con el software de modelamiento.

### 4. DISEÑO Y PRUEBAS DEL EQUIPO

#### 4.1 DISEÑO PRELIMINAR

El sistema cuenta con una fuente de calor colocada en un extremo y un sumidero en el lado posterior, en la figura 1 se muestra un diagrama del sistema.

Figura 1. Sistema de medición de la conductividad térmica por el método de barras cortadas



Fuente: Tomada de equipo para medir la conductividad térmica de los materiales de Lira Cortez [3]

#### 4.2 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se determinaron las condiciones iniciales a las que opera el sistema apoyados en la herramienta de diseño CAD COMSOL MULTIPHYSICS, y teniendo en cuenta los datos obtenidos por Lira Cortez en su trabajo quien uso una fuente de calor de  $15000 \text{ W/m}^2$ , las barras de referencia como la barra a determinar la conductividad térmica fueron de 2 cm de diámetro, y la longitud de las barras de referencia las vario entre los 5 cm y los 11 cm concluyendo que entre las longitudes de 8 cm y 11 cm había menos porcentaje de error. La barra a determinar la conductividad térmica tuvo una longitud de 4 cm.

COMSOL MULTIPHYSICS es una herramienta de diseño que permite el estudio de fenómenos físicos en diferentes materiales, usado para estudiar el comportamiento de los elementos cuando son sometidos a cargas eléctricas, cargas físicas o como en este caso cuando se estudian los fenómenos de la transferencia de calor.

Este programa de modelamiento permite trabajar y variar todos los datos antes descritos y estudiar su comportamiento, basado en las pruebas hechas se definieron las condiciones iniciales para el sistema de medición.

Para las barras de referencia se decidió trabajar con cobre de alta pureza al 99.99% con una conductividad térmica

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



de 400 W/m.K, se modelaron a 8 cm y 11 cm de longitud y con diámetros de 2 y 4 cm.

Para la barra a determinar la conductividad térmica se usaron los aceros AISI SAE 1045 y 4140 siendo dos de los aceros con mayor uso en la industria, posibilitando encontrar con facilidad su conductividad térmica en tablas de fabricantes y comprobar el funcionamiento del sistema, se modelaron a 4 cm de longitud y con diámetros de 2 y 4 cm.

Para la fuente de calor, en la modelación se variaron los valores entre:

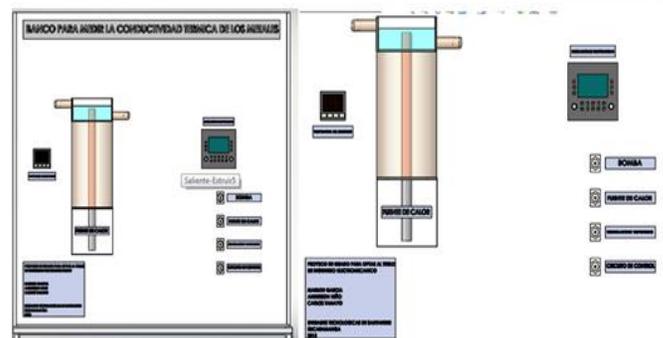
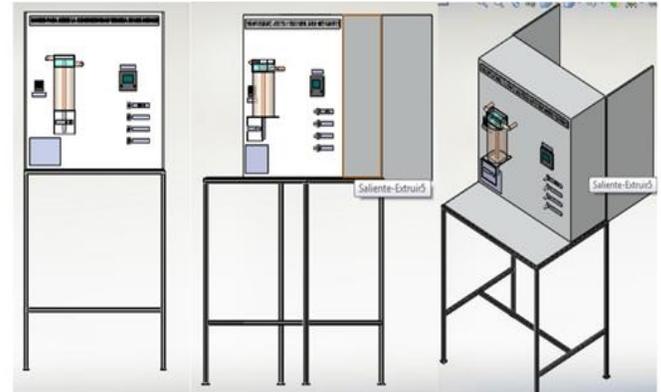
- 5000 W/m<sup>2</sup>
- 10000W/m<sup>2</sup>,
- 15000W/m<sup>2</sup> y
- 20000 W/m<sup>2</sup>.

Esta fuente de calor se expresa en unidades de área , es decir por metro cuadrado.

### 4.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

Después de llevar a cabo los cálculos se obtiene el modelo final del equipo (Figura 2).

Este modelado se lleva a cabo mediante software CAD SolidWorks, en él se puede apreciar la estructura o banco donde se encuentra dispuesto el equipo con todos los componentes.



Fuente: Autor

Figura 2. Modelo final y prototipo real del equipo.

#### 4.3.1 Sumidero de calor

El sumidero de calor tiene la tarea de mantener el sistema dentro de un rango razonable de temperaturas y no permitir que el calor se eleve demasiado.

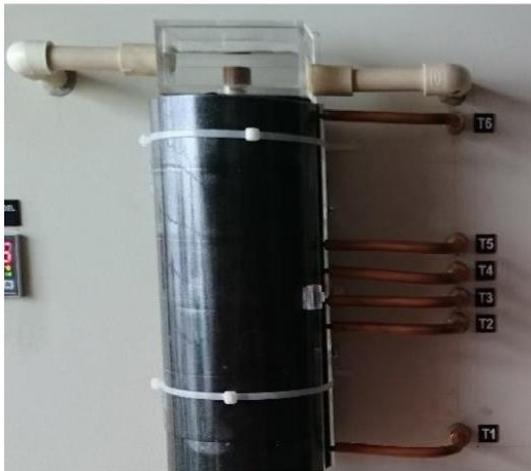
Se eligió agua como el encargado de retirar el calor a una barra de cobre de dos (2) centímetro de longitud y 2 cm de diámetro, se mandó a elaborar en acrílico transparente para permitir ver el proceso dentro del sumidero.

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



Este sistema se puede apreciar en su versión real mediante la Figura 3.

Figura 3. Sumidero de calor.



Fuente: Autor

#### 4.3.2 Sistema de medición de las temperaturas

Para llevar a cabo el registro de la variación de las temperaturas durante el proceso se decidió contar con dos elementos principales necesarios para esta tarea:

##### 4.3.2.1 Indicador de temperaturas

Este elemento permite ver en la pantalla la variación de las temperaturas que están afectando a las barras de cobre y a la barra a la cual se le desea conocer la conductividad térmica que para nuestro caso serían los aceros AISI SAE 1045 y 4140.

Adquirimos el equipo FP4030 de flexipanel por su gran adaptabilidad a este proyecto, este equipo alimentado a 24 Vdc, nos permite realizar el seguimiento de las temperaturas del sistema y nos permite mostrarlas en la pantalla LCD. Está conectado a un PLC de hasta doce entradas y 8 salidas al cual van conectados los sensores de temperatura.

Se realizó un corte con pulidora sobre la cara principal del banco de 10 cm de alto por 12 de ancho, se adhirió la pantalla al banco utilizando una mezcla de pegante industrial de resina y endurecedor (Figura 4).

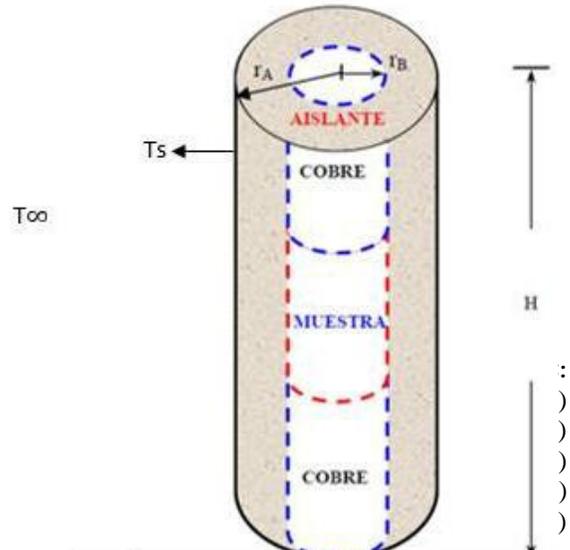
Figura 4. Indicador de temperaturas FP 4030.



