

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

QUE PRESENTA:

EDUARDO RATEIKE DEL RIVERO

CON EL TEMA:

**“CÀLCULO DEL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN A
TRAVÈS DE LAS PAREDES DE LA CASETA CAGETEV”**

MEDIANTE:

**OPCION X
(INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL)**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

JUNIO 2011



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 24/MARZO/2011

OFICIO NUM. DEP-CT-035/2011

C. EDUARDO RATEIKE DEL RIVERO
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. DR. CARLOS RÍOS ROJAS, ING. LORENZO MARCIANO VÁZQUEZ, ING. VÍCTOR MANUEL VÁZQUEZ RAMÍREZ e ING. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ en el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

"CÁLCULO DE FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS PAREDES DE LA CASETA CAGETEV"

Registrado mediante la opción:
X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"

Ing. Roberto Cifuentes Villafuerte
Jefe de la División de Estudios Profesionales

Vo. Bo.

Ing. José Luis Herrera Martínez
Director

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
I'RCV/L'ORC



Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez
Div. de Est. Profesionales
Carretera Panamericana Km.1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87
<http://www.ittg.edu.mx>



Alcance del Sistema: Proceso Educativo

Índice del contenido

Lista de tablas	iv
Lista de figuras	vi
Resumen	xi
1 Marco de referencia	
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos generales y específicos	2
1.4 Características del área en que participó	3
1.5 Alcances y limitaciones	4
2 Fundamento Teórico	
2.1 Termopares	
2.1.1 ¿Qué es un termopar?	5
2.1.2 Coeficiente de Seebeck	5
2.1.3 Leyes termoeléctricas de los termopares	6
2.1.4 Clasificación de los termopares según su aleación	7
2.1.5 Código de colores	9
2.1.6 Aislamientos	10
2.1.7 Medidas y Acondicionamiento de Señales de Termopares basándose en una temperatura referencia $T_{ref} = 0$	11
2.1.8 Conversión de Voltaje a temperatura	17
2.2 El sistema de adquisición de datos: SCXI de National Instruments	
2.2.1 Que es la adquisición de datos	20
2.2.2 Descripción del equipo SCXI	20
2.3 Software LabVIEW y NI-DAQmx	
2.3.1 Introducción al software LabVIEW	23
2.3.2 Introducción al software NI-DAQmx	27

3	Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	
3.1	Descripción de la Caseta Giratoria Para Estudios Térmicos de Viviendas CAGETEVE	28
3.2	Construcción de termopares a partir de cable de termopar.	
3.2.1	Selección del cable	32
3.2.2	Construcción de los termopares	33
3.3	Calibración de termopares a 0°C y 70°C y prueba del equipo, para adquisición de datos: SCXI de National Instruments.	34
3.4	Instalación de termopares en las superficies interior y exterior de las paredes de la CAGETEVE.	39
3.5	Monitoreo de la temperatura en las superficies interiores y exteriores de las paredes de la caseta CAGETEVE temperatura.	41
4	Resultados Obtenidos	
4.1	Cálculo del flujo de calor por conducción a través de las paredes de la CAGETEVE.	
4.1.1	Transferencia de calor	46
4.1.2	Conducción	46
4.1.3	Analogía eléctrica	49
4.1.4	Calculo del flujo de calor	50
	a) Techo	50
	b) Piso	53
	c) Pared sur	56
	d) Pared norte	59
	e) Pared este	62
	f) Pared oeste	66
5	Conclusiones y recomendaciones	70
6	Referencias y bibliografías	71
	Anexo A	72
	Anexo B	75

Lista de tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1 Clasificación de los termopares según su aleación (Tempecon 98,S.L,1998).

Tabla 2.2 Código de colores más utilizados (Tempecon 98,S.L,1998).

Capítulo 3

Tabla 3.1 Denominación de los termopares

Tabla 3.2 De esta manera guardamos los datos guardados en Excel

Capítulo 4

Tabla 4.1 Valores de la conductividad térmica K (valores promedios de NOM-08-ENERO-2001, Gonzáles 1998, Holman 1998, Espuma de Estireno S.A).

Tabla 4.2 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman el techo.

Tabla 4.3 Tabulación del flujo de calor del techo

Tabla 4.4 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman el piso

Tabla 4.5 Tabulación del flujo de calor del piso

Tabla 4.6 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared sur

Tabla 4.7 Tabulación del flujo de calor en la pared sur

Tabla 4.8 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared norte

Tabla 4.9 Tabulación del flujo de calor de la pared norte

Tabla 4.10 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared este

Tabla 4.11 Valores de las resistencias térmicas de las puertas

Tabla 4.12 Tabulación del flujo de calor de la pared este

Tabla 4.13 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman

Tabla 4.14 Tabulación del flujo de calor.

Anexo B

Tabla B-1 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared 1

Tabla B-2 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la puerta 2

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 2.1 Cable termopar (Tempecon 98,S.L,1998)

Figura 2.2 Partes de un Termopar

Figura 2.3 Esquema de la ley de los metales inversos (Omar bustillos Ponce, 2001)

Figura 2.4 Esquema de la ley de temperaturas internas (Omar bustillos Ponce, 2001)

Figura 2.5 Esquema de la ley de metales internos (Omar bustillos Ponce, 2001)

Figura 2.6 Tipos de aislamientos o fundas (Tempecon 98,S.L,1998)

Figura 2.7 Medición de voltaje

Figura 2.8 Unión de referencia

Figura 2.9 Termopar hierro-constantan

Figura 2.10 Extracción de terminales

Figura 2.11 Bloque isotérmico

Figura 2.12 Analogía de los bloques isotérmicos

Figura 2.13 Analogía de los bloques isotérmicos y aplicación de las leyes de termoeléctricas

Figura 2.14 Bloque isotérmico con un transductor auxiliar para conocer su temperatura

Figura 2.15 Temperatura del termopar vs. voltaje

Figura 2.16 Coeficiente de Seebeck vs temperatura

Figura 2.17 Descripción del DAQ

Figura 2.18 Chasis SCXI 1001

Figura 2.19 Módulo USB SCXI 1600

Figura 2.20 Amplificador SCXI 1001

Figura 2.21 Bloque isotérmico SCXI 1303

Figura 2.22 LabVIEW 8.5

Figura 2.23 Panel frontal del VI utilizado en el proyecto de la Caseta CAGETEVE

Figura 2.24 Diagrama de Bloques del VI utilizado en el proyecto de la Caseta CAGETEVE

Figura 2.25 Bloque DAQ Assistant

Figura 2.26 Bloque Write LabView File

Figura 2.27 Bloque del temporizador

Figura 2.28 Bloque elapsed time

Figura 2.29 Disco de instalación del software NI-DAQmx

Capítulo 3

Figura 3.1 Casas de interés social

Figura 3.2 Modelo de la caseta

Figura 3.3 Elementos del sistema de giro de la caseta CAGETEVE, (Morales, 2008)

Figura 3.4 Diagramas de las paredes de la caseta CAGETEVE

Figura 3.5 Caseta CAGETV terminada y base guía para giro

Figura 3.6 Modelo para estudio del proyecto Morales

Figura 3.7 Caseta CAGETEVE con Poliestireno extruido como aislante

Figura 3.8 Partes de un cable termopar tipo J aislado con fibra de vidrio

Figura 3.9 Auto-transformador variable

Figura 3.10 Electrodo de carbón

Figura 3.11 Soldadura esférica

Figura 3.12 Equipo de adquisición de datos SCXI

Figura 3.13 VIs Creado por Morales 2008.

Figura 3.14 Asistente para crear, editar y ejecutar tareas

Figura 3.15 Propiedades del DAQ ASSISTENT

Figura 3.16 Calibración

Figura 3.17 Fecha y nombre del calibrador

Figura 3.18 Frecuencia de muestreo

Figura 3.19 Tabla para registrar los valores de la calibración

Figura 3.20 Tabla con los valores de temperatura de referencia T1 y T2

Figura 3.21 Grafica de nuestro rango de valor

Figura 3.22 Ubicación de termopares

Figura 3.23 Temperaturas registradas en las superficies externas e internas de las paredes de la caseta CAGETEV

Figura 3.24 Temperaturas exteriores e interiores del techo comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Figura 3.25 Temperaturas exteriores e interiores del piso comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Figura 3.26 Temperaturas exteriores e interiores de la pared sur comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Figura 3.27 Temperaturas exteriores e interiores de la pared norte comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Figura 3.28 Temperaturas exteriores e interiores de la pared este comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Figura 3.29 Temperaturas exteriores e interiores de la pared oeste comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

Capítulo 4

Figura 4.1 Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor ΔX y área A

Figura 4.2 Representación grafica de un sistema térmico.

Figura 4.3 Diagrama de la resistencia térmica del techo

Figura 4.4 Grafica del flujo de calor en el techo

Figura 4.5 Diagrama de la resistencia térmica del piso

Figura 4.6 Grafica del flujo de calor en el piso

Figura 4.7 Diagrama de la resistencia térmica de la pared sur

Figura 4.8 Grafica del flujo de calor en el piso

Figura 4.9 Diagrama de la resistencia térmica de la pared norte

Figura 4.10 Grafica del flujo de calor en la pared norte

Figura 4.11 Diagrama de la resistencia térmica de la pared este

Figura 4.12 Grafica del flujo de calor en la pared este

Figura 4.13 Diagrama de la resistencia térmica de la pared oeste

Figura 4.14 Gráfica del flujo de calor en la pared oeste

Figura 4.15 Comportamiento del flujo de calor en el techo, piso y las 4 paredes de la caseta CAGETEV

Anexo A

Figura A-1 Estructura para la losa-piso

Figura A-2 Perfil L de la losa piso

Figura A-3 Placa central

Figura A-4 Perfil W

Figura A-5 Malla electro soldada

Anexo B

Figura B-1 Diagrama de la resistencia térmica de la puerta 1

Figura B-2 Diagrama de la resistencia térmica de la puerta 2

Resumen

Este proyecto de residencia es una contribución de un proyecto con mayor alcance, realizado por el M.C José Manuel Morales Rosas, que consiste en analizar experimentalmente la convección natural de aire en una habitación, considerando el efecto de la condición de frontera de temperatura oscilatoria transitoria en una pared (calentamiento solar diurno y el subsiguiente enfriamiento nocturno); para esto se, propuso construir una cavidad a escala completa, la Caseta Giratoria para Estudios Térmicos de Viviendas (CAGETEVE).

El proyecto estructural y arquitectónico de la caseta fue desarrollado para cumplir con los objetivos del Proyecto Doctoral Morales, 2005. Se establecieron las siguientes características:

- Dimensiones de una habitación tipo viviendas de la región.
- Capacidad de giro desde 0° hasta 360° para orientar la caseta en función de los estudios a realizar.
- Una pared desmontable para estudiar el efecto de diferentes materiales de construcción.
- La pared opuesta a la pared desmontable a temperatura constante.
- Las demás paredes junto con el piso y el techo se mantendrán aislados.
- Ventanas ocultas para subsiguientes estudios que involucren el efecto del viento o de vidrios.

En este proyecto de residencia profesional se realizará un estudio experimental para determinar el flujo de calor que entra o sale a través de las paredes de la caseta CAGETEVE durante un día. Para determinar este flujo de calor se medirán perfiles de temperatura en las superficies interiores y exteriores de las paredes, piso y techo.

En los primeros meses de la estancia, se realizó un estudio bibliográfico sobre la caseta CAGETEVE y se aisló con poliestireno extruido, para alcanzar las condiciones deseadas, poniendo un mayor interés en las zonas críticas (techo).

Para conocer el comportamiento de la caseta CAGETEV había que instrumentarla con termopares para esto se utilizó un equipo de adquisición de datos de la National Instrument (SCXI).

En el capítulo 3 encontramos el procedimiento y descripción de las actividades realizadas para registrar los perfiles de temperaturas. En esta etapa se conoció el equipo de adquisición, calibrando e instalando los termopares. También se registraron las temperaturas en un transcurso de 24 horas.

Los resultados obtenidos en el cálculo del flujo de calor por conducción a través de las paredes de la CAGETEV están en el capítulo 4, donde se da resultado al problema y una breve interpretación de los resultados obtenidos. El capítulo 5 son las conclusiones y recomendaciones.

1 Marco de referencia

1.1 Introducción

En México ha aumentado el consumo de energía en el sector empresarial, comercial, público y privado en los últimos 5 años. No obstante varias ciudades se encuentran en regiones templadas y se consumen grandes cantidades de energía para alcanzar el confort térmico de los ocupantes de casas y edificios.

Existen sistemas de climatización solar de viviendas que eliminan en cierto grado los equipos electromecánicos para calefacción y/o aire acondicionado. Al utilizar técnicas naturales y pasivas de calentamiento y enfriamiento se puede reducir el consumo de energía en edificaciones comerciales y residenciales hasta en un 20%.

El estudio en detalle de flujo de aire y la transferencia de calor en edificaciones no es un problema simple, existen elementos dentro y fuera de la envolvente que mantiene un constante intercambio de aire y energía.

Para analizar este fenómeno de flujo de aire en viviendas se puede utilizar el modelado numérico y experimental del flujo de aire y la transferencia de calor.

El desarrollo del presente proyecto de residencia profesional es parte de un proyecto de investigación en el cual se realiza un estudio numérico-experimental de la convección natural de aire en una habitación cerrada con una pared sujeta al calentamiento solar y el subsiguiente enfriamiento nocturno, la pared opuesta con temperatura constante de 20°C, mientras se mantienen aisladas las paredes laterales el piso y el techo.

El objetivo es medir y registrar la temperatura en interior y el exterior de las paredes techo y piso en la “Caseta Giratoria para Estudios Térmicos en Viviendas”, para determinar el flujo de calor por conducción en estas secciones.

Las actividades realizadas fueron la integración del sistema de adquisición de datos, la calibración de instrumentos y el monitoreo de temperaturas en la caseta CAGETEV y obtener el flujo de calor.

1.2 Justificación del proyecto

Es importante conocer el comportamiento térmico de las viviendas debido a que éste influye en la salud y el desempeño de sus habitantes. Se sabe que para aumentar el confort térmico hay materiales más convenientes y que la orientación y distribución son factores de gran importancia, estas variables se pueden modificar por varios métodos como son el uso de dispositivos como aleros y sombreados, por la orientación óptima de las ventanas en contra del sol, con el uso de pinturas con bajos índices de absorbencia (pinturas de color claro), y también mediante el uso inteligente y el acomodo alternativo de los materiales que forman no solo el techo sino las paredes, puertas, etc., de la vivienda.

El control de estas variables es importante porque son desencadenadoras, en el caso de que no se encuentren dentro de los valores del confort, de un mal desempeño de los habitantes de la vivienda en sus actividades cotidianas, además de una sensación de malestar.

Este proyecto de residencia, es sólo parte de un proyecto con mayor alcance, que poco a poco irá involucrando otros factores tales como el efecto del viento a través de ventanas abiertas, diferentes techos, y la presencia de paredes interiores.

1.3 Objetivos generales y específicos

Objetivos generales

- Conocer el flujo de calor por conducción a través de las paredes de la CASETA CAGETEV.

Objetivos específicos

- Aprender a utilizar el equipo de adquisición de datos SCXI de la National Instrument.
- Registrar los perfiles de temperaturas, en el interior y exterior de la caseta CAGETEV.
- Obtener los coeficientes de transferencia de calor por conducción.
- Cálculo del flujo de calor a través de las paredes de la caseta CAGETEV.

1.4 Características del área en la que participo

El proyecto se llevo a cabo en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET en el área de Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de sistemas térmicos.

Esta línea de investigación está asociada con el tópico de investigación "Análisis y diseño térmico de edificaciones y sistemas solares relacionados". Un gran número de actividades y procesos desarrollados por el hombre involucran de una u otra forma el uso de la energía, en relación con el aprovechamiento y explotación óptima de los recursos energéticos. La dinámica de evolución de los sistemas térmicos permite analizar y resolver problemas complejos relacionados con los nuevos diseños enfocados al ahorro de la energía, tema de especial interés en la industria del país. Por lo anterior, esta segunda Línea de Investigación se ha dividido en tres sub-líneas:

- a) Estudios térmicos de edificaciones,
- b) Estudios de sistemas solares relacionados, y
- c) Propiedades termofísicas y ópticas de materiales.

El proyecto conocido como caseta CAGETEV se encuentra en la primer sub-línea de investigación ya que comprende tópicos como: ahorro de energía en edificaciones, desarrollo y estudios de sistemas térmicos alternos para ahorrar energía y reducción de la contaminación ambiental en sistemas relacionados.

1.5 Alcances y limitaciones

Los alcances y limitaciones propuestos se fundamentan al considerar el tiempo y la infraestructura asignada a este proyecto; por eso se optó por considerar los alcances y limitaciones citados utilizando los siguientes criterios.

- 1) Colocar el aislante de Poliestireno extruido.
- 2) Instrumentar la caseta CAGETEVE para el registro de las temperaturas interiores y exteriores de las paredes, techo y piso, utilizando termopares y el equipo de adquisición de datos SCXI de la National Instrument.
- 3) Se realizará un análisis de los gradientes térmicos existentes en la caseta CAGETEVE.
- 4) Cálculo del flujo de calor por conducción a través de las paredes, techo y piso.

2 Fundamento Teórico

2.1 Termopares

2.1.1 ¿Qué es un termopar?

La temperatura es una medición de la energía cinética promedio de las partículas en una muestra de materia, que se expresa en unidades de grados o en una escala estándar. Se pueden realizar mediciones de temperatura de muchas formas diferentes, que varían con la exactitud y costo del equipo. Los termopares son unos de los sensores más comunes empleados en la medición de temperatura, ya que son relativamente económicos brindando exactitud y además pueden operar sobre un amplio rango de temperaturas.



Figura 2.1 Cable termopar (Tempecon 98,S.L,1998)



Figura 2.2 Partes de un Termopar

2.1.2 Coeficiente de Seebeck

Un termopar se crea cuando dos metales diferentes se tocan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje en circuito abierto como una función de la temperatura. Este voltaje termoeléctrico se conoce como el voltaje de Seebeck, en honor a Thomas Seebeck, quien lo

descubrió en el año de 1821. El voltaje es no lineal con respecto a la temperatura. Sin embargo, para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal, es decir:

$$\Delta V = \alpha \Delta T \quad (2.1)$$

Donde ΔV es el cambio en el voltaje, α es el coeficiente de Seebeck y ΔT es el cambio en la temperatura.

α , varía con los cambios de temperatura, provocando que los voltajes de salida de los termopares sean no lineales en sus rangos.

2.1.3 Leyes termoeléctricas

A continuación se describen varios fenómenos que se conocen como leyes de termopares, las cuales son útiles para comprender los circuitos de los termopares:

- a) **Ley de Metales Intermedios:** La incorporación de un metal homogéneo al circuito de un termopar no cambia la FEM desarrollada.

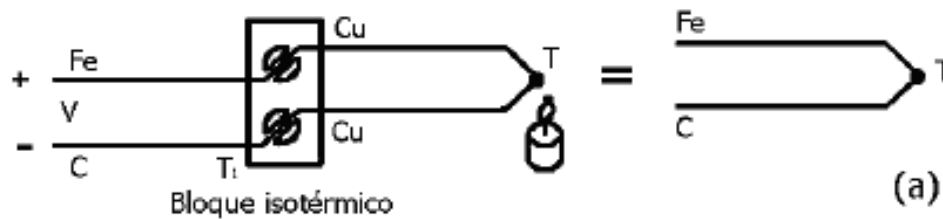


Figura 2.3 Esquema de la ley de los metales inversos (Omar bustillos Ponce, 2001)

- b) **Ley de Temperaturas Interiores:** Cuando las juntas de dos metales homogéneos diferentes, se mantienen a diferentes temperaturas, no es afectada por los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores.

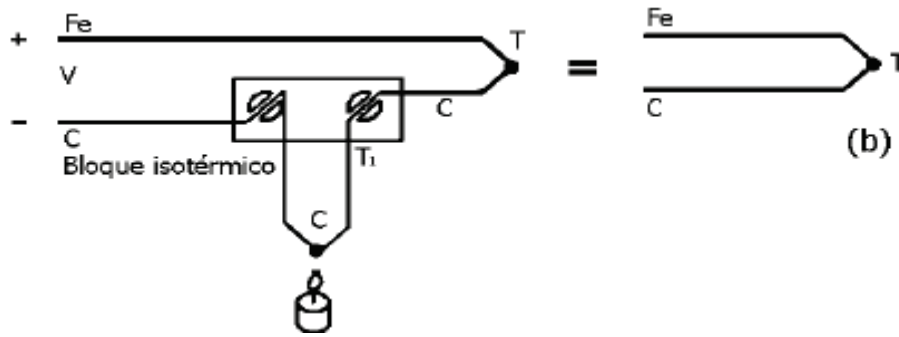


Figura 2.4 Esquema de la ley de temperaturas internas (Omar bustillos Ponce, 2001)

- c) **Ley de Metales Interiores:** En un circuito formado por dos metales homogéneos diferentes, que tienen las dos juntas a diferentes temperaturas, la FEM desarrollada no es afectada cuando un tercer metal homogéneo se agrega al circuito, siempre y cuando las temperaturas de sus dos juntas sea la misma.

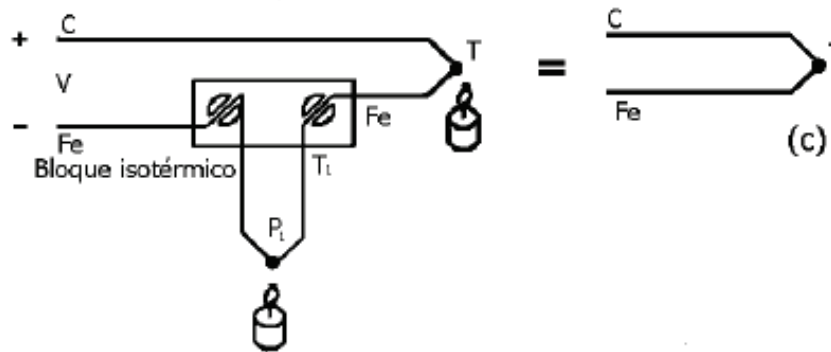


Figura 2.5 Esquema de la ley de metales internos (Omar bustillos Ponce, 2001)

2.1.4 Clasificación de los termopares según su aleación

Varios tipos de termopares están disponibles, y diferentes tipos están asignados con letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo al American National Standards Institute (ANSI). Por ejemplo, un termopar tipo J tiene un conductor de hierro y un conductor constantán (una aleación de cobre-níquel). Una lista completa de los termopares disponibles se muestra en la Tabla 2.1 a continuación.

Tipo de termopar	Metales	Rango de temperaturas (°C)
K	Chromel (Ni-Cr) vs Alumel (Ni -Al)	-270 a 1372
E	Cromo vs Constantán (Cu-Ni)	-270 a 1000
J	Hierro vs Constantán(Cu-Ni)	-210 a 750
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) vs Nisil (Ni-Si)	-270 a 1300
B	Platino(30%) vs Rodio	0 a 1820
R	Platino(13%) vs Rodio	-50 a 1768
S	Platino(10%) vs Rodio	-50 a 1768

Tabla 2.1 Clasificación de los termopares según su aleación (Tempecon 98,S.L,1998).

Características

Termopar tipo K Amplia variedad de aplicaciones, bajo costo y en una variedad de sondas. Posee buena resistencia a la oxidación.

Termopar tipo E No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico.

Termopar tipo J Ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos, no puede usarse a temperaturas superiores a 760° C ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Es afectado por la corrosión.

Termopar tipo N Es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.

Termopar tipo B Son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800° C. Presentan el mismo resultado a 0° C y 42° C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50° C.

Termopar tipo R Adecuados para altas de temperaturas. Su baja sensibilidad ($10 \mu V/^{\circ} C$) y su elevado precio quitan su atractivo.

Termopar tipo S Ideales para mediciones de altas temperaturas, pero su baja sensibilidad ($10 \mu V/^{\circ} C$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43^{\circ} C$).

2.1.5 Código de colores

El propósito del código de colores de los termopares y el cable de extensión es poder identificar con facilidad el tipo, su polaridad y la clase de aislante.

Tipo de termopar	Código Internacional Colores Según IEC 584.3:1989	Británico Según BS 1843	Norte-americano Según ANSI/MC96.1	Alemán Según DIN 43714	Francés Según NFC 42324	Japón Según JIS C 1960-1981
K						
T						
J						
N						
E						
R						
S						
B						

Tabla 2.2 Código de colores más utilizados (Tempecon 98,S.L,1998).

2.1.6 Aislamientos

Los aislamientos utilizados en los cables termopar se clasifican en tres categorías generales: a prueba de agua, a prueba de humedad y resistente al calor.

Los materiales para estos aislamientos desempeñan varias funciones, tales como protección mecánica y aislamiento eléctrico. En instalaciones permanentemente secas, estas funciones pueden ser desempeñadas por sustancias no conductoras como asbesto, fibra de vidrio, fibra cerámica. Donde puede presentarse humedad, son necesarios materiales plásticos que no absorben humedad, como PVC, Nylon, Teflón. Cuando se requiere resistencia al calor, se puede usar fibra de vidrio, asbesto, cerámica. Cuando el cable de extensión es expuesto al mismo tiempo a calor y humedad, una combinación de dos o más materiales aislantes, puede dar un resultado satisfactorio.

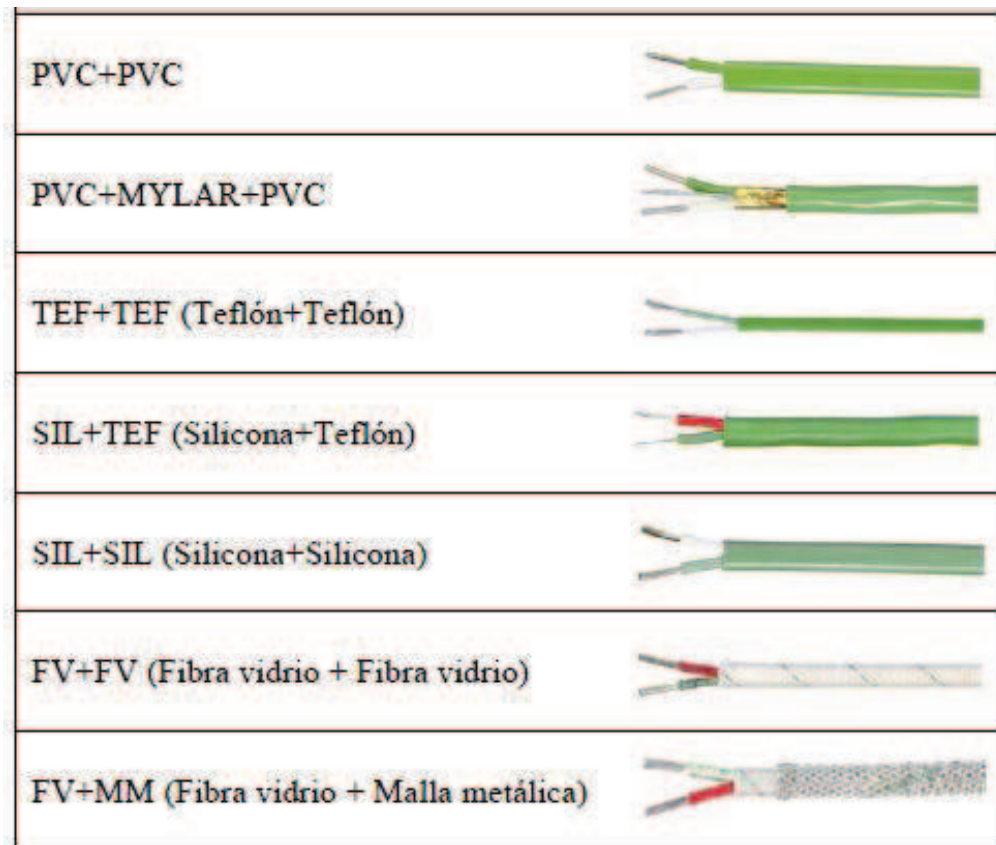


Figura 2.6 Tipos de aislamientos o fundas (Tempecon 98,S.L,1998)

2.1.7 Medidas y Acondicionamiento de Señales de Termopares basándose en una temperatura referencia $T_{ref} = 0$

No podemos medir directamente la tensión de *Seebeck* de un termopar, ya que al conectarle un voltímetro, los cables de conexión crean una nueva unión termoeléctrica. Lo que sucede al conectar un voltímetro a un termopar tipo T (Cobre-Constantan) es lo siguiente:

El objetivo es leer en el voltímetro la tensión V_1 correspondiente al punto de medida de la unión J_1 , pero por el hecho de conectar el voltímetro al termopar se han creado dos nuevas uniones: J_2 y J_3 .

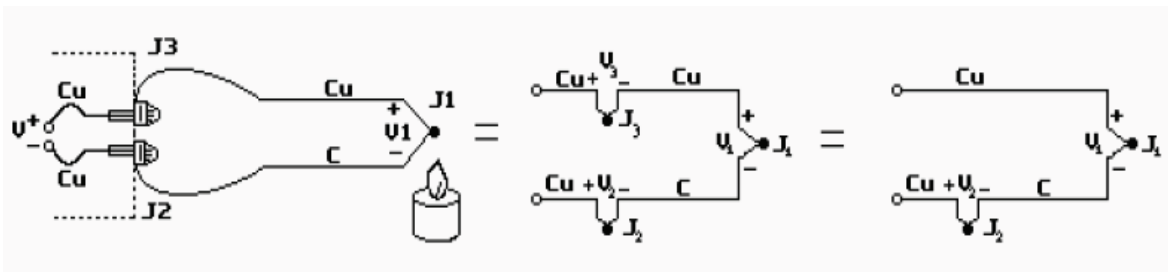


Figura 2.7 Medición de voltaje

Como la unión J_3 es de dos metales iguales (Cobre-Cobre) no se crea tensión termoeléctrica según la ley de los metales homogéneos. Pero queda la unión J_2 formada por metales diferentes (Cobre-Constantan), que genera una tensión no deseada en oposición a V_1 .

La tensión resultante leída en el voltímetro V será proporcional a la diferencia de temperaturas de las uniones J_1 , y J_2 . Por tanto, no se puede conocer la tensión de la unión J_1 , si primero no conocemos la temperatura de la unión J_2 .

Una forma de determinar la temperatura de la unión J_2 es poniendo esta unión en un baño de hielo, forzando su temperatura a 0°C y estableciendo J_2 como unión de referencia.

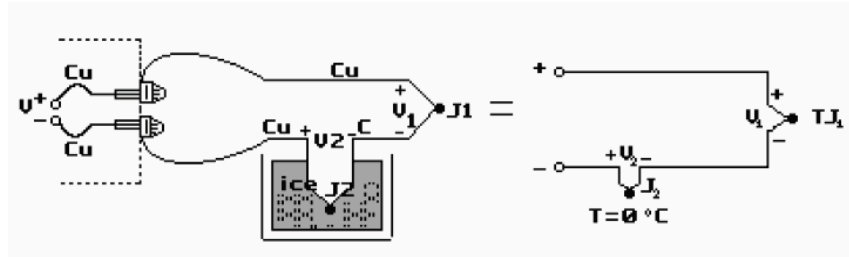


Figura 2.8 Unión de referencia

En las dos uniones del voltímetro (Cobre-Cobre) no se crea tensión termoeléctrica, y la lectura V del voltímetro es proporcional a la diferencia de temperaturas entre las uniones J_1 , y J_2 . La lectura del voltímetro es:

$$V = (V_1 - V_2) = \alpha(T_{j1} - T_{j2}) \quad (2.2)$$

Si especificamos T_{jn} en grados Celsius:

$$(^{\circ}\text{C} + 273.15) = T_{j1}(\text{K}) \quad (2.3)$$

y sustituimos de la expresión anterior:

$$V = \alpha[(t_{j1} + 273.15) - (t_{j2} + 273.15)] \quad (2.4)$$

$$V = \alpha(t_{j1} - t_{j2}) \quad (2.5)$$

$$V = \alpha(t_{j1} - 0) \quad (2.6)$$

$$V = \alpha t_{j1} \quad (2.7)$$

No hay que caer en el error de considerar la tensión V_2 igual a cero, ya que en realidad es la tensión de la unión a 0°C .

Este método es muy exacto, ya que la temperatura del punto de hielo, a diferencia de otras temperaturas, se puede calcular con mucha exactitud. El punto de hielo como unión de referencia es el empleado por la National Bureau of Standards (NBS) para confeccionar las tablas de

tensión-temperatura de los termopares, de manera que se puede convertir la tensión V en temperatura buscando los pares de valores correspondientes en estas tablas.

De lo expuesto hasta este punto hay que resaltar dos conceptos:

- Al medir con un voltímetro la tensión de los termopares siempre, inevitablemente, se forman dos nuevas uniones termoeléctricas de metales diferentes.
- Para deducir la temperatura de una unión mediante la tensión termoeléctrica hay que tener la otra unión a una temperatura conocida o de referencia.

El termopar empleado en esta explicación es un caso muy particular, ya que supone que el cobre de dicho transductor es el mismo que el de los terminales del voltímetro. Si se utiliza un termopar tipo J (Hierro-Constantan), aumenta el número de uniones de metales diferentes.

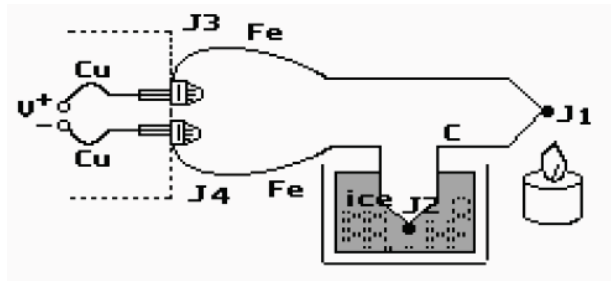


Figura 2.9 Termopar hierro-constantan

Para solucionar este problema se añade otra unión, igual a la que utilizamos para medir, y que utilizaremos como referencia J_2 .

El nuevo circuito dará una medida bastante precisa, ya que las uniones J_3 y J_4 producen tensiones termoeléctricas en oposición, y si la temperatura de los dos terminales del voltímetro es la misma, estas tensiones se cancelan mutuamente dentro del circuito termoeléctrico. Para llevar a cabo una medida más exacta es mejor usar un bloque isotérmico. Este bloque asegurará que las uniones J_3 y J_4 estén a la misma temperatura. La temperatura absoluta del bloque isotérmico no tiene ninguna importancia, dado que las dos uniones Cobre-Hierro actúan en oposición. Así, todavía tenemos que:

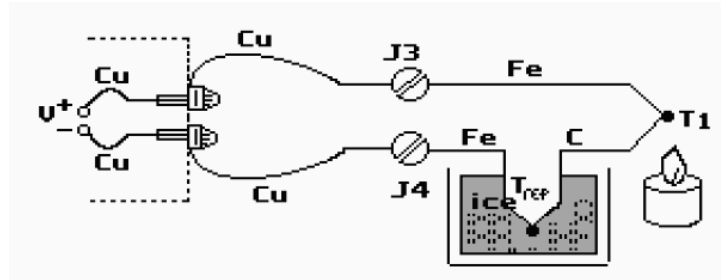


Figura 2.10 Extracción de terminales

$$V = \alpha(t_{j1} - t_{ref}) \quad (2.8)$$

Hasta este punto se ha conseguido llevar a cabo medidas reales de temperatura, pero el baño de hielo hace que el método sea poco operativo. El paso siguiente es sustituir el baño de hielo por otro bloque isotérmico.

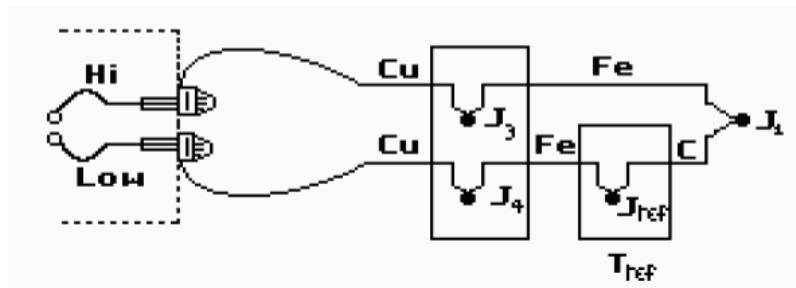


Figura 2.11 Bloque isotérmico

En realidad nada cambia si conocemos la temperatura de la unión de referencia:

$$V = \alpha(t_{j1} - t_{ref}) \quad (2.8)$$

Todavía hay el inconveniente de usar dos termopares para medir la temperatura de un solo punto. Para eliminar este termopar se hace que los dos bloques isotérmicos estén a la misma temperatura, lo que no modifica nada.

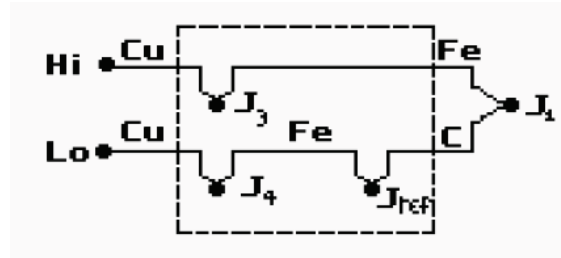


Figura 2.12 Analogía de los bloques isotérmicos

Si ahora se aplica la ley de los materiales intermedios, se puede eliminar el termopar adicional.

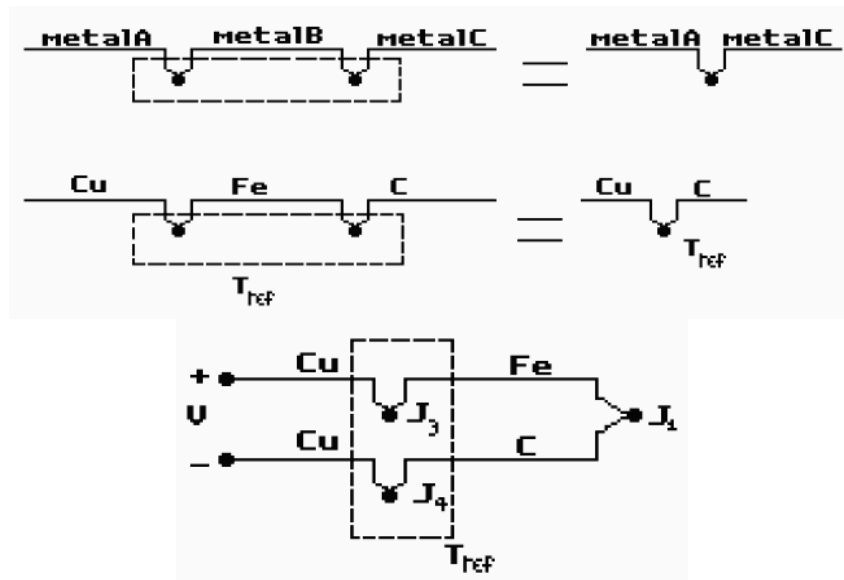


Figura 2.13 Analogía de los bloques isotérmicos y aplicación de las leyes de termoelectricas.

De nuevo se cumple que:

$$V = \alpha(t_{j1} - t_{ref}) \quad (2.8)$$

α , es el coeficiente de *Seebeck* del termopar J (Fe-C).

Las uniones J_3 y J_4 hacen la función del baño de hielo y por tanto son la unión de referencia.