Fuente: <http://www.renuelectronics.com/pdfs/letter/FP4030.pdf>

En la figura 5 se puede apreciar el sistema de barras compuestas envueltas en aislante.

Figura 5. Modelo del sistema de barra compuesta envuelta en aislante.





Fuente los autores

### 4.3.3 Pruebas finales

#### 4.3.3.1 Pruebas en el acero AISI SAE 1045

La conductividad térmica del acero AISI SAE 1045 según tabla de fabricantes es de 52 W/mK. Durante el desarrollo de la prueba se tomaron datos del indicador de temperaturas a los seis registros de las barras en diferentes tiempos, el equipo toma 3 horas en alcanzar su estado estable y allí es cuando se empieza a registrar los datos (Figura 6).

Figura 6. Inicio de prueba al acero AISI SAE 1045.



Fuente los autores

Una vez el equipo alcanza el estado estable se toma los datos de las seis temperaturas, como prueba de ellos se muestra la siguiente fotografía (Figura 7).

Figura 7. Primer toma de datos al material.



Fuente: Autor

Las temperaturas registradas en las barras fueron:

$$T_1 = 47.1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_2 = 45.3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_3 = 41.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 36.1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_5 = 32.8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_6 = 28.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ahora para encontrar la conductividad térmica del acero AISI SAE 1045, aplicamos la siguiente formula:

$$K_{acero} = \frac{\Delta X_{acero}}{\Delta T_{acero}} \left[ \frac{K_{cobre}}{2} \left( \frac{\Delta T_3}{\Delta X_3} \right) + \frac{K_{cobre}}{2} \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta X_1} \right) \right]$$

En donde:

$$K_{cobre} = 400 \frac{w}{m.K}$$

$$\Delta X_3, \Delta X_2 = 0.09$$

$$\Delta X_{acero} = 0.02m$$

$$\Delta T_{acero} = 41.4 - 36.1 = 5.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 47.1 - 45.3 = 1.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = 32.8 - 28.4 = 4.4$$

$$K_{acero} = \frac{0.02}{5.3} \left[ \frac{400}{2} \left( \frac{4.4}{0.09} \right) + \frac{400}{2} \left( \frac{1.8}{0.09} \right) \right] = 51.99 \frac{w}{m.K}$$

Se realizaron cuatro pruebas más, en diferentes segmentos de tiempo para corroborar que después de alcanzado el estado estable es posible la determinación de la conductividad térmica del material.

#### 4.3.3.2 Pruebas en el acero AISI SAE 4140

La conductividad térmica del acero AISI SAE 4140 según tabla de fabricantes es de 42.7 W/m.K. Durante el desarrollo de la prueba se tomaron datos del indicador de temperaturas a los seis registros de las barras en diferentes tiempos, el equipo toma 3 horas en

Autores:

- Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)
- Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)
- Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)
- Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)
- Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



alcanzar su estado estable y allí es cuando se empieza a registrar los datos.

Una vez el equipo alcanza el estado estable se toma los datos de las seis temperaturas, como prueba de ellos se muestra la siguiente fotografía (Figura 8).

Figura 8. Primer toma de datos al material.



Fuente: Autor

$$K_{cobre} = 400 \frac{w}{m.K}$$

$$\Delta X_3, \Delta X_2 = 0.09$$

$$\Delta X_{acero} = 0.02m$$

$$\Delta T_{acero} = 40.6 - 33.6 = 7 C$$

$$\Delta T_1 = 46.9 - 43.4 = 3.5 C$$

$$\Delta T_3 = 32.4 - 28.6 = 3.8$$

$$K_{acero} = \frac{0.02}{7} \left[ \frac{400}{2} \left( \frac{3.8}{0.09} \right) + \frac{400}{2} \left( \frac{3.1}{0.09} \right) \right] = 46.34 \frac{w}{m.K}$$

De esta forma finalizamos las pruebas confirmando la efectividad del equipo para encontrar la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 y 4140. El rango de las conductividades encontradas en las pruebas para los dos materiales son inferiores al 10% de error.

#### 4.4 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DEL EQUIPO

El resultado final de este proyecto es el diseño y la construcción del banco para pruebas de medición de la conductividad térmica de los aceros, que permitirá a los estudiantes del área de Ingeniería Electromecánica determinar esta propiedad; de esta manera se provee al laboratorio de transferencia de calor con un equipo funcional y de fabricación local; además se logró una

máquina de fácil manejo y mantenimiento, con partes y repuestos que se pueden adquirir en el mercado local.

Cuando se le realiza la primera prueba al acero AISI SAE 1045 la conductividad térmica de este material fue bastante alta, muy lejana a la encontrada en tablas de fabricantes, después de realizar varias observaciones, revisar las conexiones de todos los elementos que intervienen en el proceso, pudimos concluir que el no haber comprado el material a ser estudiado en un sitio reconocido, en donde se nos garantizara el material correcto, incidió en que la prueba fuera fallida.

Para poder alcanzar el estado estable fue necesario la instalación de un sistema de refrigeración que mantuviera la temperatura del agua que pasa por el sumidero de calor en 26 °C, ya que sin este sistema de refrigeración, el agua muy lentamente subía su temperatura y no permitía al ensayo lograr el estado estable.

En uno de los primeros ensayos se pudo analizar que la fuente de calor no debe ser encerrada y menos debe ser aislada, pues el calor confinado es transmitido hacia las barras elevando mucho las temperaturas de las mismas, afectando a los equipos de medición.

#### 5. MANUAL DE OPERACIÓN DE COMSOL MULTIPHYSICS PARA PRUEBA DE CONDUCCIÓN DE CALOR EN METALES

Modelo se define como “representación en pequeño de alguna cosa” o “esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento”. Las ecuaciones diferenciales parciales, también conocidas como ecuaciones en derivadas parciales, tienen la finalidad de definir problemas físicos tales como, propagación del sonido o del calor, electrostática, dinámica de fluidos, elasticidad, entre otros.

COMSOL Multiphysics, anteriormente llamado FEMLAB, es un software para el modelado de sistemas físicos basándose en el método de elementos finitos (FEM, Finite Element Method), FEM. Este software facilita los pasos en el proceso de modelado, mediante una interfaz que permite obtener una solución a través de la combinación de distintos fenómenos físicos (de ahí proviene el nombre

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



Multiphysics). El proceso que se lleva a cabo para realizar un modelado con ayuda de COMSOL Multiphysics se define a través de los siguientes pasos: la creación de una geometría, la creación de una malla, la especificación de una física(s), la elección del tipo de solución y la visualización de los resultados.

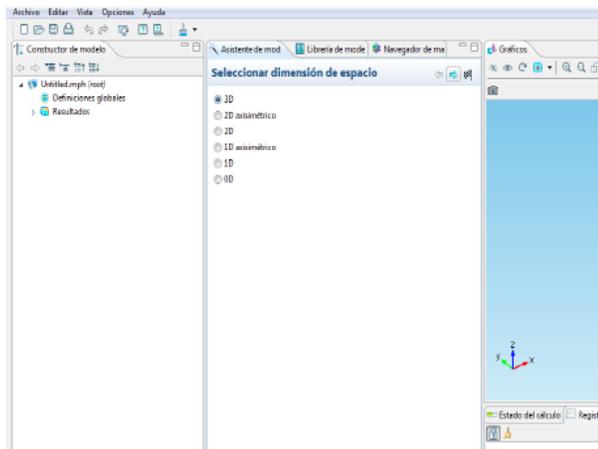
A continuación se ilustrara mediante fotografías un tutorial de transferencia de calor en sólidos, el cual fue determinante para el desarrollo de este trabajo.