El siguiente paso es medir la temperatura del bloque isotérmico (t_{ref}) y emplear esta información para conocer la temperatura de la unión $j_1(t_{j_1})$.

Llegado este punto parece obligado preguntarse: si hay que utilizar otro transductor (RTD, termistor, etc.) para conocer la temperatura del bloque isotérmico, ¿por qué no medir directamente con este transductor en el punto de interés?. La respuesta a esta pregunta es que los termopares tienen un campo de medida mucho más amplio que el resto de transductores. Por ejemplo, los termopares tipo J se emplean en hornos.

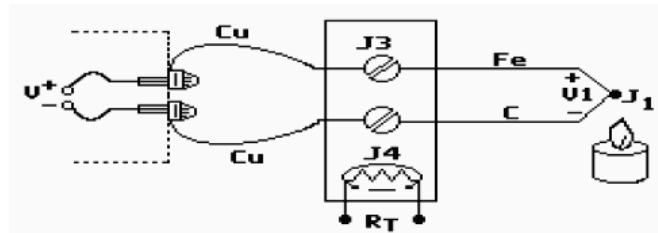


Figura 2.14 Bloque isotérmico con un transductor auxiliar para conocer su temperatura

Por otra parte, cuando hay que medir temperaturas en puntos diferentes, se pueden conectar todos los bloques isotérmicos en un único punto y por tanto emplear un único transductor auxiliar.

Compensación de la unión fría

Llamamos unión fría a las uniones distintas a la unión que calentamos y que están a temperatura ambiente.

Normalmente no se hallan las dos temperaturas (la de la unión fría y la que se desea medir) por separado, sino que se emplean métodos para medir directamente la tensión correspondiente a la diferencia entre ambas temperaturas. Para llevar a cabo la compensación de temperatura de la unión de referencia (unión fría) se puede optar por dos soluciones:

- **Compensación por Software:** Mediante el transductor auxiliar se determina la temperatura del bloque isotérmico y se calcula la tensión equivalente de la unión de referencia V_{ref} . Posteriormente a la tensión medida con el voltímetro (V) se le resta V_{ref} para encontrar la tensión del termopar (V_1) y convertirla después en la temperatura equivalente t_{j1} , que es la temperatura que realmente se desea conocer. Esta solución permite usar un único bloque isotérmico para diferentes termopares.

$$V_1 = V - V_{ref} \longrightarrow V_1 = t_{j1} \quad (2.9)$$

- **Compensación por Hardware:** En este caso, en lugar de determinar la temperatura del bloque isotérmico y posteriormente hallar la tensión equivalente V_{ref} , lo que se hace es insertar directamente una tensión equivalente a ésta en el circuito termoeléctrico de tal manera que ambas se compensen y la medida realizada con el voltímetro (V) sea directamente la tensión correspondiente a la temperatura equivalente t_{j1} . Esta solución es muy rápida pero está restringida a un único termopar. Éste es el método que se utiliza en esta práctica.

2.1.8 Conversión de Voltaje a temperatura

Lamentablemente la relación de temperatura voltaje de un termopar no es lineal por lo tanto no podemos simplemente leer el voltímetro digital y convertir la lectura de voltaje a temperatura

La grafica 1 muestra la relación entre el voltaje de salida versus la temperatura de los termopares más comunes. Se puede observar que no se mantiene una relación lineal entre la temperatura y el voltaje.

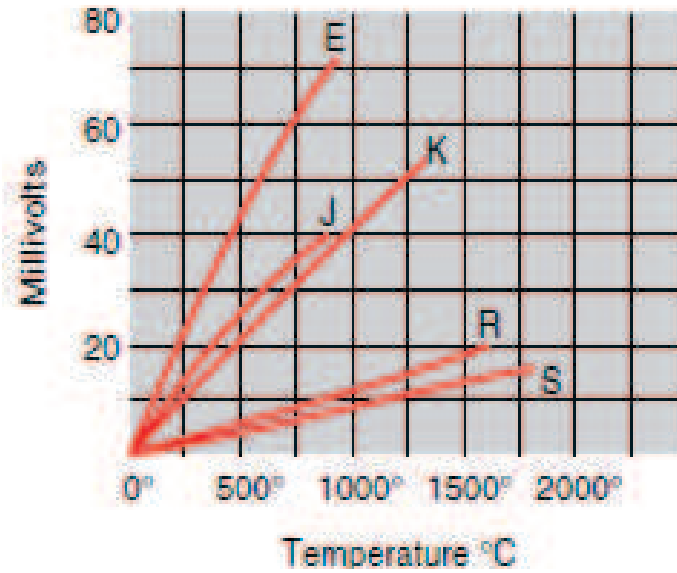


Figura 2.15 Temperatura del termopar vs. voltaje

Si la cuesta de la curva (el coeficiente Seebeck) es trazada contra la temperatura, se hace bastante obvio que el termopar es un dispositivo no lineal.

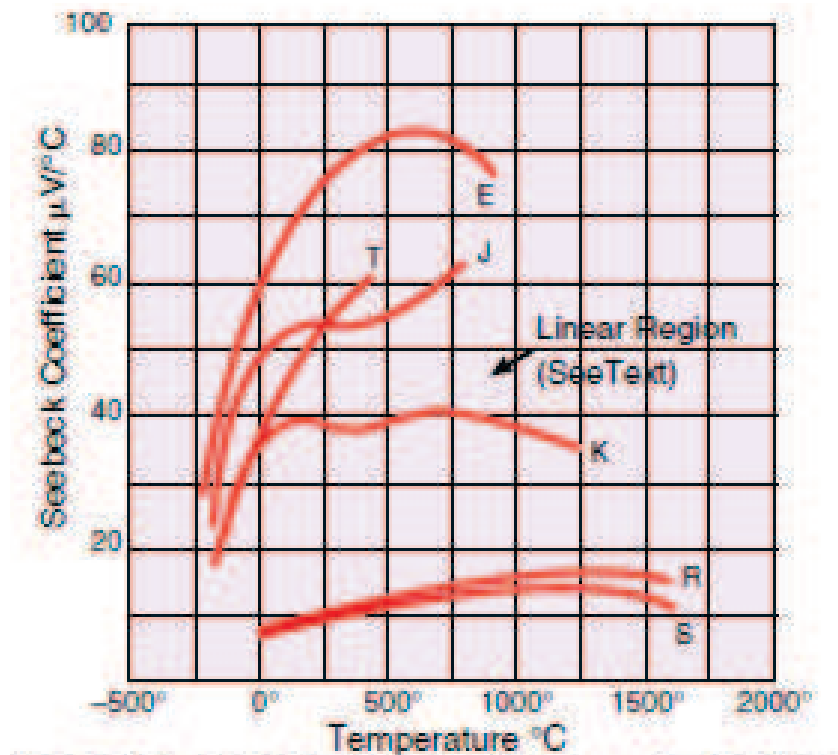


Figura 2.16 Coeficiente de Seebeck vs temperatura

Observando las variaciones en el coeficiente Seebeck, fácilmente podemos ver que la utilización de un factor de escala constante limitaría la gama de temperaturas del sistema y restringiría la exactitud del sistema. Para obtener una mejor conversión hay diversos métodos algunos con mayor precisión, todo depende de la aplicación que se le dará al termopar.

Un método sería utilizar la lectura del voltímetro y la siguiente ecuación

$$T = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 \dots + a_nX^n \quad (2.10)$$

Donde

T = Temperatura

X = La FEM generada por el Termopar en Voltios

a = Coeficientes de Polinomio únicos a cada de termopar ($a_0, a_1, a_2 \dots a_n$)

n = Orden máximo del polinomio

Como va aumentando el valor de n , la exactitud del polinomio se mejora. Un número representativo es la $n = 9$ para $\pm 1^\circ\text{C}$ la exactitud.

2.2 El sistema de adquisición de datos: SCXI de National Instruments

2.2.1 Que es la adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos es el proceso de medición de un fenómeno físico (temperatura, presión, o el sonido). La adquisición de datos basado en PC utiliza una combinación de hardware modular, el software de aplicación, y una computadora para realizar las mediciones. Si bien el sistema de adquisición de datos (DAQ) se define por las necesidades de su aplicación, cada sistema comparte un objetivo común de adquirir, analizar y presentar la información. Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos DAQ, y software de aplicación.

2.2.2 Descripción del equipo SCXI

El hardware de adquisición que utilizaremos es un equipo de la National Instrument usará el dispositivo DAQ USB SCXI-1600 con este módulo se crea un sistema DAQ USB completamente plug-and-play. Se requiere de un chasis SCXI para alojar al SCXI-1600 y a diferentes módulos SCXI-1102 para un sistema en particular el cual nos servirá para medir temperatura.

- a) Chasis con 12 ranuras SCXI –1001
- b) Módulo de control y adquisición de datos SCXI
- c) Módulo de acondicionamiento y amplificación de señal para 32 canales
- d) Bloque isotérmico terminal para 32 canales

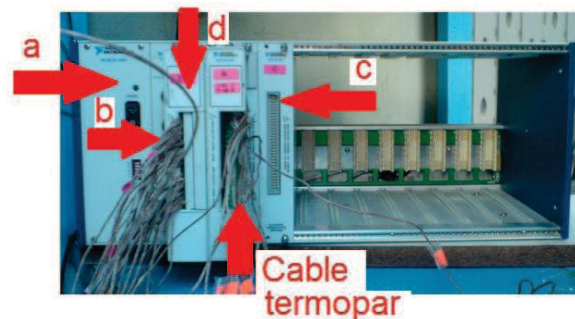


Figura 2.17 Descripción del DAQ

a) Chasis con 12 ranuras 120 VAC - NI SCXI-1001

Es un chasis robusto de poco ruido que puede recibir hasta 12 módulos SCXI. Este chasis alimenta módulos SCXI así como soporta toda la temporización, disparo y enrutado de señal entre su digitalizador y los módulos SCXI. El controlador NI-DAQ simplifica la configuración y las medidas

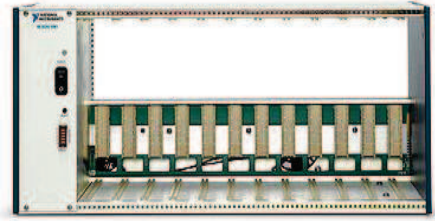


Figura 2.18 Chasis SCXI 1001

b) Módulo USB de adquisición de datos y control NI SCXI-1600

Es un módulo USB de adquisición de datos y control de 16 bits con todas las funciones para SCXI con entrada y salida analógica, E/S digital y módulos de conmutación. Se conecta al chasis SCXI 1001 y brinda habilidades de adquisición de datos y control para todos los módulos en el chasis, comunicando con una PC vía una conexión USB 2.0. Con el SCXI-1600, se puede convertir cualquier chasis SCXI en un sistema plug-and-play de adquisición de datos.

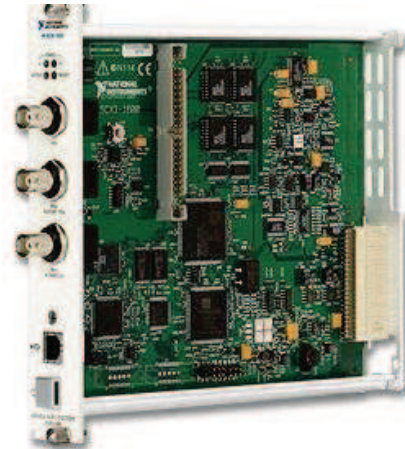


Figura 2.19 Módulo USB SCXI 1600

c) Módulo para conectar Termopares de 32 canales – NI SCXI-1102

Está diseñado para medidas de termopares de alta precisión. Cada canal de entrada incluye un amplificador para instrumentación y un filtro de paso bajo de 2 Hz. También se escanean el sensor para compensación de unión fría junto con otros canales de entrada. El SCXI-1102 y pueden adquirirse señales de entrada de corriente en milivoltios, voltios o corriente de 0 a 20 mA y de 4 a 20 mA. Cada módulo puede conectar sus canales a un solo canal en el dispositivo DAQ y se puede añadir módulos para aumentar la cuenta de canales.

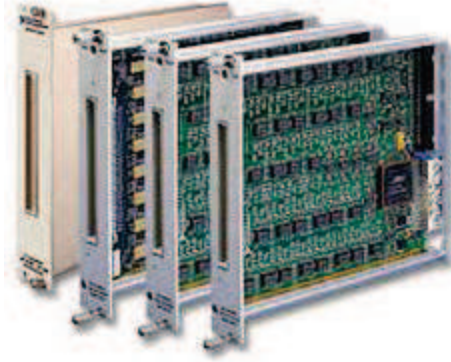


Figura 2.20 Amplificador SCXI 1001

d) Bloque isotérmico de terminal blindado para 32 canales - SCXI-1303

Diseñado específicamente para medidas de termopares de alta precisión, el SCXI-1303 incluye construcción isotérmica que minimiza errores causados por gradientes térmicos entre terminales y el sensor de unión fría.

El SCXI-1303 también incluye circuitos para detección de termopares abiertos así como referencia a tierra automática para termopares flotantes (sin tierra).

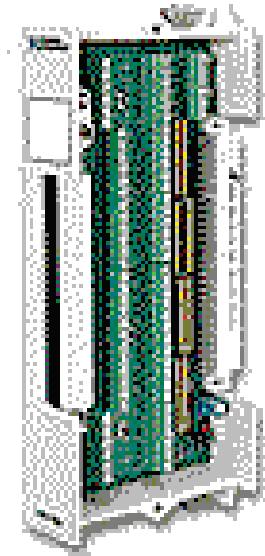


Figura 2.21 Bloque isotérmico SCXI 1303

2.3 Software LabVIEW, NI-DAQmx

2.3.1 Introducción al software LabVIEW

Este software permite elaborar programas para controlar sistemas por medio de una computadora, sirve para elaborar un programa con el cual se puede llevar a cabo la adquisición de datos; además de que funciona como soporte para la instalación del software NI-DAQmx y permite configurar las propiedades del sistema de adquisición de datos.

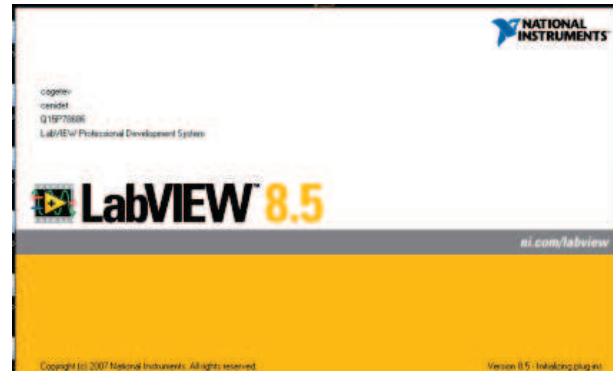


Figura 2.22 LabVIEW 8.5

LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G (lenguaje Gráfico). Este programa fue creado por National Instruments (1976). Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux. Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos.

Principales usos

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante
- Automatización industrial y programación de PACs (Controlador de Automatización Programable)
- Diseño de controladores: simulación y prototipaje rápido.
- Control y supervisión de procesos
- Visión artificial y control de movimiento

- Robótica
- Domótica y redes de sensores inalámbricos

Principales características

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer (programas) relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales.

Programacion en LabVIEW

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo programando, permite dedicarse un poco más a la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI (instrumento virtual) consta de dos partes diferenciadas:

Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real.

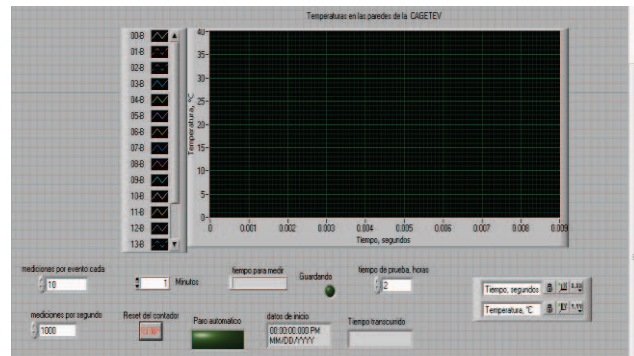


Figura 2.23 Panel frontal del VI utilizado en el proyecto de la Caseta CAGETEV

En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas).

Diagrama de Bloques: Es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.

En el panel frontal, encontraremos todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles y indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuarán con la terminal del VI.

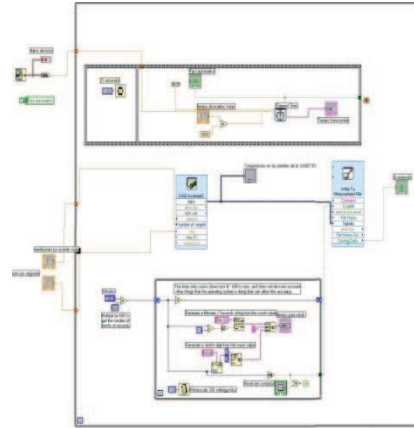


Figura 2.24 Diagrama de Bloques del VI utilizado en el proyecto de la Caseta CAGETEV

Descripción del VI utilizado en el proyecto de la caseta CAGETEV.

Para realizar la adquisición de datos se realizó un VI en LabVIEW que registrará los datos por un tiempo determinado por el operador, y al terminar guardará las mediciones registradas en un archivo de Excel.

El funcionamiento del programa comienza con la adquisición de datos que se realiza con el bloque DAQ Assistant es donde se dan de alta todos los canales que se vayan a utilizar (termopares) aquí también se calibran y se indica la forma en que registrará los datos de manera tabulada. También tiene un indicador que nos permite ver de manera gráfica el comportamiento de la temperatura.

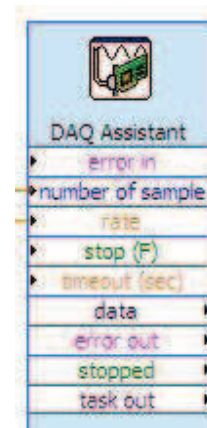


Figura 2.25 Bloque DAQ Assistant

Es a través de este bloque donde indicamos el número de mediciones que se desee realizar. El DAQ Assistant será descrito con mayor profundidad en el capítulo 3.

El registro de los datos lo hacemos a través del bloque Write LabVIEW Measurement File que nos permite guardar los datos en un archivo de Excel indicando los datos del registro de temperaturas así como el tiempo en que fue registrada cada lectura.

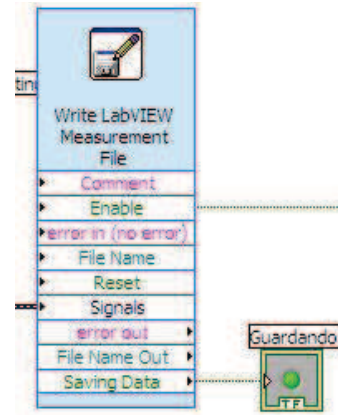


Figura 2.26 Bloque Write LabVIEW File

El elemento que indica al programa cada cuanto tiempo queremos que guarde los datos es un temporizador. Es aquí donde se ingresa el tiempo en minutos para registrar los datos, por ejemplo 10 datos en 10 minutos. Este va conectado al enable del bloque Write LabVIEW Measurement File.

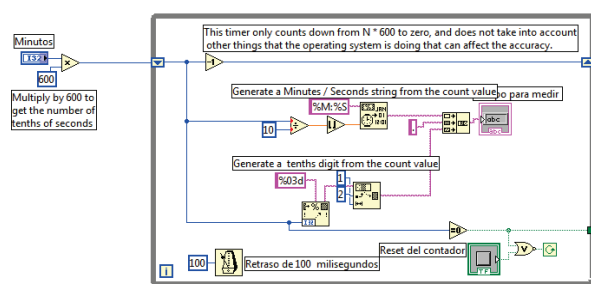


Figura 2.27 Bloque del temporizador

El bloque elapsed time (ver figura 2.27), nos indica cuanto tiempo ha transcurrido desde que arrancamos el programa, nos proporciona un indicador que permite el ver tiempo que ha pasado y también en este bloque es donde se tiene el paro automático que hace que el programa se detenga después de haber pasado el tiempo que hayamos indicado por ejemplo 24 horas, después de ese tiempo el programa se detendrá automáticamente.

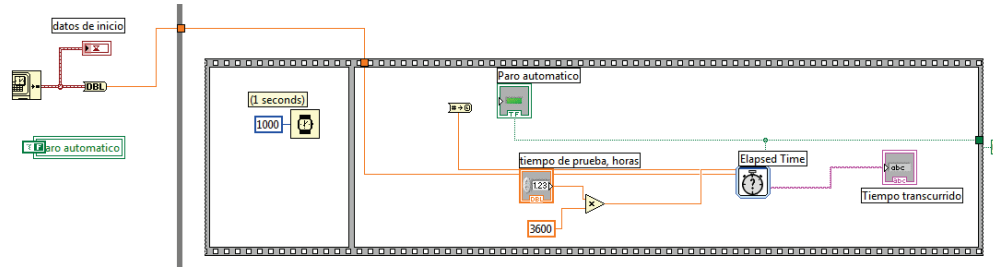


Figura 2.28 Bloque elapsed time

2.3.2 Software NI-DAQmx

Este software es un controlador del sistema de adquisición de datos SCXI, y una vez instalado se presenta el paquete llamado Measurement & Automation Explorer (MAX), el cual permite que un sistema de computo pueda reconocer el sistema SCXI por medio de una conexión por un puerto USB, además de que nos muestra el estado de funcionamiento de nuestro sistema y nos permite una comunicación entre el software LabVIEW y el sistema SCXI.



Figura 2.29 Disco de instalación del software NI-DAQmx

3 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1 Descripción de la Caseta Giratoria Para Estudios Térmicos de Viviendas CAGETEVE

El proyecto estructural y arquitectónico de la caseta fue desarrollado para cumplir con los objetivos del proyecto doctoral de Morales (2008). Se establecieron las siguientes características:

- a) Dimensiones de una habitación tipo de las viviendas de la región.
- b) Capacidad de giro desde 0° hasta 360° para orientar la caseta en función de los estudios a realizar.
- c) Una pared desmontable para estudiar el efecto de diferentes materiales de construcción.
- d) La pared opuesta a la pared desmontable a temperatura constante.
- e) Las demás paredes junto con el piso y el techo se mantendrán aislados.
- f) Ventanas ocultas para subsiguientes estudios que involucren el efecto del viento o de vidrios.

a) Dimensiones de una habitación tipo de las viviendas de la región.

Las dimensiones de una habitación tipo se definieron mediante un estudio que incluyó:

- Encuesta a estudiantes de la región de Cuernavaca.
- La revisión de trabajos publicados sobre viviendas de interés social, y
- Visitas a las viviendas construidas por las instituciones INFONAVIT, FOVISSSTE e INVIMOR (fotos mostradas en la figura 3.1).



Figura 3.1 Casas de interés social

Se concluyó que aun cuando existen una gran variedad de dimensiones; se pueden utilizar los valores que más se repitieron (moda estadística): 3.0m x 3.0m x 2.5m (frente, fondo, altura) como una habitación típica.

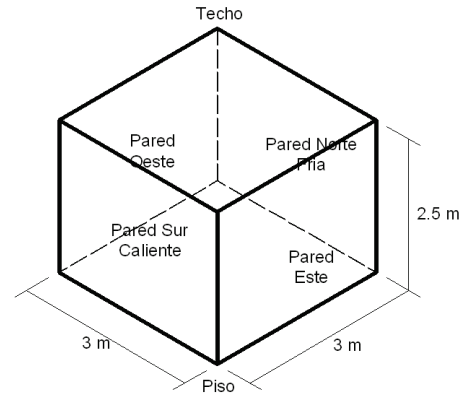


Figura 3.2 Modelo de la caseta

b) Capacidad de giro desde 0° hasta 360° para orientar la caseta en función de los estudios a realizar.

Para esto se construyó un sistema de giro con las siguientes condiciones:

- Una plantilla de concreto armado de 6m x 6m con 10cm de espesor.
- Un dado central de concreto armado con una placa circular de acero (1m de diámetro, 2cm de espesor y 52 balines de 2.5cm de diámetro c/u) que sirve de apoyo y centro de giro de la caseta, y
- Una trabe perimetral (dona) que sirve de base y pista para las ruedas. En la figura 8.7 se pueden apreciar los tres elementos.

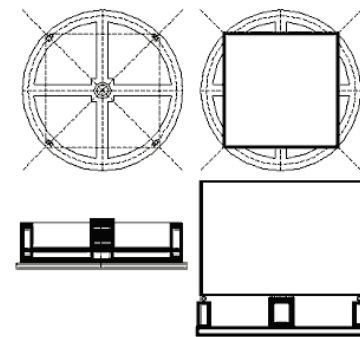


Figura 3.3 Elementos del sistema de giro de la caseta CAGETEVE, (Morales, 2008)

- c) **Una pared desmontable para estudiar el efecto de diferentes materiales de construcción.**

Tres paredes de la caseta son fijas y una es desmontable para poder evaluar diferentes componentes y materiales de construcción. En la figura 8.8 se muestran las características principales de diseño.

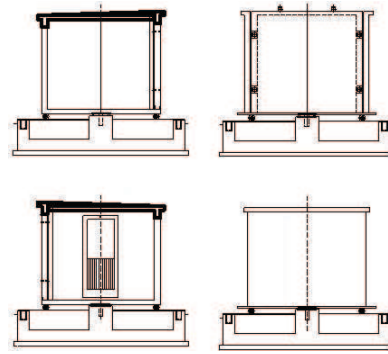


Figura 3.4 Diagramas de las paredes de la caseta CAGETEV

En la fotografía de la figura 3.5 se puede apreciar la caseta giratoria terminada y la dala circular (dona) que funciona como apoyo y guía para el giro de la misma.



Figura 3.5 Caseta CAGETEV terminada y base guía para giro

- d) **La pared opuesta a la pared desmontable a temperatura constante.**
e) **Las demás paredes junto con el piso y el techo se mantendrán aislados.**

Para establecer las condiciones de comportamiento térmico deseadas en el proyecto doctoral Morales 2008

Se aislaron las paredes de la CAGETEV con Poliéstireno extruido, se instaló una lámina de acero en el interior para mantener la pared norte a una temperatura más uniforme.

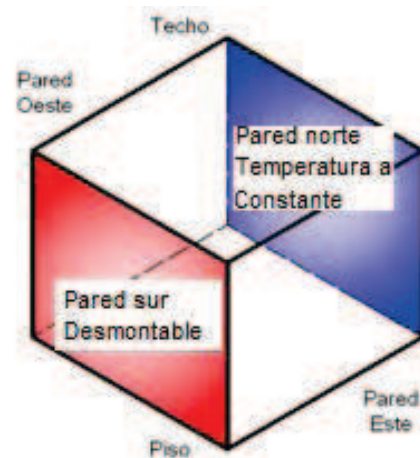
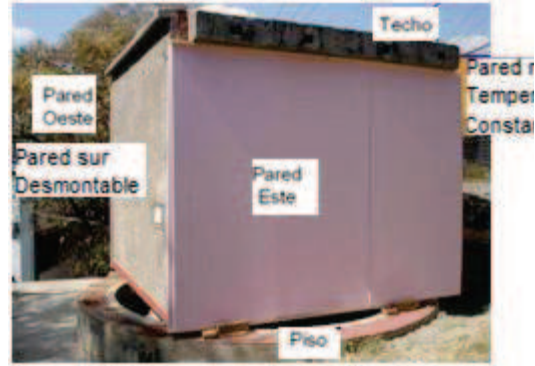


Figura 3.6 Modelo para estudio del proyecto Morales

Cada pared de la casa tiene distintas condiciones de aislamiento por ejemplo el techo, la parte más crítica, tiene una cantidad mayor de aislante y la pared sur se encuentra sin aislamiento.



**Figura 3.7 Caseta CAGETEVE con
Poliestireno extruido como aislante**

3.2 Construcción de termopares a partir de cable de termopar.

3.2.1 Selección del cable termopar

Se utilizaron cables termopar tipo K con asilamiento total de fibra de vidrio impregnada con barniz de silicona. Aislamiento individual para cada uno de los conductores.

Se decidió utilizar el cable termopar tipo K por su amplia variedad de aplicaciones disponibilidad y bajo costo. Posee buena resistencia a la oxidación. Algunas características:

- Metales de composición Chromel (Ni-Cr) + Alumel (aleación de Ni -Al).
- Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1\ 372^{\circ}\text{C}$
- Una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.
- Límites de error $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$

Se eligió con aislante de fibra de vidrio porque es adecuada para aislamientos eléctricos por sus superiores propiedades dieléctricas y por su resistencia mecánica y al calor.

Para mejorar su resistencia a humedad, se impregna con sustancias a base de silicones.

Temperatura máxima de operación: 450°C .

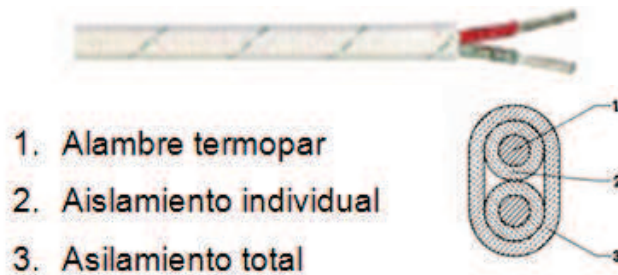


Figura 3.8 Partes de un cable termopar tipo J aislado con fibra de vidrio

3.2.2 Construcción de los termopares



Figura 3.9 Auto-transformador variable

Se requiere montar un circuito eléctrico que permita realizar una soldadura, en nuestro caso utilizamos un auto transformador variable, para variar la intensidad de la corriente suministrada en los extremos a soldar. La soldadura se realiza sobre las 2 terminales del cable termopar.

Se coloca un electrodo de carbón en el extremo positivo del auto-transformador. Se debe tener cuidado al seleccionar una combinación voltaje-amperaje para cada tipo de termopar y para cada diámetro (calibre). Se debe formar un grano esférico para evitar dañar el



Figura 3.10 Electrodo de carbón

cable termopar. Un cordón aplanado indica que el ajuste de la energía es demasiado alto y en el caso contrario no se alcanzará a homogenizar el material o simplemente no hay soldadura



Figura 3.11 Soldadura esférica

Se cortó el cable termopar a la longitud deseada (6 metros), se pelan cuatro centímetros de un extremo, se trenzan cuidadosamente las puntas (4 vueltas) y cuando se tenga montado el circuito eléctrico se toca el cable con el electrodo de carbón, allí se producirá un corto circuito que obliga

a la formación de la soldadura en el extremo trenzado. Esta soldadura esférica será el sensor de temperatura o termopar

3.3 Calibración de termopares a 0°C y 70°C y prueba del equipo, para adquisición de datos: SCXI de National Instruments

Asegúrese de que el sistema y el dispositivo de medición de referencia de la señal estén funcionando y conectados correctamente.

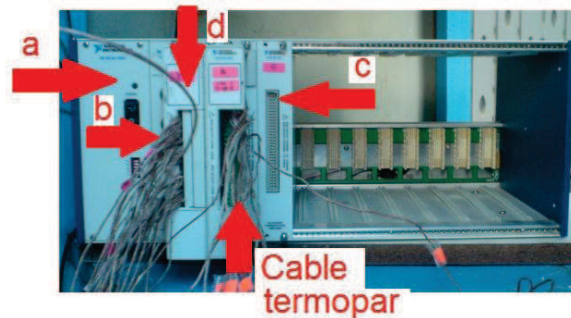


Figura 3.12 Equipo de adquisición de datos SCXI

- e) Chasis con 12 ranuras SCXI –1001
- f) Módulo de control y adquisición de datos SCXI
- g) Módulo de acondicionamiento y amplificación de señal para 32 canales
- h) Bloque isotérmico terminal para 32 canales

Al encender el equipo de adquisición de datos SCXI, LabVIEM lo reconocerá automáticamente y empezará a correr, abra su VIs (virtual instrument) con el cual va a trabajar. En nuestro caso usamos un VIs realizado por Morales 2008.

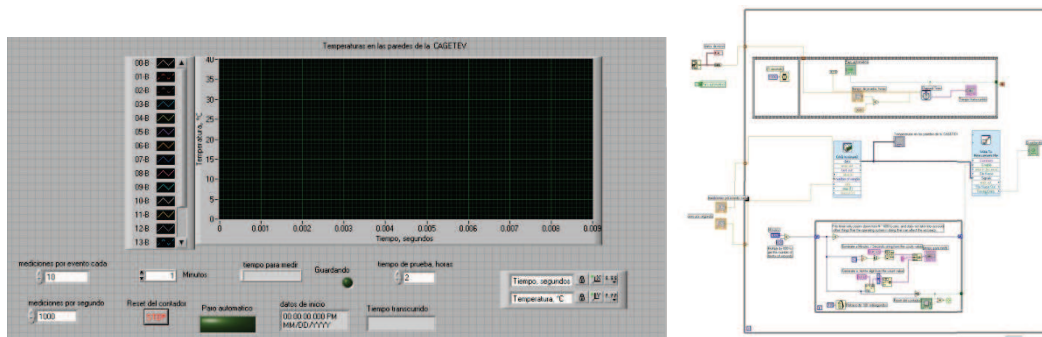


Figura 3.13 VIs Creado por Morales 2008. Este VIs y sus funciones fueron descritas en el capítulo 2.

En el diagrama de bloques podemos encontrar un asistente (DAQ Assistant 2) que nos guiará a través de la calibración de los termopares.

Le damos doble clic para entrar a las propiedades del asistente.

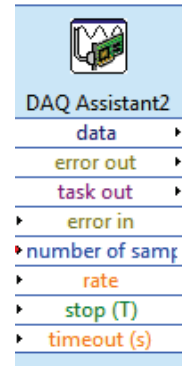


Figura 3.14 Asistente para crear, editar y ejecutar tareas

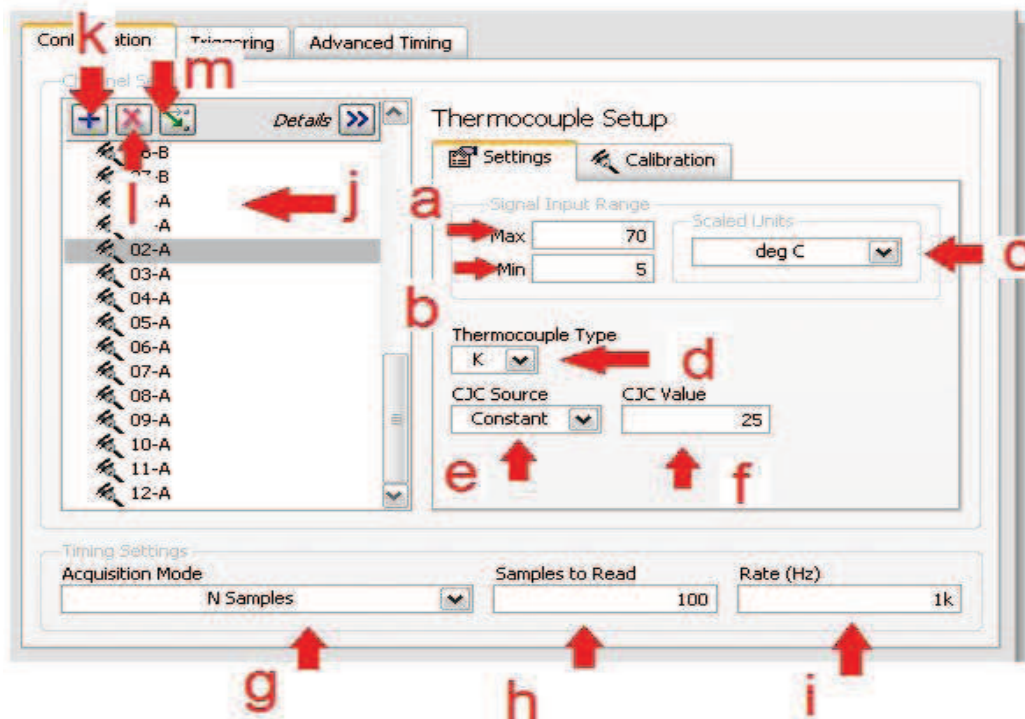


Figura 3.15 Propiedades del DAQ ASSISTENT

En este recuadro podemos editar las propiedades de nuestros canales de adquisición de datos.

- a) Max: Es el valor máximo esperado de la medición.
- b) Min: Es el valor mínimo esperado de su medida.
- c) Scaled units: Las unidades utilizadas
- d) Thermocouple type: Especifica el tipo de termopar conectado al canal físico determinado.

- e) CJC Source: Especifica el origen de la compensación de unión fría (en nuestro caso utilizamos “constant”)

Constant- La temperatura de unión fría debe ser especificada con CJC Value.

Built in - Se utiliza un canal construido en el bloque terminal.

Chanel - Se especifica un canal virtual.

- f) CJC value- Es la temperatura de la unión fría del termopar cuando Source CJC se establece en constante. El valor de la temperatura utiliza las mismas unidades que Rango de entrada (en nuestro caso utilizamos 25)

- g) Acquisition mode: Especifica la tarea de adquirir o generar una muestra.

N samples especifica que la tarea adquirir o generar un número finito de muestras.

- h) Samples to Read: Especifica el número de muestras para leer cuando se selecciona “Samples N” y especifica el tamaño de búfer cuando se selecciona Continuo.

- i) Rate (Hz): Especifica la velocidad de muestreo en hertz.

- j) Esta es la lista de canales virtuales. Haga clic en un canal virtual para cambiar su nombre, cambie el canal físico asociado a él, o eliminarlo de la lista. Si aparece un asterisco junto a al canal , es que ha guardado los cambios

- k) Es para dar de alta a un canal

- l) Se utiliza para remover los canales

- m) Es para cambiar el canal físico asociado con el canal virtual

Ya que dimos la configuración adecuada al canal procederemos a calibrar los termopares uno a la vez para evitar errores en las mediciones.

Dar de alta a los canales que se van a calibrar.

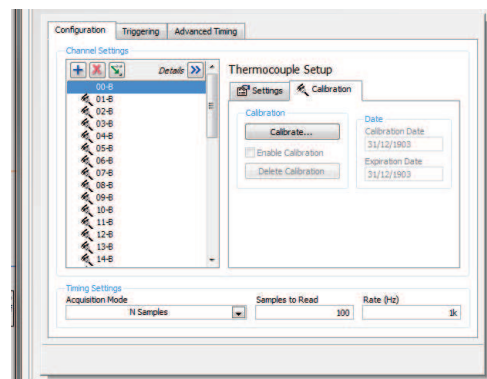


Figura 3.16 Calibración

Introduzca su nombre y la fecha de espiración de esta calibración (aproximadamente medio año después).

Rellenar los atributos de adquisición y cualquier otra información acerca de este patrón (por ejemplo, el número de serie en el sensor o la temperatura actual.)

Los atributos de adquisición se utilizan cuando se calibra el canal.

Considere la posibilidad de seleccionar una frecuencia de muestreo que sea múltiplo de la frecuencia de línea de alta tensión (50 ó 60 Hz) y/o es de 2 veces la tasa de muestreo utilizado para este canal en su aplicación.

Para la calibración los valores de las temperaturas de referencia deben incluir los valores mínimos y máximos a ser medidos.

Para el valor de referencia $T1$ se utiliza una celda térmica con hielo-agua destilada en equilibrio para evitar variaciones de la temperatura. Para la referencia $T2$ se utiliza una placa térmica aislada para obtener una temperatura estable. En nuestro caso utilizamos 70°C .