A continuación se ilustrara mediante fotografías un tutorial de transferencia de calor en sólidos, el cual fue determinante para el desarrollo de este trabajo.

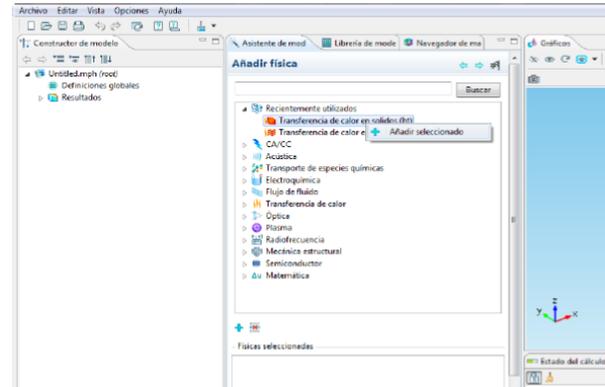
1. Abrimos nuestro software COMSOL MULTIPHYSICS



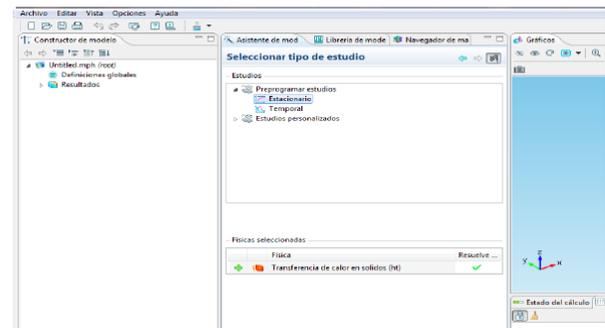
2. Seleccionamos el plano de dimensiones que deseamos trabajar, para este caso tomaremos 3D



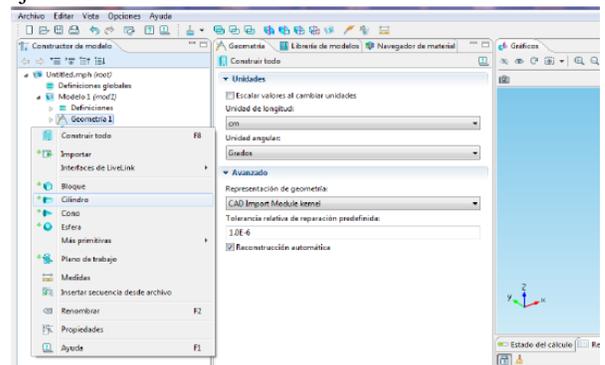
3. Escogemos el modelo físico, oprimiendo clic derecho para añadir seleccionado.



4. Optamos por tomar el tipo de estudio a realizar, para nuestro caso será el estado estacionario y damos clic en el icono para guardar parámetros los cuales hayan sido seleccionados.



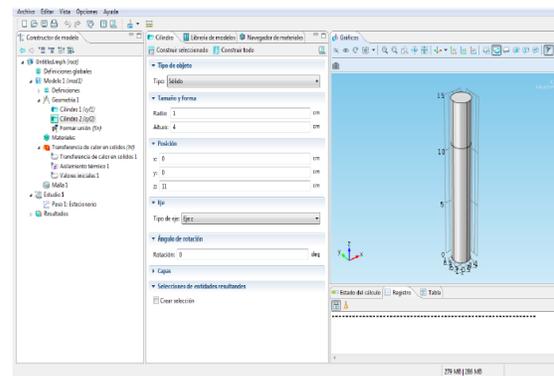
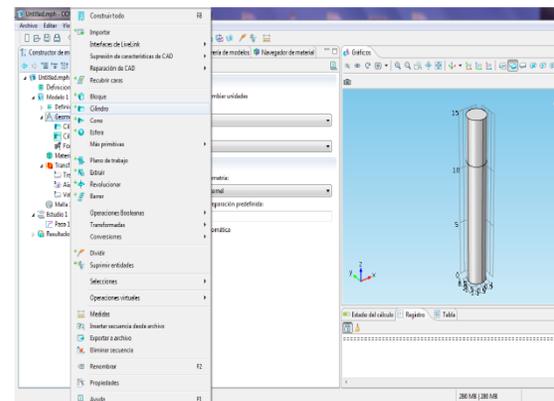
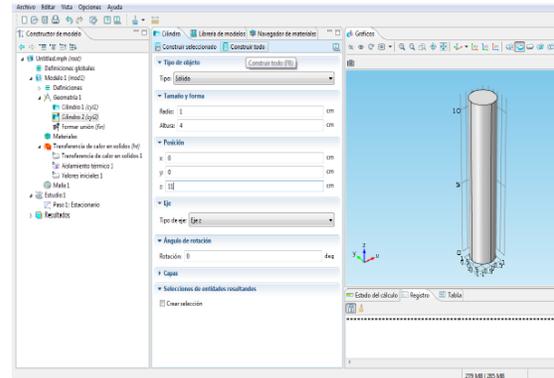
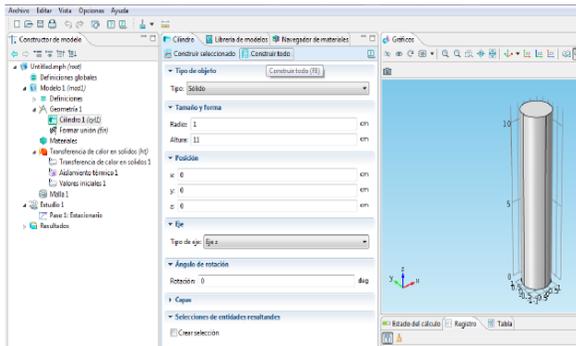
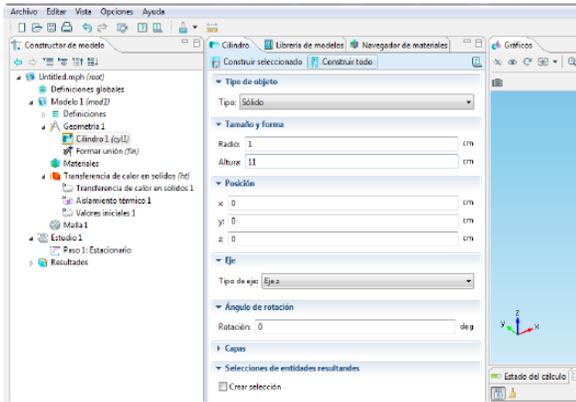
5. En el icono geometría seleccionamos el cilindro y ajustamos la unidad de medida.