Nota: Es importante observar que las medidas requieren cierto tiempo, pues los termopares deben alcanzar el equilibrio térmico con sus alrededores. Por lo tanto, cada vez que tengamos que hacer cualquier medida, se tiene que esperar el tiempo suficiente para que se estabilicen las lecturas.

Figura 3.17 Fecha y nombre del calibrador

Figura 3.18 Frecuencia de muestreo

Registrar los valores de calibración de las medidas.

1. Introducir el valor de referencia en la medición en la fila que indica la flecha.
2. Se debe tomar una medida en un valor específico para nuestra referencia.
3. Espere a que la lectura en la columna sin calibrar (uncalibrated) se estabilice.
4. Clic "commint calibration value" o pulse la tecla "enter" para aceptar el par de CALIBRACIÓN.

Repita tantas veces como sea necesario. Debe realizar al menos 2 calibraciones.

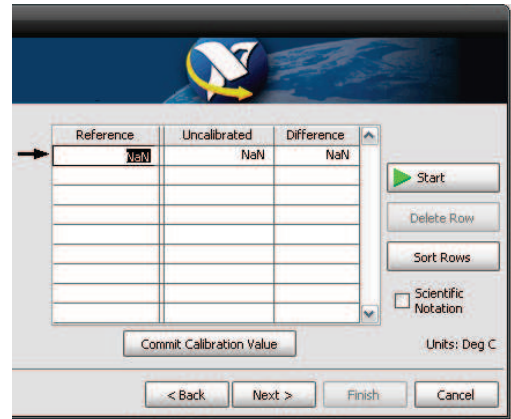


Figura 3.19 Tabla para registrar los valores de la calibración



Figura 3.20 Tabla con los valores de temperatura de referencia T1 y T2

Para ajustar un valor de calibración en el asistente, haga clic en pausa y luego haga clic en el valor de la columna sin calibrar en la fila que indica la flecha, introduzca el valor justo. Haga clic en "commint calibration value" o pulse la tecla "enter" cuando esté listo para guardar el valor. Haga clic en "start" para reanudar la adquisición del canal. Cuando todos los valores de calibración se introduzcan, haga clic en "next" para continuar.

Compruebe que existe una cobertura adecuada de los valores a su calibración. Utilice los botones a la derecha de la gráfica para hacer una panorámica y zoom gráfico y los datos para cambiar el estilo de trazado. Si es necesario, haga clic en "Volver" para agregar valores adicionales.

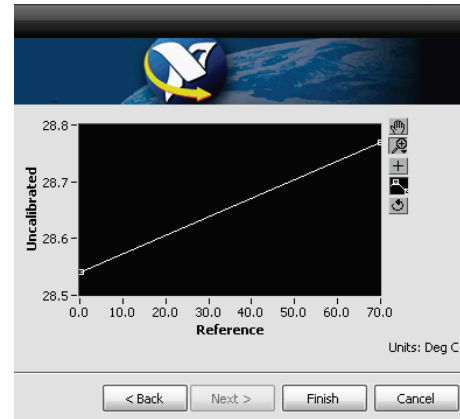


Figura 3.21 Grafica de nuestro rango de valor

3.4 Instalación de termopares en las superficies interior y exterior de las paredes de la CAGETEVE.

Para determinar las diferencias de temperatura, que se presentan entre las superficies internas y externas de las paredes, se realizó un estudio térmico de la caseta. Se colocaron 12 termopares tipo k, dos en cada pared, adicionalmente se utilizó un termopar para conocer la temperatura del centro de la caseta. Se registraron cada hora las temperaturas de las superficies exteriores e interiores de las paredes

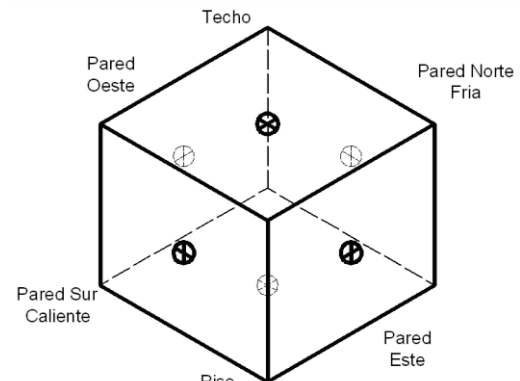


Figura 3.22 Ubicación de termopares

En la figura se muestra un plano de la caseta con la localización de los 13 termopares. Los termopares se colocaron al centro de las paredes a una altura de 1.15 m, también el termopar del centro se colocó a una altura de 1.15 m.

Los termopares de las paredes de la caseta se denominaron conforme a su orientación hacia los puntos norte, sur este y oeste.

Termopar	Posición	Denominación
1	Techo exterior	Text
2	Techo interior	Tint
3	Piso exterior	Pext
4	Piso interior	Pint
5	Pared sur exterior	PSext
6	Pared su interior	PSint
7	Pared norte exterior	PNext
8	Pared norte interior	PNint
9	Pared este exterior	PEext
10	Pared este interior	PEint
11	Pared oeste exterior	POext
12	Pared oeste interior	POint
13	Centro	Centro

Tabla 3.1 Denominación de los termopares

El sistema de adquisición de datos constó de 13 cables de termopares conectados al equipo de adquisición de datos SCXI ya descrito con anterioridad. Se guardaron datos en archivos de Excel se tomaron 15600 datos en 24 horas se promediaron y graficaron los valores por hora.

	A-00	A-01	A-02	A-03
1	28.098688	33.878413	30.519445	
2	28.102427	33.874719	30.523174	
3	28.102427	33.874719	30.526903	
4	28.098688	33.874719	30.519445	
5	28.083733	33.867332	30.515716	
6	28.079994	33.874719	30.511987	
7	28.076255	33.867332	30.508258	

Tabla 3.2 De esta manera guardamos los datos guardados en Excel

3.5 Monitoreo de la temperatura en las superficies interiores y exteriores de las paredes de la caseta CAGETEV temperatura.

Debido a circunstancias no previstas no se pudieron registrar las máximas temperaturas que en estudios anteriores realizados por el M.C. Jose Manuel Morales Rosas fueron registradas en el mes de abril.

Para el análisis de flujo de calor presentado en este proyecto se usaron las temperaturas registradas del día 07 al 08 de mayo del 2010 iniciando a las 20:00.

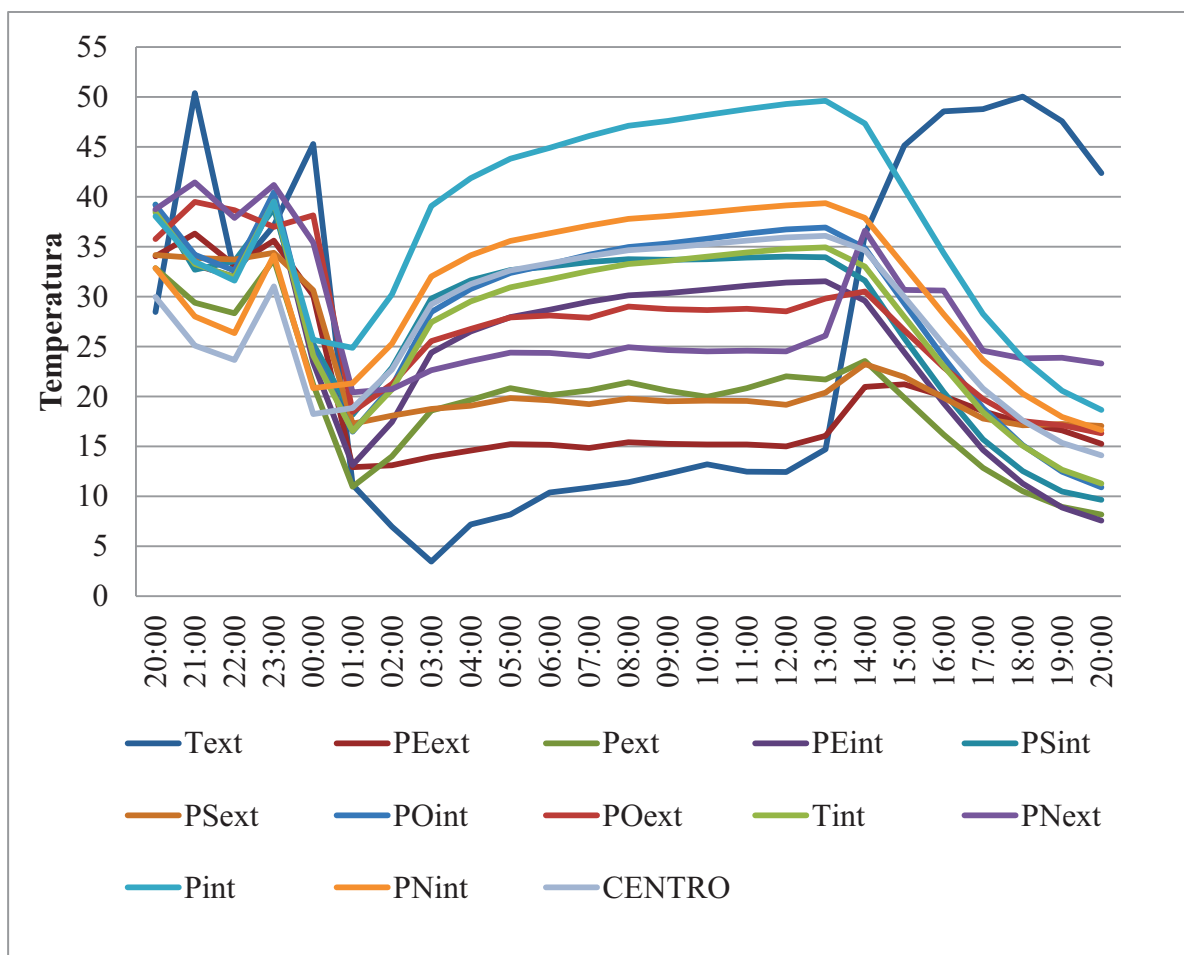


Figura 3.23 Temperaturas registradas en las superficies externas e internas de las paredes de la caseta CAGETEV

En la figura 3.23 se observa que el comportamiento de las temperaturas tiene la misma tendencia excepto el techo en el exterior (*Text*) presenta las más altas temperaturas durante el día y las más bajas temperaturas en la noches. Las otras superficies exteriores presentan picos máximos a alrededor de las 13 horas. Las superficies interiores muestran un comportamiento más uniforme observamos que las temperaturas se mantienen más altas que en el exteriores mientras transcurre la noche siendo el piso la zona con mayor temperatura esto quiere decir que se está reteniendo el calor en la caseta CAGETEV debido al aislante de Poliéstireno extruido. La temperatura en el centro de la caseta presenta temperaturas intermedias con respecto a las temperaturas de las paredes interiores. En el transcurso del día de la una de la madrugada a las 17 horas tenemos grandes diferencias de temperaturas entre el exterior y el interior. °C

Para una mejor apreciación del comportamiento térmico se muestran las graficas de cada una de las paredes tanto del exterior como el interior y de color negro el centro el cual lo tomamos como referencia para conclusiones.

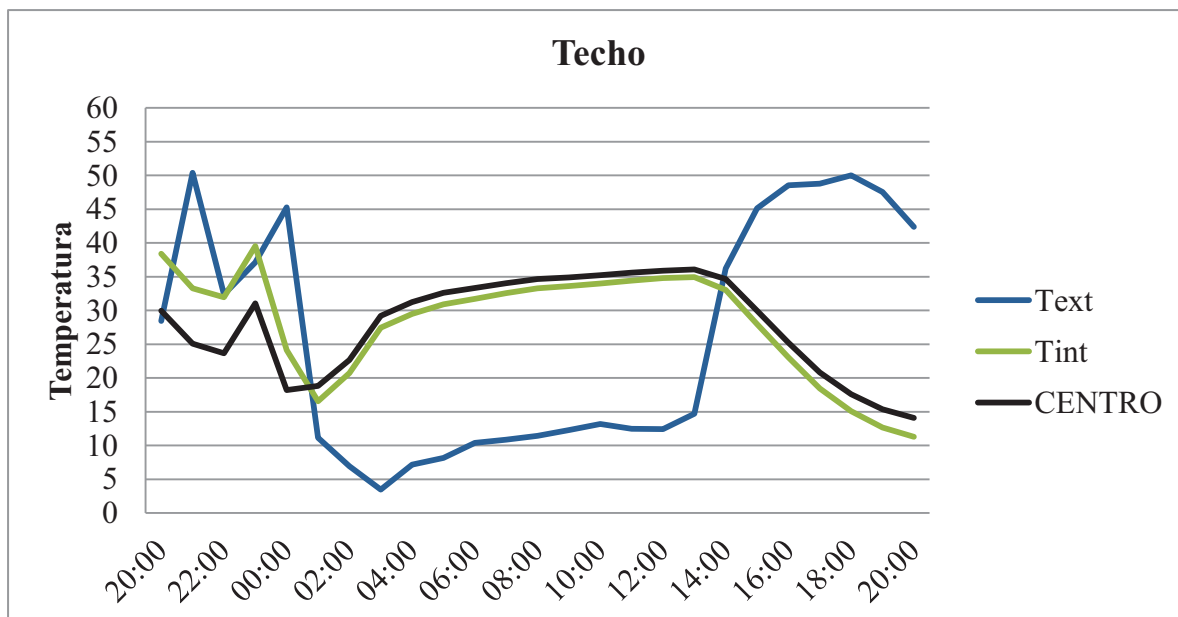


Figura 3.24 Temperaturas exteriores e interiores del techo comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

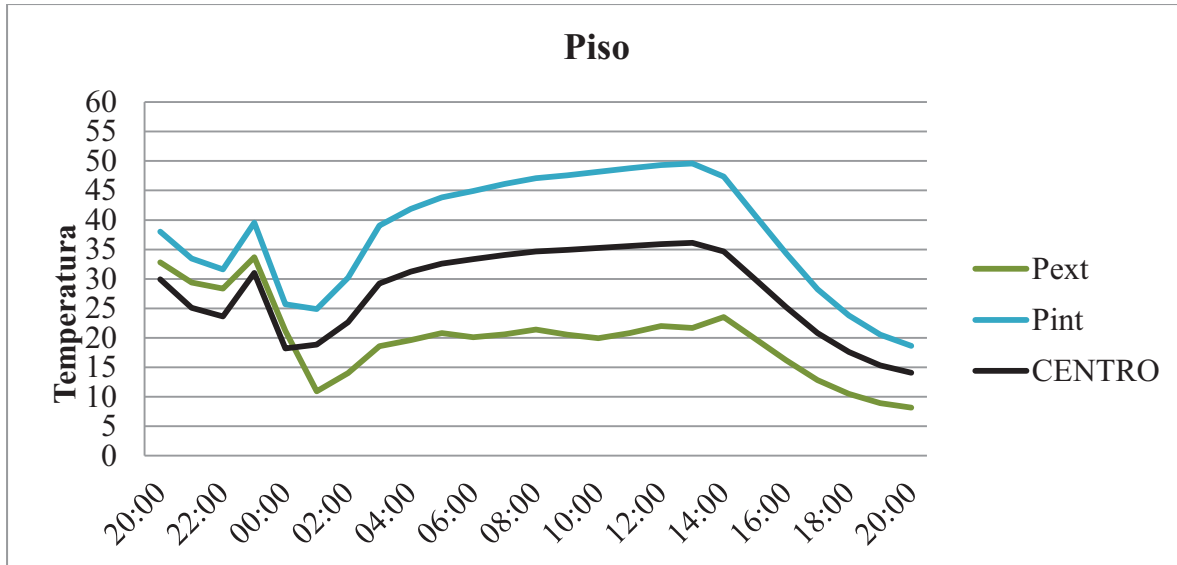


Figura 3.25 Temperaturas exteriores e interiores del piso comparadas con las del centro de la caseta CAGETEVE

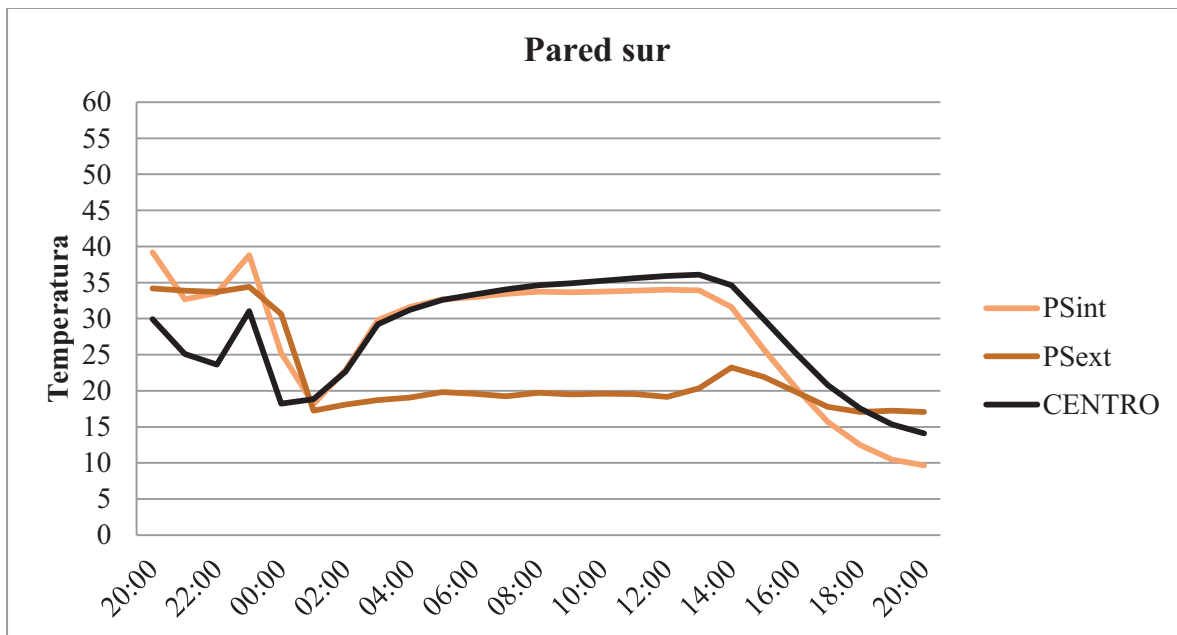


Figura 3.26 Temperaturas exteriores e interiores de la pared sur comparadas con las del centro de la caseta CAGETEVE

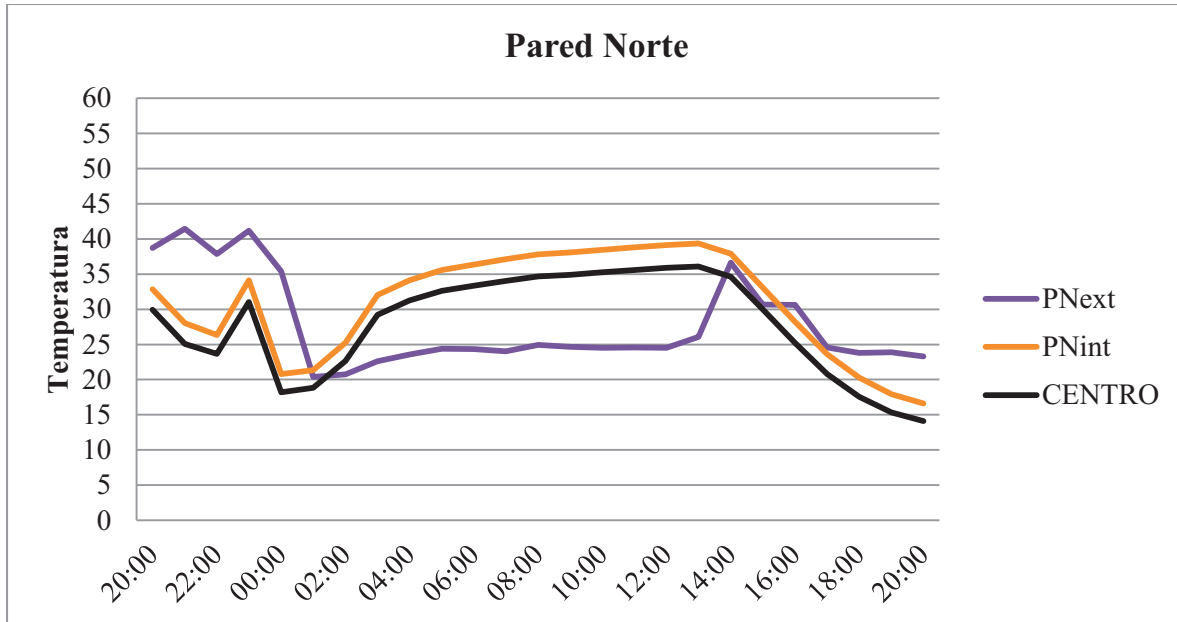


Figura 3.27 Temperaturas exteriores e interiores de la pared norte comparadas con las del centro de la caseta CAGETEVE

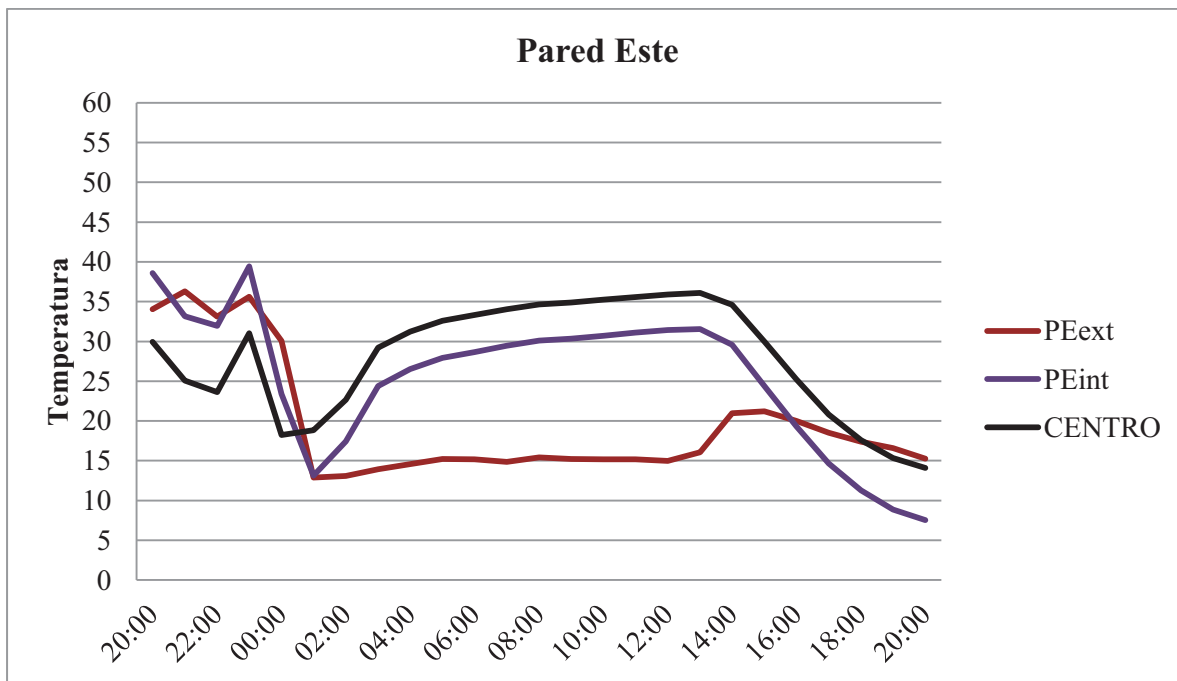


Figura 3.28 Temperaturas exteriores e interiores de la pared este comparadas con las del centro de la caseta CAGETEVE

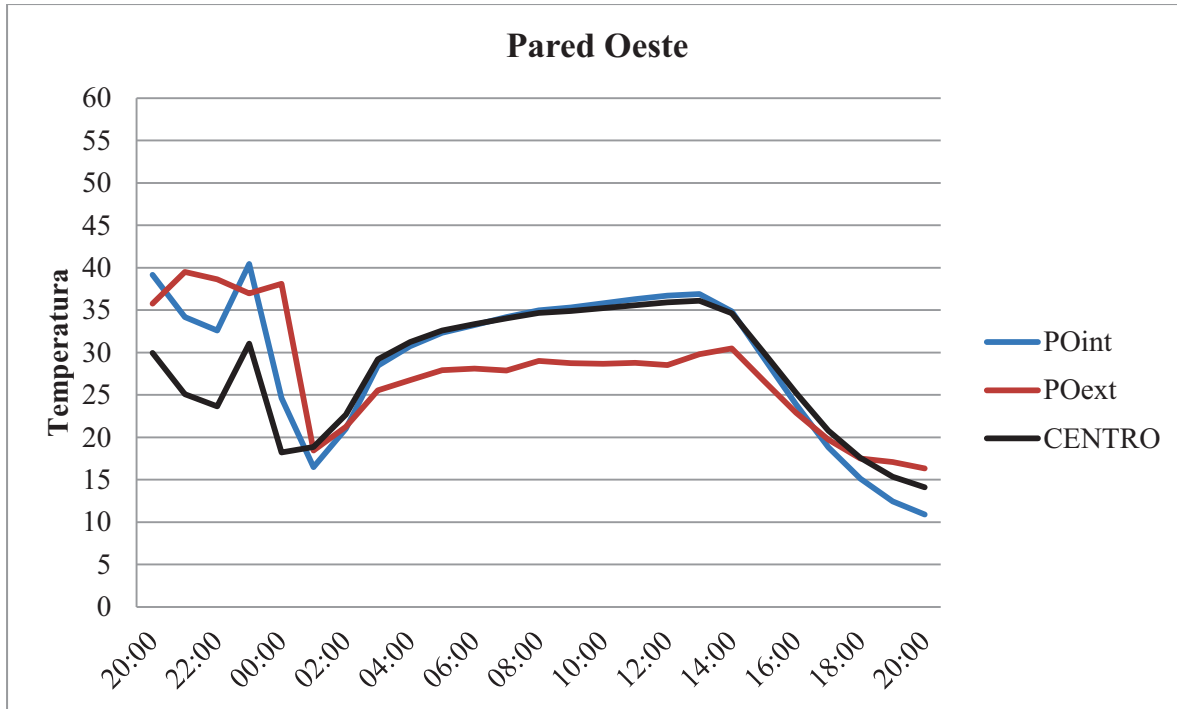


Figura 3.29 Temperaturas exteriores e interiores de la pared oeste comparadas con las del centro de la caseta CAGETEV

4 Resultados obtenidos

4.1 Cálculo del flujo de calor por conducción a través de las paredes de la CAGETEVE.

4.1.1 La transferencia de calor

El calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. La ciencia que trata la determinación de las velocidades de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor puede transferirse en tres modos diferentes:

- Conducción,
- Convección, y
- Radiación.

Todos los mecanismos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

4.1.2 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de iteraciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los líquidos y gases la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de:

- La configuración geométrica
- Tipo de material
- Espesor del material
- Diferencia de temperatura

Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor $Dx = L$ y área A , como se muestra en la figura 4.1 La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$.

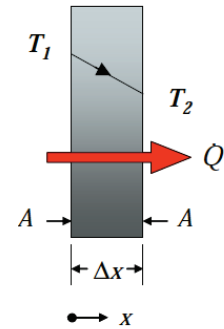


Figura 4.1 Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor ΔX y área A

La velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y el área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa.

$$\text{Velocidad de transferencia de calor} = \frac{(\text{Area})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

$$q = -KA \frac{\Delta t}{\Delta X} \quad (4.1)$$

- q es el flujo de calor, Watts (W)
- Δt es la diferencia de temperaturas, grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- ΔX diferencia de espesores, metros (m)
- K constante de conductividad térmica ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)
- A es el área de transferencia de calor es perpendicular a las líneas de flujo de calor, metros cuadrados (m^2)

La ecuación (4.1) es llamada ley de Fourier de la conducción de calor, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822.

Para nuestro análisis utilizamos los siguientes valores de K obtenidos de diversas fuentes.

Valores de la conductividad térmica K

Material	K (W/m°C)
Poliestireno extruido	0.0288
Acero	54
Mortero	0.58
Concreto	1.33
Tabique	0.725
Bovedilla	0.047
Polietileno	0.33
Fibracel	0.4

Tabla 4.1 Valores de la conductividad térmica K (valores promedios de NOM-08-ENERO-2001, Gonzáles 1998, Holman 1998, Espuma de Estireno S.A).

Nota: Para evitar dificultades al momento de interpretar nuestro cálculo de flujo de calor en las paredes de la caseta CAGETEV, se decidió que $\Delta T = T_{ext} - T_{int}$ por lo tanto, el signo indica el sentido del flujo de calor si es del exterior al interior de la caseta será positivo, en caso contrario el signo será negativo.

Al haber acordado esta convención de signos, la ecuación de Fourier quedo de la siguiente manera:

$$q = KA \frac{T_{ext} - T_{int}}{\Delta X} = KA \frac{\Delta t}{\Delta X} \quad (4.2)$$

4.1.3 Analogía eléctrica

Para mostrar los cálculos del estudio térmico realizado en la CAGETEV utilizaremos analogías eléctricas. La ecuación 4.2 queda representada de la siguiente manera

$$q = \frac{\Delta t}{\left[\frac{\Delta x}{kA}\right]} = \frac{\Delta t}{[R_T]} \quad (4.3)$$

- R_T es la resistencia térmica en ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Por analogía con la ley de Ohm, la intensidad es igual al voltaje entre la resistencia eléctrica:

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.4)$$

- q es la intensidad de calor (similar a I en los sistemas eléctricos)
- Δt es el potencial térmico (similar a V en la ley de ohm)
- El denominador sería R_T

Al hacer esta analogía podemos resolver un sistema térmico de varios materiales consecutivos de la misma manera en que se resolvería un sistema de resistencias en serie o paralelo.

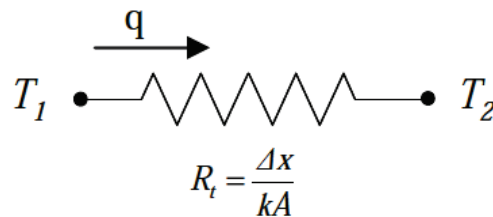


Figura 4.2 Representación grafica de un sistema térmico.

4.1.4 Cálculo del flujo de calor por conducción a través de las paredes de la Caseta CAGETEVE

- a) Techo
- b) Piso
- c) Pared sur
- d) Pared norte
- e) Pared este
- f) Pared oeste

a) Cálculo del flujo de calor a través del techo de la caseta CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través del piso

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A,B,C,D	Poliestireno expandido	0.0288	0.025
E	Concreto armado	1.33	0.10
F	Bovedilla	0.047	0.20
G	Mortero	0.58	0.01

Tabla 4.2 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman el techo

Esquema y representación de la resistencia térmica del techo.

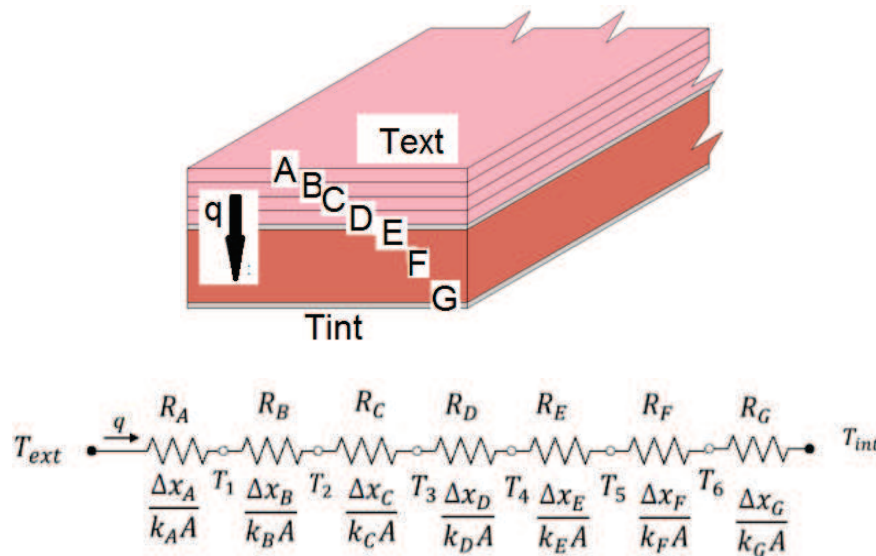


Figura 4.3 Diagrama de la resistencia térmica del techo

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 3m \times 3m = 9m^2$$

Calculo de la resistencia térmica

$$R_T = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F + R_G \quad (4.5)$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} + \frac{\Delta X_D}{K_{DA}} + \frac{\Delta X_E}{K_{EA}} + \frac{\Delta X_F}{K_{FA}} + \frac{\Delta X_G}{K_{GA}} \quad (4.6)$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{4(0.025 \text{ m})}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{0.1 \text{ m}}{\left(1.33 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{0.2 \text{ m}}{\left(0.47 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{0.01 \text{ m}}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} = \mathbf{0.443 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

Calculo de flujo de calor por conducción.

hora	Δt ($^{\circ}C$)	q (W)
20:00	-9.956	-22.474
21:00	17.128	38.663
22:00	0.460	1.039
23:00	-2.409	-5.439
00:00	21.176	47.801
01:00	-5.398	-12.185
02:00	-13.764	-31.071
03:00	-23.995	-54.164
04:00	-22.326	-50.397
05:00	-22.762	-51.382
06:00	-21.325	-48.137
07:00	-21.714	-49.015

08:00	-21.851	-49.326
09:00	-21.322	-48.130
10:00	-20.803	-46.959
11:00	-21.947	-49.541
12:00	-22.351	-50.453
13:00	-20.241	-45.692
14:00	3.180	7.177
15:00	17.146	38.705
16:00	25.537	57.646
17:00	30.366	68.547
18:00	34.962	78.921
19:00	34.905	78.791
20:00	31.088	70.176

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor.

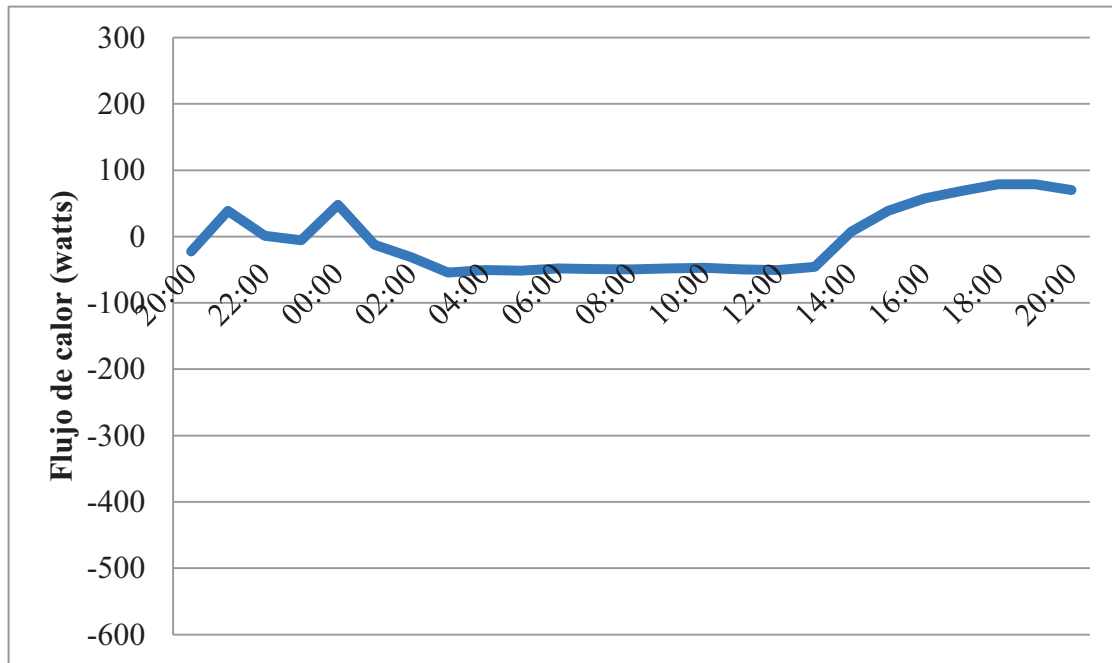


Figura 4.4 Grafica del flujo de calor en el techo
Tabla 4.3 Tabulación del flujo de calor del techo.

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través del techo.

- De 14:00 a las 00:00 el flujo de la caseta es hacia el exterior y de las 02:00 a las 12:00 el flujo se invierte hacia el interior.
- Alrededor de las 22:00, 23:00, 01:00 y 14:00 horas el flujo a través de las paredes se interrumpe debido a la diferencias de temperaturas

b) Cálculo del flujo de calor a través del piso de la caseta CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través del piso.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A	Poliestireno expandido	0.0288	0.025
B	Lamina de acero	54	1.5189×10^{-3}
C	Base compuesta de acero-cemento	3.226	0.1
D	Concreto	1.33	0.08

Tabla 4.4 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman el piso.

El cálculo de conductividad térmica de la base compuesta se encuentra en el anexo A.

Esquema y representación de la resistencia térmica a través del piso.

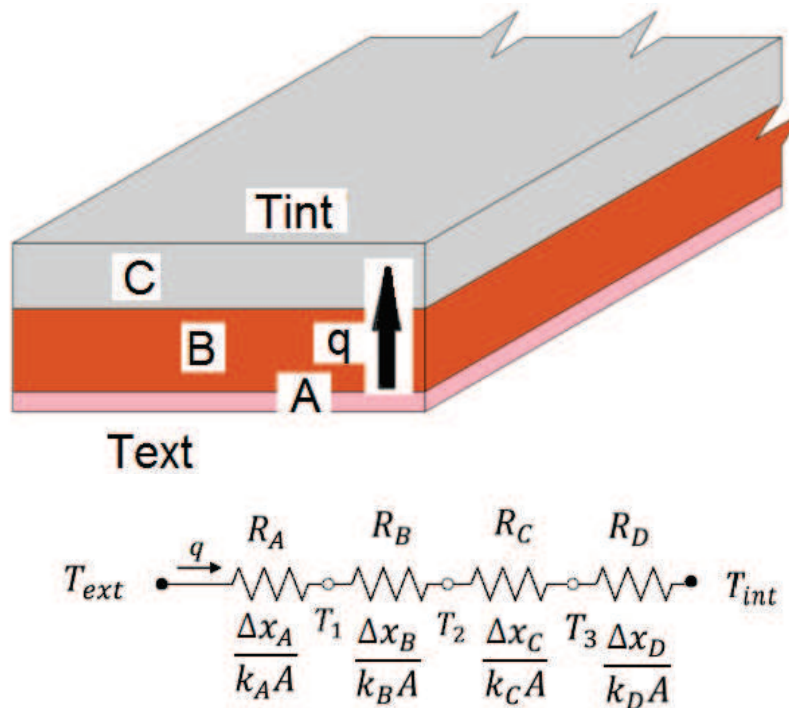


Figura 4.5 Diagrama de la resistencia térmica del piso

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 3m \times 3m = 9m^2$$

Cálculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C + R_D \tag{4.7}$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} + \frac{\Delta X_D}{K_{DA}} \tag{4.8}$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{0.025 m}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{1.5189 \times 10^{-3} m}{\left(54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{0.1m}{\left(3.226 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} + \frac{0.08m}{\left(1.33 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(9m^2)} = \mathbf{0.106 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

Calculo de flujo de calor por conducción.

hora	$\Delta t(^{\circ}C)$	$Q(W)$
20:00	-5.193	-48.995
21:00	-4.094	-38.623
22:00	-3.269	-30.844
23:00	-5.825	-54.951
00:00	-4.486	-42.319
01:00	-13.913	-131.258
02:00	-16.221	-153.032
03:00	-20.478	-193.192
04:00	-22.217	-209.592
05:00	-22.999	-216.971
06:00	-24.798	-233.939
07:00	-25.485	-240.423

08:00	-25.701	-242.461
09:00	-27.044	-255.134
10:00	-28.238	-266.398
11:00	-27.962	-263.790
12:00	-27.300	-257.546
13:00	-27.915	-263.347
14:00	-23.793	-224.466
15:00	-20.947	-197.613
16:00	-18.152	-171.241
17:00	-15.437	-145.628
18:00	-13.288	-125.361
19:00	-11.622	-109.644
20:00	-10.476	-98.833

Tabla 4.5 Tabulación del flujo de calor del piso.