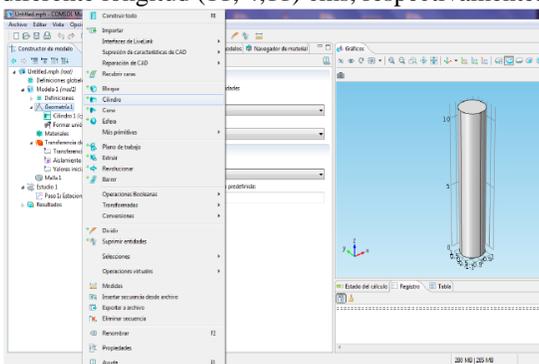
Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)

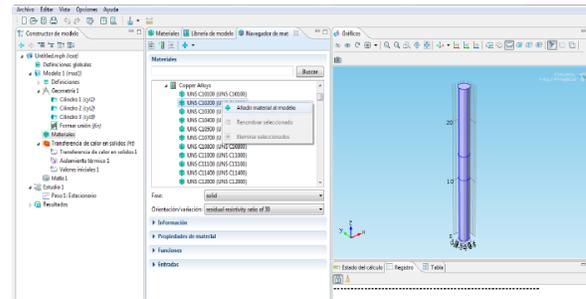
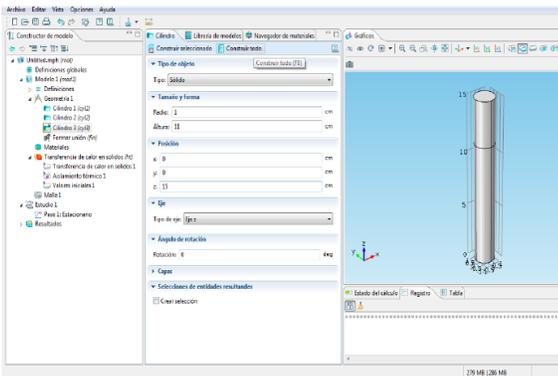


6. Ajustamos las medidas deseadas de la geometría, para nuestro caso la figura será un cilindro y luego damos clic en el icono construir todo.

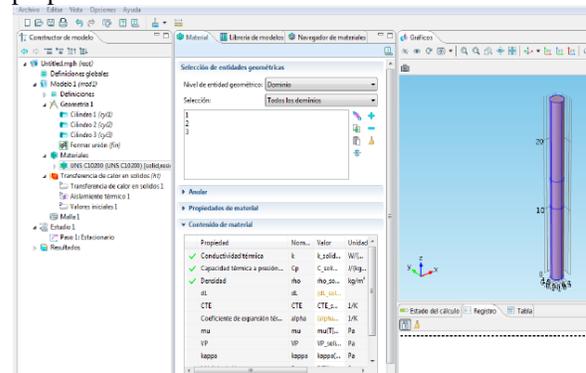
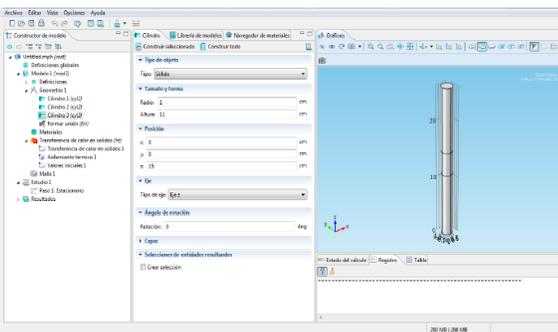


7. El paso 6 lo repetiremos 2 veces más, de tal modo que logremos construir nuestro sistema de barras, el cual estará conformado por tres barras en serie de igual diámetro con diferente longitud (11, 4,11) cms, respectivamente.



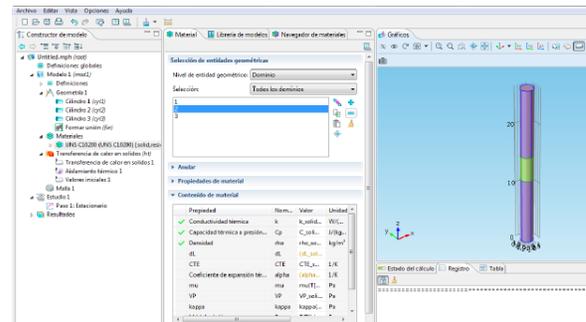
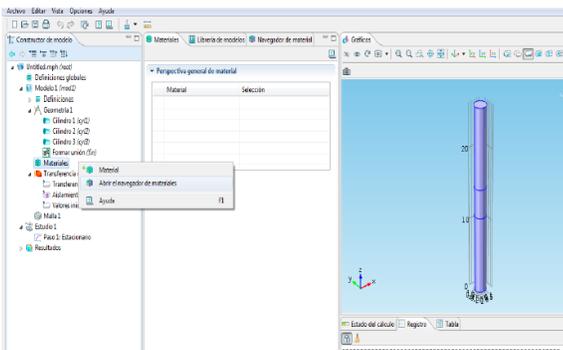


10. Una vez seleccionado el material se nos abrirá la siguiente ventana, en la cual podemos seleccionar los dominios o las barras a las cuales se les asignaran las propiedades del cobre seleccionado anteriormente.



8. En el menú constructor del modelo seleccionamos el icono material.

11. En este paso se observa que el dominio 2 esta seleccionado, lo que indica que es nuestra barra de acero y la eliminaremos dando clic en el signo menos recordemos que estamos asignado propiedades para las barras de cobre es decir los dominios 1 y 3.

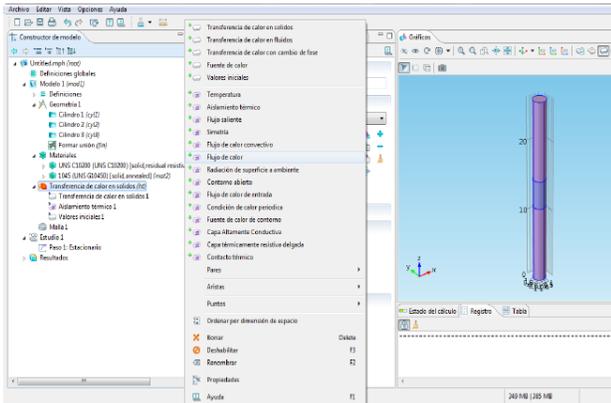


9. Aquí escogemos el tipo de cobre a utilizar en nuestras barras de referencia.

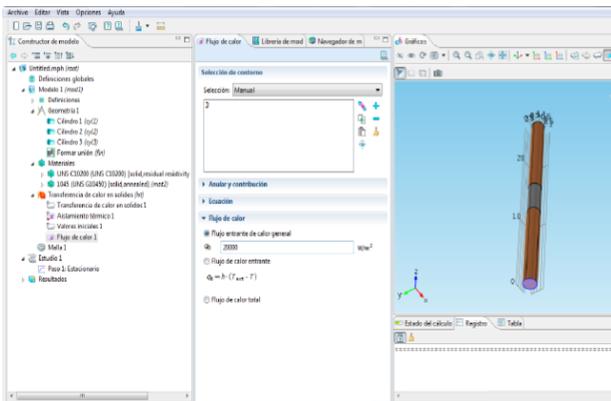
12 Aquí se observa que contamos con solo 2 dominios los asignados para el cobre. Comsol nos da la opción de ingresar las propiedades de acuerdo a nuestra literatura o nuestras necesidades de diseño.