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor.

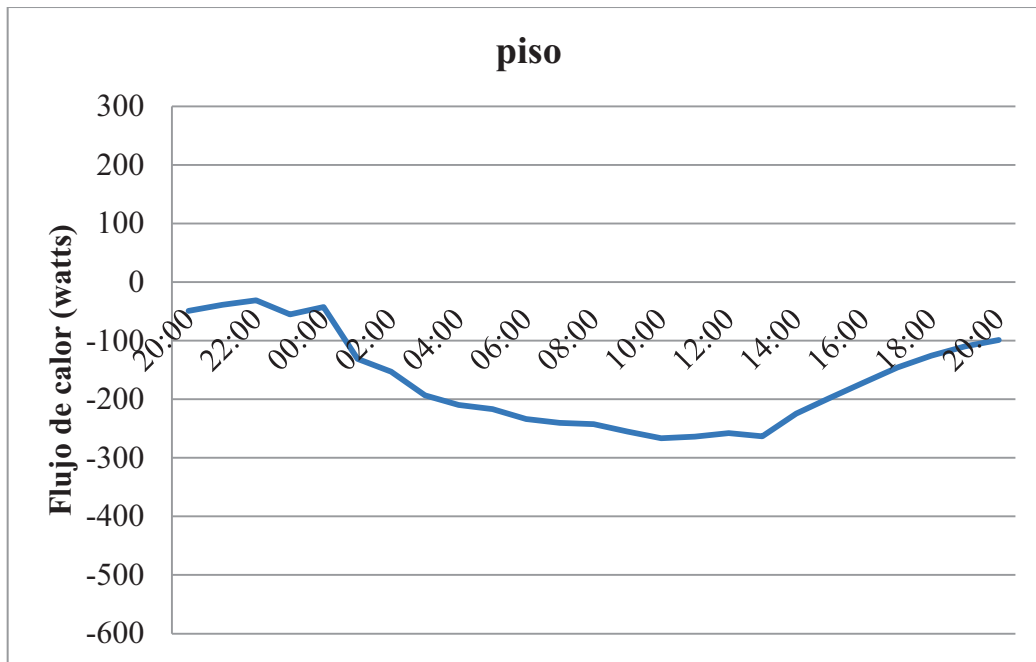


Figura 4.6 Grafica del flujo de calor en el piso

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través del piso.

- En esta sección de la casa el flujo de calor todo el día es hacia el exterior teniendo los picos más altos a las 11:00 y la 13:00

c) Cálculo del flujo de calor a través de la pared sur de la caseta CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través de la pared sur.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A	Mortero	0.58	0.01
B	Tabique	0.725	0.13
C	Mortero	0.58	0.01

Tabla 4.6 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared sur

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la pared sur.

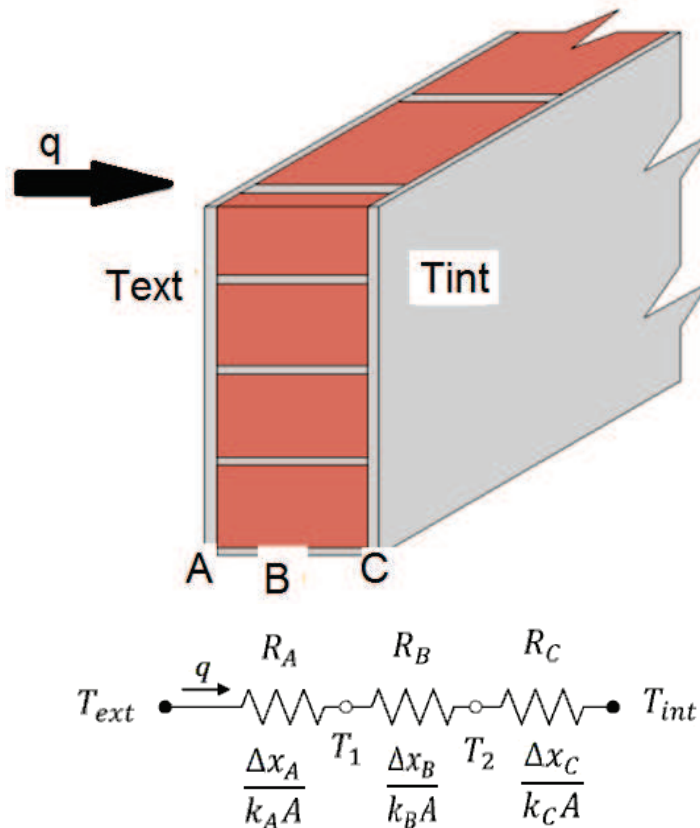


Figura 4.7 Diagrama de la resistencia térmica de la pared sur

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 2.5m \times 3m = 7.5m^2$$

Cálculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C \quad (4.9)$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} \quad (4.10)$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.13m}{\left(0.725 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} = 0.028 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Cálculo de flujo de calor por conducción.

hora	$\Delta t(^{\circ}C)$	$Q(W)$	08:00	-13.998	-499.941
20:00	-5.039	-48.995	09:00	-14.155	-505.522
21:00	1.176	41.984	10:00	-14.164	-505.847
22:00	0.156	5.585	11:00	-14.352	-512.565
23:00	-4.408	-157.415	12:00	-14.851	-530.393
00:00	5.408	193.147	13:00	-13.572	-484.715
01:00	-0.916	-32.730	14:00	-8.357	-298.473
02:00	-4.801	-171.448	15:00	-3.866	-138.065
03:00	-11.084	-395.847	16:00	-0.566	-20.202
04:00	-12.540	-447.854	17:00	2.094	74.790
05:00	-12.852	-459.014	18:00	4.569	163.173
06:00	-13.402	-478.646	19:00	6.761	241.463
07:00	-14.217	-507.740	20:00	7.404	264.446

Tabla 4.7 Tabulación del flujo de calor en la pared sur.

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor.

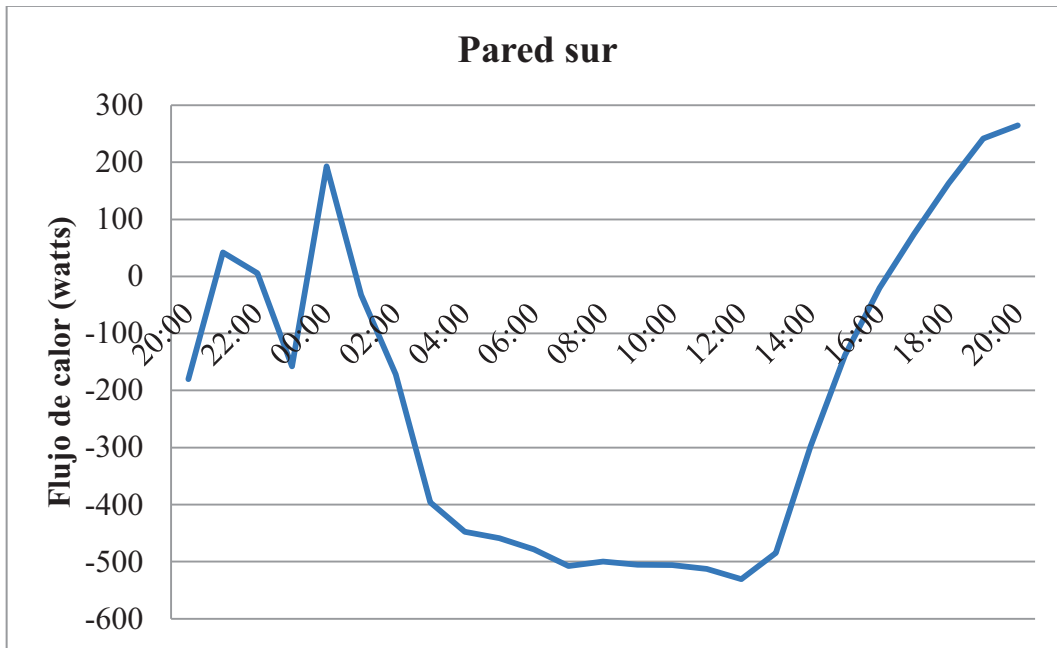


Figura 4.8 Grafica del flujo de calor en el piso

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través de la pared sur.

- En esta sección de la caseta se da el comportamiento con mayores picos.
- De las 02:00 a las 16:00 el flujo es hacia el exterior debido que la caseta se mantiene más caliente que sus alrededores.

d) Cálculo del flujo de calor a través de la pared norte de la caseta CAGETEV.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través del piso.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A	Poliestireno expandido	0.0288	0.025
B	Mortero	0.58	0.01
C	Tabique	0.0725	0.13
D	Mortero	0.58	0.01
E	Poliestireno expandido	0.0288	0.035
F	Lamina de acero	54	5×10^{-4}

Tabla 4.8 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared norte

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la pared norte.

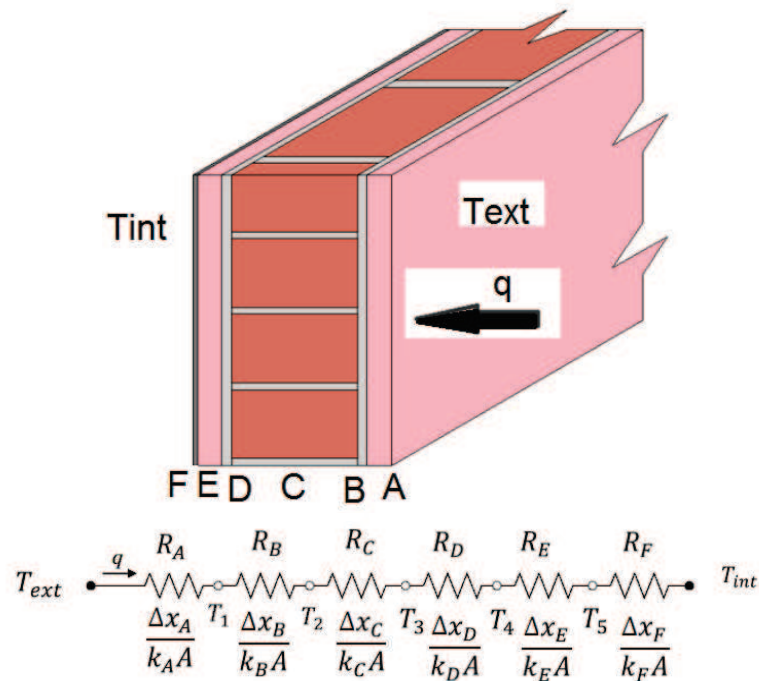


Figura 4.9 Diagrama de la resistencia térmica de la pared norte

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 3m \times 2.5m = 7.5m^2$$

Calculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F + R_G \quad (4.11)$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} + \frac{\Delta X_D}{K_{DA}} + \frac{\Delta X_E}{K_{EA}} + \frac{\Delta X_F}{K_{FA}} + \frac{\Delta X_G}{K_{GA}} \quad (4.12)$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{(0.025 \text{ m})}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.01 \text{ m}}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.13m}{\left(0.0725 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{(0.035 \text{ m})}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{(5 \times 10^{-4} \text{ m})}{\left(54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} = \mathbf{0.521 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

Calculo de flujo de calor por conducción.

hora	$\Delta t(^{\circ}C)$	$Q(W)$
20:00	0.703	-48.995
21:00	7.955	15.268
22:00	6.262	12.018
23:00	1.652	3.172
00:00	9.726	18.668
01:00	-4.459	-8.558
02:00	-9.476	-18.187
03:00	-16.449	-31.572
04:00	-18.301	-35.126
05:00	-19.426	-37.285
06:00	-20.561	-39.464
07:00	-22.050	-42.323

08:00	-22.177	-42.566
09:00	-22.945	-44.041
10:00	-23.665	-45.422
11:00	-24.201	-46.452
12:00	-24.782	-47.565
13:00	-23.539	-45.181
14:00	-10.733	-20.600
15:00	-10.168	-19.517
16:00	-3.741	-7.180
17:00	-3.697	-7.097
18:00	0.009	0.018
19:00	3.311	6.354
20:00	4.663	8.950

Tabla 4.9 Tabulación del flujo de calor de la pared norte.

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor.

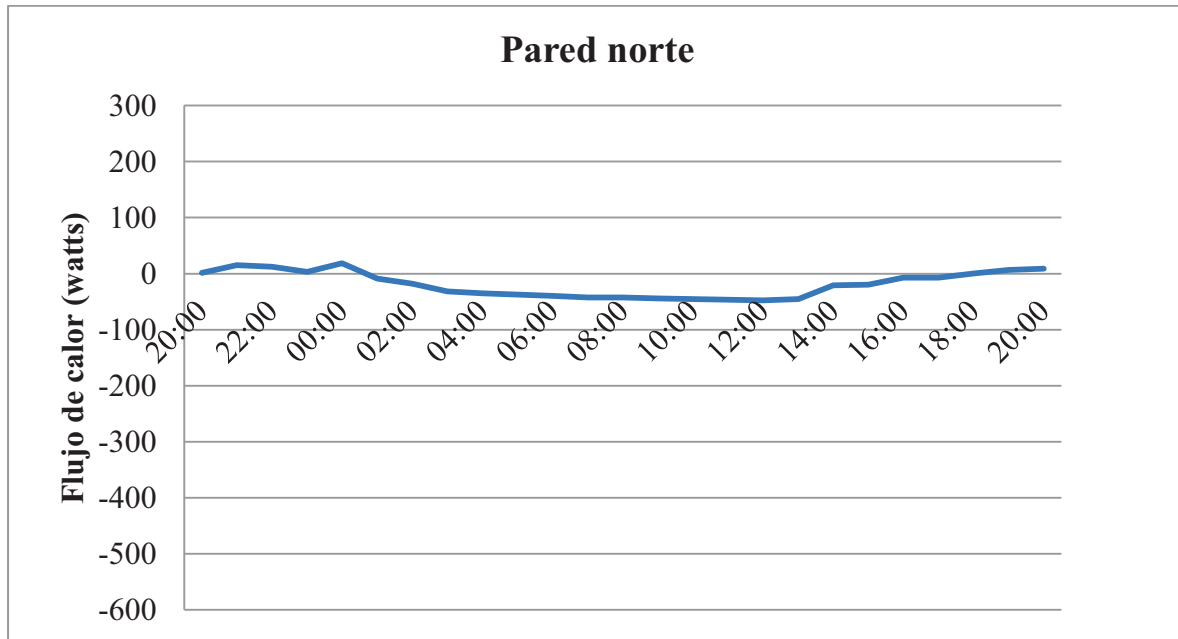


Figura 4.10 Grafica del flujo de calor en la pared norte

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través de la pared norte.

- Debido al aislante de Poliestireno extruido el flujo de calor es casi nulo.
- Se presenta el pico más alto hacia el exterior a las 12:00 horas.
- El mismo comportamiento se da en las paredes este y oeste.

e) Cálculo del flujo de calor a través de la pared este de la caseta CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través de la pared este.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A,B,C	Poliestireno expandido	0.0288	0.025
D	Mortero	0.58	0.01
E	Tabique	0.0725	0.13
F	Mortero	0.58	0.01
G	Poliestireno expandido	0.0288	0.035

Tabla 4.10 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared este

H	Puerta compuesta 2	$0.049 \frac{^{\circ}C}{W}$
I	Puerta compuesta 1	$0.791 \frac{^{\circ}C}{W}$

Tabla 4.11 Valores de las resistencias térmicas de las puertas.

El cálculo de las resistencias térmicas de las puertas compuestas 1 y 2 los podemos encontrar en el anexo B respectivamente.

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la pared este.

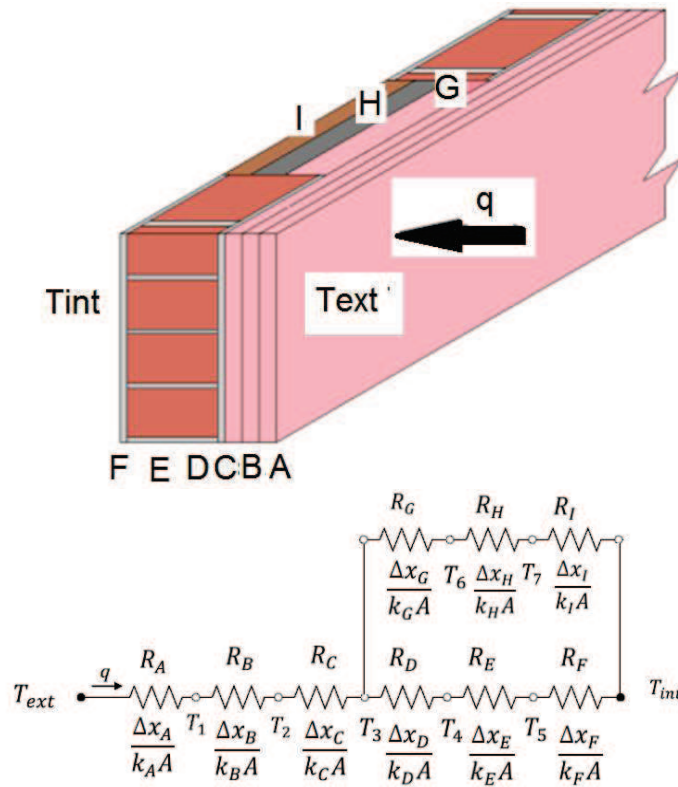


Figura 4.11 Diagrama de la resistencia térmica de la pared este

Solución

Área de transferencia de calor

$$A_T = 3m \times 2.5m = 7.5m^2$$

$$A_1 = 2.05m \times 0.98m = 2.009m^2$$

$$A_2 = A_T - A_1 = 7.5m^2 - 2.009m^2 = 5.491m^2$$

Cálculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C + \left[\frac{1}{R_D+R_E+R_F} + \frac{1}{R_G+R_H+R_I} \right]^{-1} \tag{4.13}$$

$$R_T = \frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A} + \left[\frac{1}{\frac{\Delta x_D}{k_D A} + \frac{\Delta x_E}{k_E A} + \frac{\Delta x_F}{k_F A}} + \frac{1}{\frac{\Delta x_G}{k_G A} + \frac{\Delta x_H}{k_H A} + \frac{\Delta x_I}{k_I A}} \right]^{-1} \tag{4.14}$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{3(0.025 \text{ m})}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \left[\frac{1}{\frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(5.491m^2)} + \frac{0.13 \text{ m}}{\left(0.725 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(5.491m^2)} + \frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(5.491m^2)}} + \frac{1}{\frac{(0.035 \text{ m})}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009m^2)} + 0.049 \frac{^{\circ}C}{W} + 0.791 \frac{^{\circ}C}{W}} \right]^{-1} = 0.385 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Calculo de flujo de calor por conducción.