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)

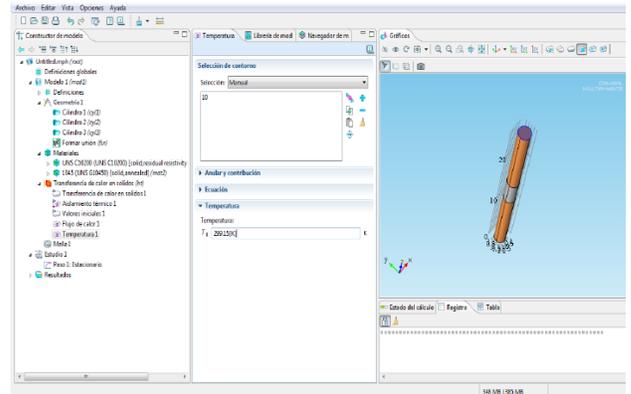
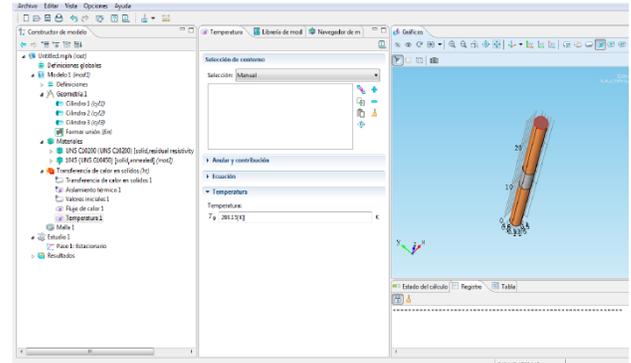
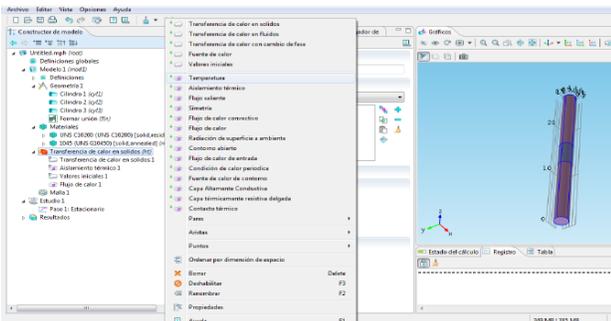




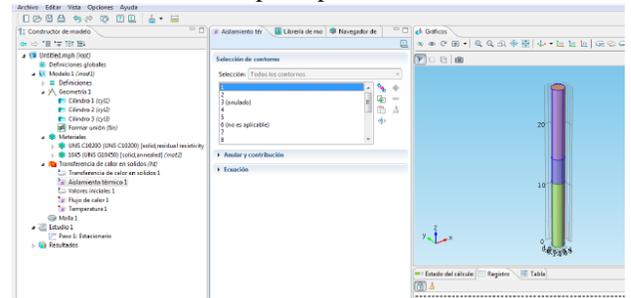
15. En el siguiente paso seleccionaremos el área por la cual estará ingresando nuestro flujo de calor, también ingresamos la cantidad de energía por unidad de área que se requiere. Para nuestro trabajo el valor es de 20000 w/m<sup>2</sup>.

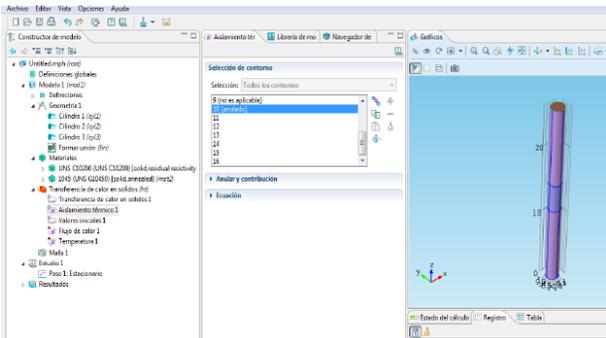
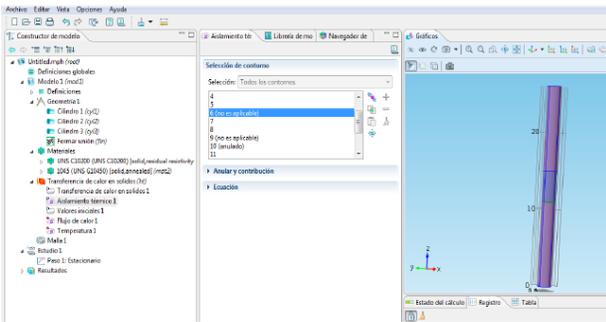


16. Realizando nuevamente los pasos 14 y 15 asignaremos una temperatura en el área seleccionada y así estaríamos ingresando los valores de frontera que exige el sistema.

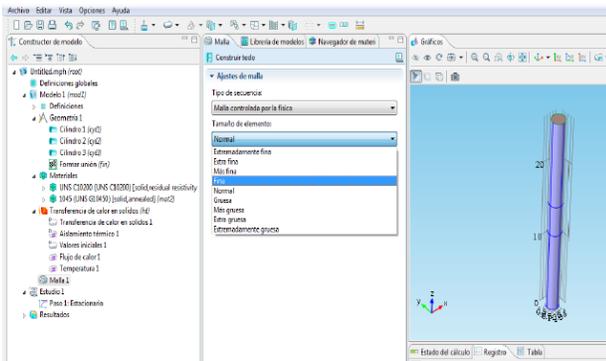


17. Ahora observamos que el área seleccionada para el flujo de calor y la temperatura se encuentran anuladas de tal modo que el resto del sistema se encuentra completamente aislado debido al estado estacionario que se seleccionó desde un principio.

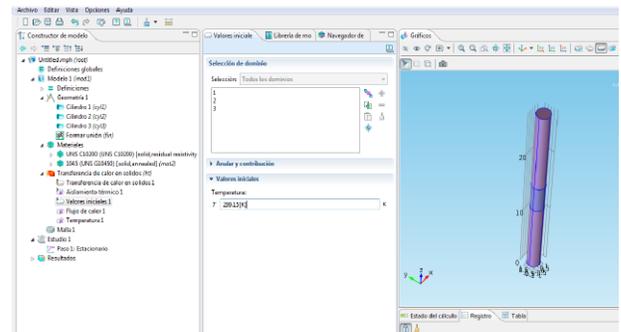




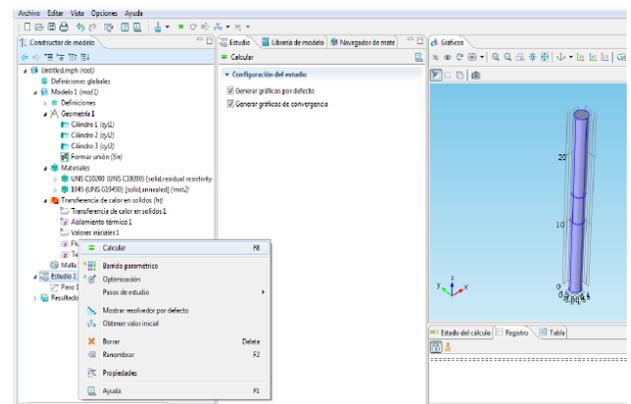
18. Luego escogeremos en nuestro constructor de modelo la opción malla, allí tomaremos la herramienta malla fina.



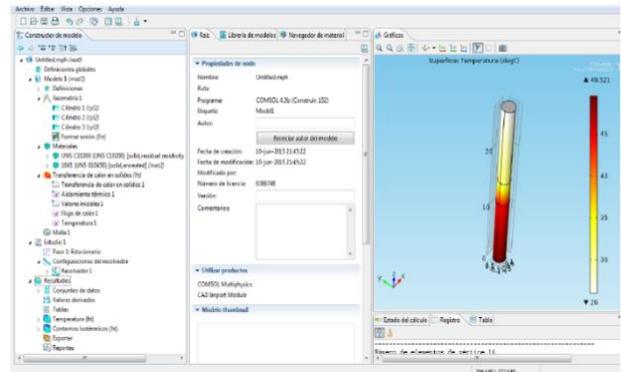
19. También debemos ingresar el valor de temperatura del medio al cual se encuentra expuesta la barra compuesta esto lo hacemos desde la herramienta: valores inicial.



20. Nuevamente en nuestro constructor de modelo dando clic en la herramienta estudio, seleccionaremos la opción calcular.



21. Ahora observaremos el valor de la temperatura en diferentes puntos de la barra compuesta, su comportamiento modelado e ilustrado mediante una barra de colores. En este punto encontramos el estado estacionario.



## 6. PROTOCOLO Y PROCEDIMIENTO (MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL EQUIPO CONSTRUIDO)

Autores:

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



El calor es la forma de energía que puede ser transferida de un sistema a otro debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de energía siempre ocurre de un medio de alta temperatura a un medio de temperatura menor, y esta transferencia termina cuando ambos medios o sistemas alcanzan la misma temperatura.

El calor puede ser transferido en tres maneras distintas: conducción, convección y radiación. La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos. Cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura debido al contacto directo entre las moléculas del medio.

### 6.1 DERECHOS DE LOS USUARIOS

Los equipos y materiales que van a utilizar los estudiantes deben encontrarse en perfecto orden y aseo. Solicitar el buen estado de los elementos y equipos.

Exigir la verificación del funcionamiento de los equipos y elementos solicitados.

Los estudiantes tienen derecho a la clase práctica, orientada por el docente y el conocimiento con anterioridad de las prácticas a realizar.

Obtener permisos en casos necesarios.

Recibir un trato cortés.

Recibir las advertencias necesarias que le permitan trabajar cumpliendo todas las normas de seguridad y de obligatorio cumplimiento.

### 6.2 DEBERES DE LOS USUARIOS

Dejar en perfecto estado de orden y aseo todos los equipos y manuales utilizados en la práctica.

En caso de ocasionar algún daño a los materiales y equipos lo debe reparar o pagar.

Debe mantener el orden y la disciplina durante la práctica.

Debe hacer un buen uso de los equipos y materiales durante las prácticas.

Preservar, cuidar y mantener en buen estado el material de enseñanza, instalaciones, equipos y bienes del laboratorio.

Cumplir con las normas de respeto y convivencia para el logro de una formación integral.

Cumplir con las normas de seguridad del laboratorio.

Solicitar al docente la aclaración de las dudas que se tengan de la práctica a realizar.

Avisar inmediatamente al docente acerca de las anomalías que se presenten en los equipos.

Acatar las instrucciones del docente y respetar sus decisiones de acuerdo con lo dispuesto en este reglamento.

Respetar a sus compañeros y trabajar en equipo en la realización de la práctica.

Mantener el área de trabajo en óptimas condiciones.

### 6.3 NORMAS DE TRABAJO DE OBLIGATORIO CUMPLIMIENTO

El laboratorio debe permanecer en perfecto orden y aseo.

Cumplir con el horario de laboratorio establecido, para la realización de las prácticas.

Está prohibido el ingreso de comidas, bebidas, cigarrillos.

Está prohibido el ingreso de estudiantes con inadecuada presentación personal.

Está prohibido facilitar o propiciar el ingreso al laboratorio de personas no autorizadas.

Quince (15) minutos después de iniciar la práctica de laboratorio no se permite el ingreso de estudiantes al aula.

Todo estudiante debe estar debidamente preparado para la realización de la práctica.

Al finalizar la práctica el material y los equipos de trabajo deben dejarse limpios y ordenados.

El uso de los computadores es meramente académico.

Autores:

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



Se prohíbe el cambio de la configuración del software instalado.

Se prohíbe la utilización de software que no esté amparado legalmente mediante la respectiva licencia para la Universidad.

No se permite el traslado de computadores, sillas o de cualquier otro material o equipo que se encuentre en el laboratorio, sin la debida autorización del funcionario encargado del mismo.

La ausencia injustificada de una práctica de laboratorio se calificará con cero, cero (0,0). La justificación por motivos de salud debe ser expedida por el servicio médico de la UTS si es de otra índole por bienestar universitario.

La no presentación del pre informe y del informe el día de la práctica se calificará con cero (0.0).

La pérdida o deterioro por mal uso de un elemento, aparato o equipo, se cobra al estudiante responsable de la pérdida o deterioro. En caso de no encontrarse un responsable único, el grupo de la práctica correspondiente asumirá la responsabilidad y cubrirá los costos de reparación o de sustitución del equipo.

La inasistencia a una práctica de laboratorio, automáticamente descalifica el pre informe y el informe. Se asume que no presenta ninguno de los informes. Con una nota de 0.1 (cero punto uno) en cada uno de ellos. Para recuperar una práctica el estudiante debe presentar la incapacidad médica, para lo cual tiene una semana después de realizada la experiencia.

#### 6.4 NORMAS DE SEGURIDAD

Quítese todos los accesorios personales que puedan producir descargas (recuerde que algunas de las prácticas trabajan con altos voltajes y amperajes), como son anillos, pulseras, collares.

Está prohibido fumar, beber o comer en el laboratorio, así como dejar encima de la mesa del laboratorio algún tipo de prenda.

El pelo largo se llevará siempre recogido.

Sobre la mesa de trabajo solo debe hallarse el instrumental requerido para llevar a cabo la práctica.

Manipule los equipos de manera responsable y cuidadosa.

Si alguno de los equipos presenta anomalías, apáguelo y repórtelo inmediatamente.

#### 6.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para evaluar el laboratorio se consideraran los siguientes instrumentos con sus respectivos porcentajes: Informes 70% y preinformes 30%.

##### 6.5.1 El pre-informe

Se presenta al iniciar cada experiencia, es un documento escrito a mano que se elabora teniendo en cuenta la información suministrada en el manual de guías de laboratorio. En el pre informe el equipo de trabajo refleja lo que va a ser su actividad en la práctica del día. A continuación se presenta el formato propuesto para la elaboración del pre-informe (Tabla 4)

Tabla 4. Formato de Preinforme

IDENTIFICACIÓN		
PRACTICA N°: El número que identifica la práctica		FECHA:
NOMBRE DE LA PRACTICA: se toma el mismo de la prueba que se pretenda ejecutar.		
INTEGRANTES		
NOMBRE: Los estudiantes que conforman el equipo de trabajo		CÓDIGO:
NOMBRE:		CÓDIGO:
PROGRAMA: Ingeniería Electromecánica	GRUPO:	DOCENTE:
RESULTADOS DE APRENDIZAJE		
Son los resultados de aprendizaje trabajados desde el Programa de Asignatura.		
MARCO TEÓRICO		
En este espacio se describen las leyes, principios y teorías en las que se basa y se fundamenta la práctica a desarrollar. Los temas a investigar están definidos para cada práctica.		
PROCEDIMIENTO (MONTAJE Y EJECUCIÓN)		
En este espacio se debe realizar un resumen del procedimiento de la práctica, deberá hacerse en diagrama de flujo, mapa conceptual y dibujo del montaje. Además, se relacionan todos los materiales a utilizar para el desarrollo de la práctica.		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
Se relacionan de manera técnica y ordenada las fuentes consultadas		

Fuente: Autor

A continuación se presenta el modelo a llevar a cabo en el pre-informe (Tabla 5).

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



Tabla 5. Modelo de preinforme

IDENTIFICACIÓN										
PRACTICA N°										FECHA:
NOMBRE DE LA PRACTICA:										
INTEGRANTES										
NOMBRE:					CÓDIGO:					
NOMBRE:					CÓDIGO:					
INGENIERIA ELECTROMECANICA		GRUPO						DOCENTE:		
RESULTADOS DE APRENDIZAJE										
MARCO TEÓRICO										
PROCEDIMIENTO (MONTAJE Y EJECUCIÓN)										
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS										
<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>										

Fuente: Autor

### 6.5.2 El informe

Por lo general se entrega una semana después de haber realizado la práctica aunque esto puede variar según las indicaciones del docente. Es un documento escrito a mano. A continuación se presenta el formato propuesto para la elaboración del informe (Tabla 6).

Tabla 6. Formato de informe

IDENTIFICACIÓN	
PRACTICA N°: El número que identifica la práctica	FECHA:
NOMBRE DE LA PRACTICA: Se toma el mismo de la prueba realizada.	
INTEGRANTES	
NOMBRE:	CÓDIGO:
NOMBRE:	CÓDIGO:
PROGRAMA: Ingeniería Electromecánica	GRUPO:
	DOCENTE:
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y/O ANÁLISIS DE GRÁFICAS	
La discusión de resultados generalmente suele corresponder a un argumento lógico, basado en los resultados y no una repetición de estos. En ocasiones, puede ser útil, comparar los resultados obtenidos con los reportados en la literatura, analizar si hay discrepancia respecto a los valores aceptados o esperados, indicando las causas y algunas sugerencias que puedan mejorar el método experimental.	
Otros aspectos a tratar son las dificultades encontradas durante la realización del experimento que hayan podido influir en los resultados, si son o no válidas las aproximaciones hechas, son entre otros, temas que también pueden tratarse como discusiones de resultados.	
TABLAS DE DATOS, GRÁFICAS Y CÁLCULOS	
Los datos se refieren a aquellas cantidades que se derivan de mediciones y que se han de utilizar en el proceso de los cálculos. En esta sección se muestran los resultados obtenidos. Los resultados deben presentarse preferiblemente en forma de gráficos, sin embargo si se requiere se hace necesario la inclusión de las tablas de datos. Los datos del experimento deben estar diferenciados de otros datos que puedan incluirse para comparación y tomados de otras fuentes.	
EVALUACIÓN	
En este espacio el estudiante responde al cuestionario propuesto en cada práctica. Debe ser contestada apoyándose en la bibliografía consultada y en la ejecución de la experiencia.	
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	
Se pretende realizar observaciones que mejoren la práctica o aquellos detalles de los cuales se percató cuando realizó la experiencia y que pueden ser importantes en la obtención de los resultados. Siempre debe sacarse una conclusión concisa y precisa del trabajo realizado	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Se relacionan de manera técnica y ordenada las fuentes consultadas	

Fuente: Autor

### 6.5.3 Competencias y Resultados de Aprendizaje

Durante las practica se procura porque el estudiante adquiera las competencias necesarias sobre la temática tratada, el siguiente formato muestra la identificación, la competencia y los resultados de aprendizaje (Tabla 7).

Tabla 7. Identificación, competencia y resultados de aprendizaje

IDENTIFICACIÓN	
UNIDAD ACADÉMICA	INGENIERIA ELECTROMECANICA
ASIGNATURA: LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	
UNIDAD TEMÁTICA	ENSAYO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS METALES
PRACTICA	prueba de conducción térmica en los aceros AISI SAE 1045 y 4140
COMPETENCIA	RESULTADOS DE APRENDIZAJE
Análisis el proceso de medición de la conductividad térmica de los metales a través del proceso de barras concéntricas cortadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoce la operación de herramientas de diseño cad como COMSOL MULTIPHYSICS para el estudio de los fenómenos de transferencia de calor.</li> <li>• Conoce la operación de un equipo para medir la conductividad térmica de los metales.</li> <li>• Determina la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 Y 4140.</li> </ul>
ACTIVIDADES	
<b>1. REFERENCIAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual de operación del programa cad COMSOL MULTIPHYSICS en pruebas para determinar la conductividad térmica de los metales.</li> <li>• Implementación de un banco para determinar la conductividad térmica de los aceros; proyecto de grado para optar al título de ingeniería electromecánica, Bucaramanga 2015</li> </ul> <b>2. TEMAS DE INVESTIGACION</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia de calor</li> <li>• Conduccion</li> <li>• Conductividad termica</li> <li>• Ley de Fourier</li> <li>• Métodos para medir la conductividad térmica</li> </ul> <b>3. PROCEDIMIENTO</b> <b>3.1 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de calor (Resistencia eléctrica)</li> <li>• 2 barras de cobre puro de 11cm de longitud y 2 cm de diámetro</li> <li>• Barra de acero AISI SAE 4140 de 4 cm de longitud y 2cm de diámetro</li> <li>• Barra de acero AISI SAE 1045 de 4cm de longitud y 2cm de diámetro</li> <li>• 6 termoresistencias PT100 de 3 hilos</li> <li>• 1 termoresistencias PT100 de 3 hilos</li> <li>• Aislante térmico de estireno de 10 cm de diámetro aislado al centro de 2 cm de diámetro</li> </ul>	

Fuente: Autor

El desarrollo del ensayo implica un procedimiento específico que llevaran a las conclusiones y la contrastación con referencias científicas (Tabla 8).

Tabla 8. Formato de desarrollo del ensayo

Autores:  
 Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



**3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO**

3.2.1 Establecer las condiciones de seguridad que requiere el equipo y la fuente de poder a la que estará alimentada. **Esta será de 120 voltios.**

3.2.2 Mediciones: Determinar longitud y diámetro de la barra a estudiar, teniendo en cuenta el diseño y construcción del equipo.

3.2.3 Asegurarse que el sistema de barras estén bien unidas entre sí, a través de su eje longitudinal. Para ello se recomienda crema siliconada KAFUTER la cual requiere de 24 horas para su secado y posee alta conductividad térmica.

3.2.4 Ajustar el sistema de barras junto con el sumidero a la entrada y salida del agua.



3.2.5 Realizar el llenado del tanque de agua, de tal modo que su nivel de este por encima del evaporador y en contacto con el sensor de temperatura.

3.2.6 Energizar el banco a través de una toma corriente ubicado en la parte trasera del equipo y señalizado como **"fuente de alimentación general"**.

3.2.7 Accione el interruptor tipo codillo llamado **"bomba"** para iniciar la circulación del agua a través del sistema

3.2.8 Accione el interruptor tipo codillo llamado **"controlador de temperatura"** para determinar la temperatura que posee el agua y saber si el sistema de refrigeración debe actuar inmediatamente hasta lograr una temperatura de trabajo igual a 25° Celsius.

3.2.9 Ajustamos los sensores de temperatura en cada uno de los agujeros asignados en la barra compuesta.

3.2.10 Cerramos nuestro sistema de aislamiento el cual está cubierto por un acrílico.

3.2.11 Accione el interruptor tipo codillo llamado **"circuito de control"** Este nos energizara el indicador de temperaturas y todas deben tener un valor similar que no superan los 30° Celsius.

3.2.12 Accione el interruptor tipo codillo llamado **"fuente de calor"** el cual nos energizara la resistencia eléctrica.

3.2.13 Una vez realizados los pasos anteriores, hay que esperar a que el sistema alcance el estado estable.

3.2.14 Ahora pasamos a la toma de los datos de las temperaturas de las barras, que nos muestra el registrador:

T1=	T3=	T5=
T2=	T4=	T6=

3.2.15 Para encontrar la conductividad termica de los aceros, aplicamos la siguiente formula:

$$K_{acero} = \frac{\Delta X_{acero} [K_{cobre} \left( \frac{\Delta T_3}{\Delta X_3} \right) + K_{cobre} \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta X_1} \right)]}{\Delta T_{acero}}$$

En donde:

$$K_{cobre} = 400 \frac{w}{m \cdot K}$$

$$\Delta X_3, \Delta X_2 = 0.09$$

$$\Delta X_{acero} = 0.02m$$

$$\Delta T_{acero} = T_3 - T_4$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T_2$$

$$\Delta T_3 = T_5 - T_6$$

3.2.16 Basado en el manual de operación de COMSOL MULTIPHYSICS para el desarrollo de pruebas de conductividad térmica, realice este mismo ejercicio en el programa de simulación cad.

**EVALUACIÓN**

Desarrollar las siguientes actividades:

- Encontrar la conductividad térmica para el acero AISI SAE 1045, realizando la prueba en el banco y simulando en el programa cad COMSOL MULTIPHYSICS.
- Encontrar la conductividad térmica para el acero AISI SAE 4140, realizando la prueba en el banco y simulando en el programa cad COMSOL MULTIPHYSICS.
- Compare los dos métodos y si los datos varían explique porque.
- Utilizando COMSOL MULTIPHYSICS explique. ¿qué pasa si se varía la fuente de calor?
- Utilizando COMSOL MULTIPHYSICS explique. ¿qué pasa si se varía la longitud de las barras?
- Utilizando COMSOL MULTIPHYSICS explique. ¿qué pasa si se varía el diámetro de las barras?

**BIBLIOGRAFÍA**

- CENGEL YUNUS A. Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico., México: McGraw Hill, Interamericana., 2007.
- INCROPERA FRANK P. Fundamentos de transferencia de calor. Frank Incropera. Pearson, Prentice hall.
- COMSOL, «Multiphysics Modeling, Finite Element Analysis, and Engineering Simulation Software, » Estocolmo, 1998-2012.
- Propiedades del acero AISI SAE 1045 (disponible en ) available: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>
- Propiedades del acero AISI SAE 4140 (disponible en ) available: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>

Fuente: Autor

**7. REJILLA FINAL DE EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.**

Luego de llevar a cabo el protocolo de diseño del equipo, la construcción y puesta en funcionamiento con pruebas experimentales, se procede a realizar la evaluación del procedimiento con los resultados de aprendizaje en los estudiantes de los dos (2) grupos de transferencia de calor. Estos resultados se logran luego de cumplir con el protocolo.

Para la evaluación del proceso se diseña una nueva rejilla de resultados finales (Tabla 9), basados en la competencia, los resultados de aprendizaje, los objetivos del procedimiento y los saberes adquiridos durante todas las etapas del proceso de aprendizaje.

Tabla 9. Rejilla de evaluación final.

REJILLA DE EVALUACIÓN FINAL			
CRITERIOS	INDICADORES	Cumple	
		SI	NO
Saberes teóricos adquiridos	¿Identifica la importancia de la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045, 4140 ?	X	
	¿Maneja la nomenclatura y normatividad técnica AISI SAE para la clasificación de aceros?	X	
	¿Analiza e interpreta el concepto de calor y sus distintas formas de transferencia; los mecanismos de transferencia de calor y las ecuaciones de conducción de calor? *Conducción en estado estable. *Mecanismo físico de la conducción.	X	
	¿Deduce y realiza la demostración de la Ley de Fourier de la conducción de calor?	X	
	¿Diferencia los métodos de transferencia de calor y deducción de las ecuaciones correspondientes, aplicando el concepto de resistencia térmica para solución de problemas de aplicación?	X	
	¿Interpreta y contrasta valores de conductividad térmica basados en ecuaciones teóricas con los resultados experimentales?	X	

Autores:

- Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)
- Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)
- Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)
- Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)
- Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



REJILLA DE EVALUACIÓN FINAL			
CRITERIOS	INDICADORES	Cumple	
		SI	NO
Saberes experimentales	¿Maneja el software de modelamiento COMSOL Multiphysics?	X	
	¿Identifica la distribución de temperatura de un material y la densidad de flujo de calor que viaja a través del mismo?	X	
	¿Interpreta los datos arrojados por diferentes tipos de termocuplas que se encuentran comercialmente y la sensibilidad de cada una?	X	
	¿Realiza un informe de laboratorio en formato IEEE, siguiendo la normatividad técnica exigida?	X	
	¿Conoce el protocolo, el procedimiento y las normas de seguridad que se deben llevar a cabo durante una prueba de laboratorio?	x	
Saberes actitudinales	¿Respeto la opinión de sus demás compañeros en el salón de clases?	X	
	¿Cumple con las actividades asignadas para su socialización en el salón de clases y en el laboratorio de térmicas?	X	
	¿Colabora con los compañeros en el seguimiento de las actividades académicas y es capaz de trabajar en equipo para adquirir los saberes de la asignatura?	X	
	¿Es Puntual y responsable en la entrega de trabajos e informes de laboratorio?	x	

Fuente: Autor

En la tabla 9, dentro de los criterios de evaluación del procedimiento se plantean tres (3) saberes con los indicadores para cada uno, estos son:

**Saberes teóricos adquiridos:** En este criterio se chequean los saberes adquiridos por los estudiantes, referentes a la nomenclatura AISI SAE para los aceros, los conceptos de los mecanismos de transferencia de calor, la demostración de la Ley de Fourier y la ecuación de conducción de calor, así como la interpretación de la conductividad térmica de un material con base en teoría y el procedimiento experimental.

**Saberes experimentales:** Este criterio evalúa la capacidad del estudiante al momento del manejo de un Software experimental como COMSOL Multiphysics, además de la identificación de la distribución de temperaturas de un material, el protocolo de seguridad en el laboratorio y la calidad académica al momento de realizar un informe cumpliendo con las normas IEEE.

**Saberes actitudinales:** En este ítem se chequea la capacidad del estudiante para trabajar en equipo, la responsabilidad y la puntualidad en la entrega de trabajos e informes de laboratorio.

## 8. ANALISIS FINAL DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

Los estudiantes adquirieron saberes teóricos, experimentales y actitudinales que redundan en el ser, en el saber y en el saber hacer de un profesional atea. Además se pudo evidenciar la capacidad de los mismos para aprender un Software como COMSOL Multiphysics.

Los resultados obtenidos en el programa de simulación CAD, comparados con los resultados reales no fueron del todo exactos, debido a que hay factores físicos que alteran lo que ya se había diseñado, uno de los desafíos a los que se enfrentó fue la unión de las barras, mientras el programa asumió esta unión como perfecta con excelente conductividad, sin que las barras se despegaran o se genera un punto crítico de pérdida de calor, en la realidad se tuvo que buscar, analizar y estudiar el mejor método, hasta encontrar uno que permitiera todas estas características; otro ejemplo fue que en la fuente de calor, no se puede garantizar un flujo de calor constante debido a las pérdidas de energía eléctrica, variaciones de voltaje o múltiples factores que no permiten alcanzar los valores exactos de calor encontrados en el programa simulador.

Se recomienda mejorar el sistema de unión de las barras, teniendo en cuenta que el método a usar debe ser muy buen conductor térmico, el resultado final debe mejorar el tiempo de preparación del equipo para el inicio de las pruebas.

Si en trabajos futuros se desea hacer alguna modificación a la fuente de calor, asegúrese que la temperatura no supere los 90 °C, pues esa es la temperatura máxima de trabajo del material que aísla el sistema.

Autores:

Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
 Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
 Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
 Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
 Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)



No se aconseja utilizar este equipo para determinar la conductividad térmica en materiales que no sean metales, ya que para otros elementos hay ensayos más acordes al tipo de material.

Cuando el equipo se encuentre en operación, mantener las compuertas traseras abiertas de tal modo que el calor extraído al condensador pueda ser disipado al medio.

## Referencias

- [1] A. Hofstein y V. N. Lunetta, «The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research,» *Review of Educational Research*, vol. 52, nº 2, pp. 201-217, 1982.
- [2] COMSOL, *Multiphysics Modeling, Finite Element Analysis, and Engineering Simulation Software.*, Estocolmo: COMSOL, 2012.
- [3] L. Cortez y Leonel, «Sistema de medición de la conductividad térmica de los materiales solidos conductores, diseño y construcción.,» Centro nacional de metrología., Querétaro, México, 2008.

Autores:  
Arly Darío Rincón Quintero (DIMAT)  
Wilmar Leonardo Rondón Romero (DIMAT)  
Carlos Gerardo Cárdenas Arias (DIMAT)  
Diana Carolina Dulcey Díaz (DIMAT)  
Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez (GISEAC)