Hora	Rt(°C)	Q(W)
20:00	0.385	-48.995
21:00	0.385	8.177
22:00	0.385	3.033
23:00	0.385	-10.025
00:00	0.385	17.389
01:00	0.385	-0.601
02:00	0.385	-11.248
03:00	0.385	-27.211
04:00	0.385	-30.965
05:00	0.385	-33.039
06:00	0.385	-35.097
07:00	0.385	-37.984

08:00	0.385	-38.159
09:00	0.385	-39.282
10:00	0.385	-40.321
11:00	0.385	-41.350
12:00	0.385	-42.698
13:00	0.385	-40.204
14:00	0.385	-22.410
15:00	0.385	-8.288
16:00	0.385	1.808
17:00	0.385	10.033
18:00	0.385	15.836
19:00	0.385	20.020
20:00	0.385	20.033

Tabla 4.12 Tabulación del flujo de calor de la pared este.

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor

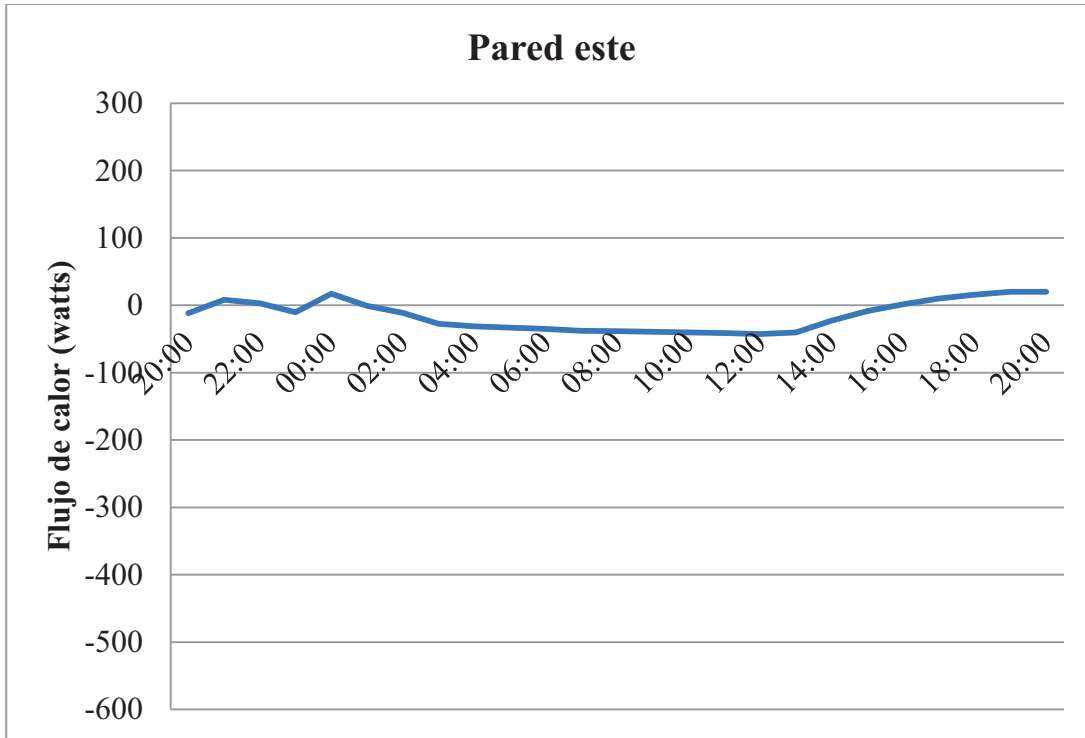


Figura 4.12 Grafica del flujo de calor en la pared este

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través de la pared este.

- Debido al aislante de poliestireno extruido el flujo de calor es casi nulo.
- Se presenta el pico más alto hacia el exterior a las 12:00 horas.
- El mismo comportamiento se da en las paredes norte y oeste.

f) Cálculo del flujo de calor a través de la pared oeste de la caseta CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través del piso.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A,B,C	Poliestireno expandido	0.0288	0.025
D	Mortero	0.58	0.01
E	Tabique	0.725	0.13
F	Mortero	0.58	0.01

Tabla 4.13 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la pared oeste.

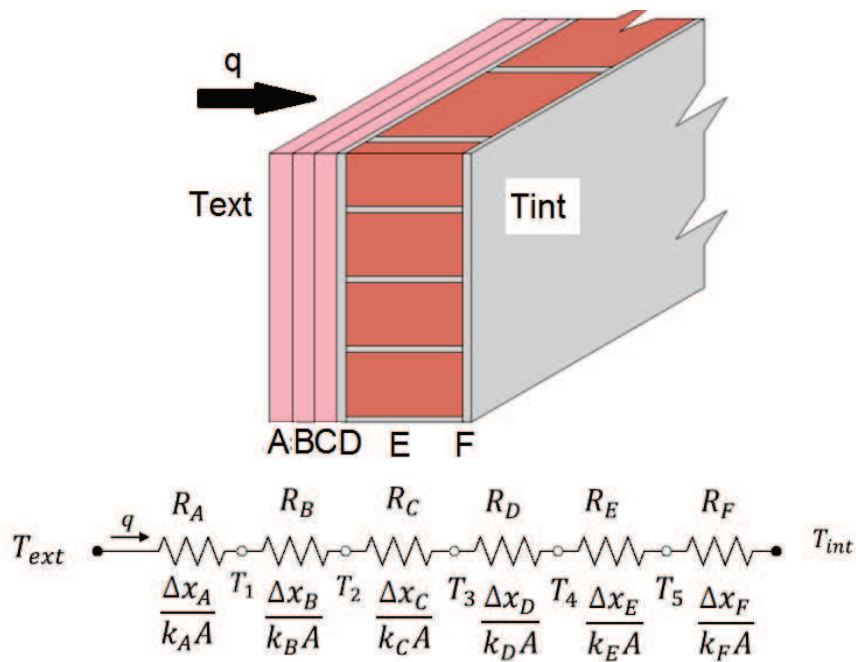


Figura 4.13 Diagrama de la resistencia térmica de la pared oeste

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 2.5m \times 3m = 7.5m^2$$

Cálculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F + R_G \quad (4.15)$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} + \frac{\Delta X_D}{K_{DA}} + \frac{\Delta X_E}{K_{EA}} + \frac{\Delta X_F}{K_{FA}} + \frac{\Delta X_G}{K_{GA}} \quad (4.16)$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{3(0.025)m}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} + \frac{0.13m}{\left(0.725 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} +$$

$$\frac{0.01m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(7.5m^2)} = \mathbf{0.375} \frac{\circ C}{W}$$

Cálculo de flujo de calor por conducción en la pared oeste.

hora	$\Delta t(^{\circ}C)$	Q(W)
20:00	-3.376	-48.995
21:00	5.287	14.100
22:00	6.065	16.174
23:00	-3.467	-9.246
00:00	13.496	35.990
01:00	1.977	5.271
02:00	0.231	0.615
03:00	-2.908	-7.755
04:00	-4.008	-10.688
05:00	-4.443	-11.848
06:00	-5.120	-13.654
07:00	-6.292	-16.778

08:00	-5.945	-15.853
09:00	-6.591	-17.576
10:00	-7.146	-19.055
11:00	-7.508	-20.021
12:00	-8.190	-21.840
13:00	-7.104	-18.944
14:00	-4.375	-11.667
15:00	-2.704	-7.211
16:00	-0.990	-2.640
17:00	0.906	2.416
18:00	2.380	6.347
19:00	4.645	12.386
20:00	5.436	14.496

Tabla 4.14 Tabulación del flujo de calor.

Para una mayor apreciación se graficaron los valores del flujo de calor

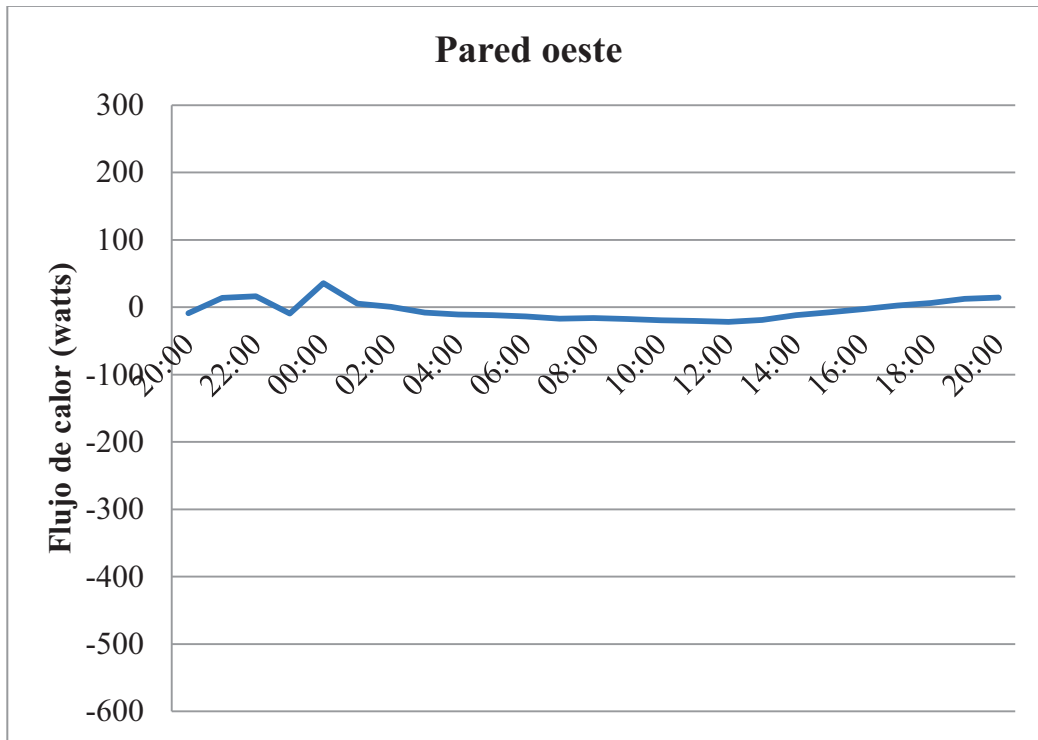


Figura 4.14 Gráfica del flujo de calor en la pared oeste

Observaciones del comportamiento del flujo de calor a través de la pared oeste.

- Esta es la pared con el menor flujo.
- Debido al aislante de Poliestireno extruido el flujo de calor es casi nulo.
- Se presenta el pico más alto hacia el exterior a las 12:00 horas.
- El mismo comportamiento se da en las paredes norte y este.

Para poder comparar los resultados obtenidos se graficaron los valores del flujo de calor.

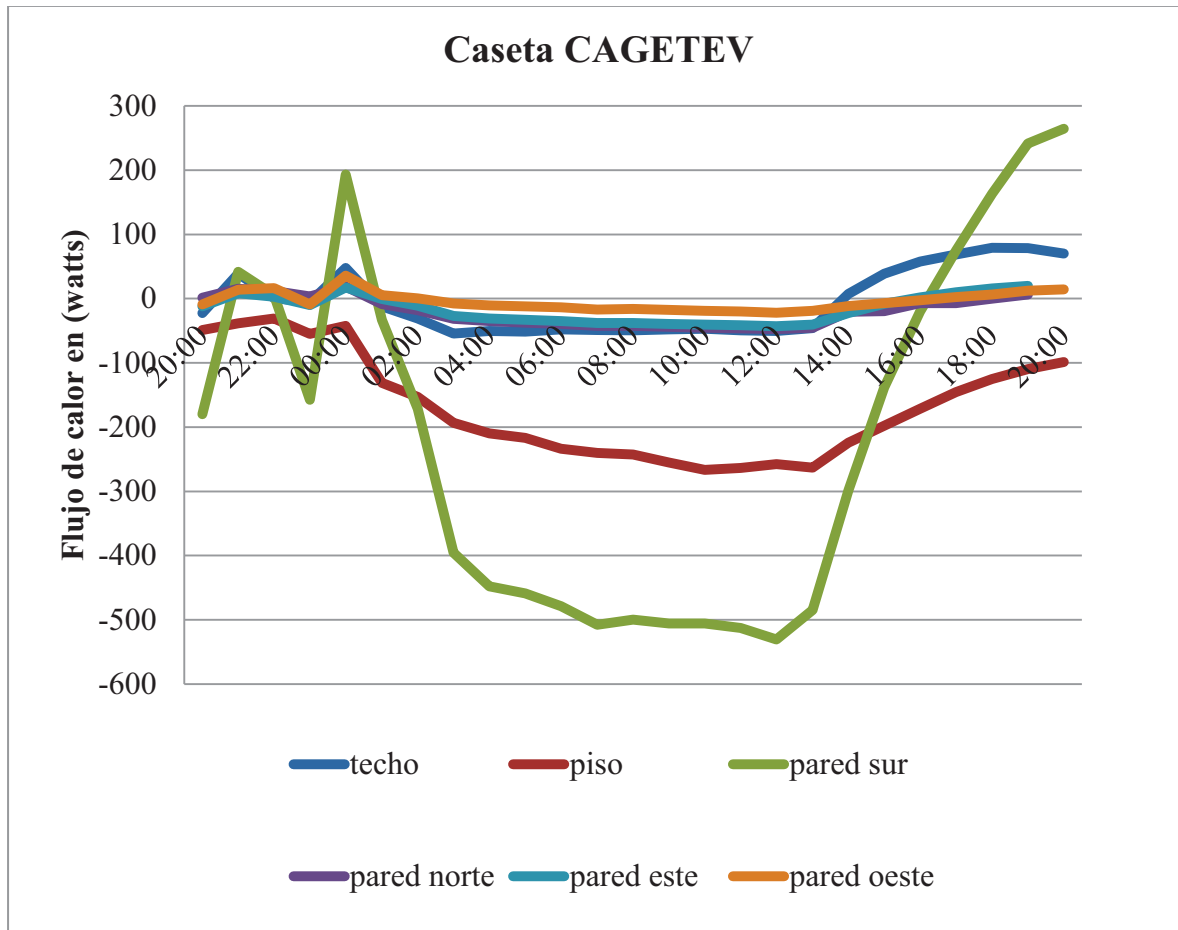


Figura 4.15 Comportamiento del flujo de calor en el techo, piso y las 4 paredes de la caseta CAGETEVE.

Observaciones generales del comportamiento del flujo de calor a través de las paredes de la caseta CAGETEVE.

- La pared sur es la que presenta un comportamiento más crítico es lo esperado para cubrir con los requerimientos del proyecto Morales 2008.
- El piso por su bajo nivel de aislamiento no evita satisfactoriamente el flujo de calor hacia el exterior.

5 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En el monitoreo de la caseta CAGETEVE se observa una respuesta lenta de la temperatura interior, como se espera de un local aislado. Sin embargo un punto a considerar es la acumulación de calor durante el día que es disminuida con el flujo de calor hacia el exterior a través del piso y en ciertas horas por la pared sur. Por la noche, se observa que la temperatura permanece por encima de la temperatura del ambiente debiéndose esto a la masa térmica de baja conductividad existente tanto en las paredes como en el techo.

Del comportamiento dinámico de las temperaturas se observa además una clara diferenciación entre ambientes en el techo, siendo este considerado la zona más crítica.

Recordando que una de las características del proyecto (Morales, 2005) es que las paredes este, oeste, norte junto con el piso y el techo se mantendrán aislados, se puede concluir que esta condiciones no se han alcanzado, pero es importante mencionar que en condiciones reales no se podrá alcanzar que el flujo de calor a través de estas paredes, techo y piso sea cero.

Recomendaciones

En las actividades futuras se recomienda aumentar el aislamiento en la caseta CAGETEVE y poner mayor atención al piso y al techo, ya que el estudio realizado demostró que son las zonas críticas.

6 Referencias y bibliografía

1. J.P. Holman, Transferencia de calor, Mc Graw Hill, 8va edición, 1998.
2. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Termodinámica, Mc Graw Hill, 6ta edición, 2009.
3. <http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>
4. <http://sine.ni.com/np/app/culdesac/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/docid/tut-8734>
5. <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq,n24:SCXI>
6. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7347>
7. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9332>
8. <http://www.ni.com/video/popup/?url=rtmp://cosine.ni.com/flvplayback/us/2008/thermocoluple.flv>
9. <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>
10. <http://www.tc-sa.es/gen/cables.htm>
11. <http://www.tc-sa.es/gen/connectors.htm>
12. <http://www.tc-sa.es/gen/cables.htm>

Anexo A

Cálculo de la conductividad térmica global de la losa-piso.

La losa del piso se construyó de concreto armado vaciado sobre una base de perfiles estructurales y placa de acero. Datos obtenidos de Sandoval (2004)



Figura A-1 Estructura para la losa-piso.

Cálculo del volumen total de la losa-piso compuesta de acero-concreto.

Cálculo del perfil L

Longitud total

$$L_t = 3m + 3m + 3m + 3m = 12m$$

Área del perfil

$$A = \left(4in \times \frac{1}{4}in\right) + \left(4in - \frac{1}{2}in\right) \times \frac{1}{4}in = 1.875 in^2$$

$$A = 1.875 in^2 = \frac{1m^2}{(39.37)^2 in^2} = 1.209 \times 10^{-3}m^2$$

Volumen del perfil

$$V = 12m \times 1.209 \times 10^{-3}m^2 = 0.0145 m^3$$

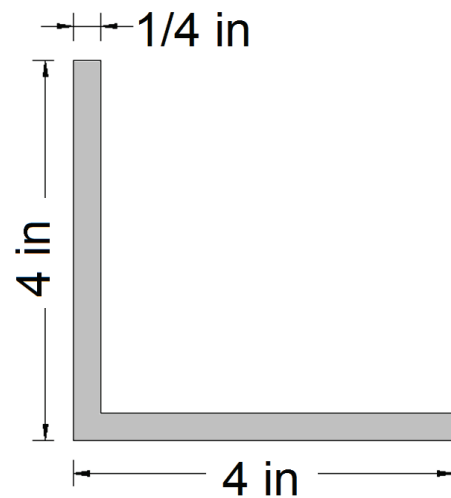


Figura A-2 Perfil L de la losa piso

Cálculo del volumen de la placa central.

$$V = 0.60m \times 0.60m \times 6.4 \times 10^{-3}m = 2.304m^3$$

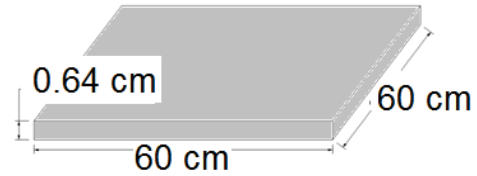


Figura A-3 Placa central

Cálculo del volumen del perfil W

Longitud total del perfil W

$$L = 3m + 3m + 3m + 3m = 12m$$

Área del perfil W

$$A = 2 \times (2in) \times \left(\frac{1}{4}in\right) + \left(4in - \frac{1}{2}in\right) \times \left(\frac{1}{4}in\right) = 1.875in^2$$

$$A = 1.875in^2 \left(\frac{1m^2}{(39.37)^2 in^2}\right) = 1.209 \times 10^{-3}m^2$$

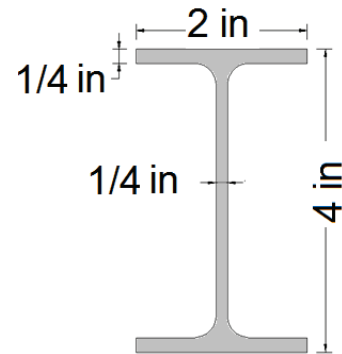


Figura A-4 Perfil W

Volumen

$$V = 12m \times 1.209 \times 10^{-3}m^2 = 0.0145 m^3$$

Cálculo de la malla electro soldada

Longitud

$$L_t = 20(3m) = 60m$$

$$Diametro = 6.35 \times 10^{-3}m$$

Área

$$A = \frac{\pi(6.35 \times 10^{-3}m)^2}{4} = 3.166 \times 10^{-5}m^2$$

Volume

$$V = 60m \times 3.166 \times 10^{-5}m^2 = 1.9 \times 10^{-3}m^3$$



Figura A-5 Malla electro soldada

Volumen total del acero V_{TA}

$$V_{TA} = 0.0145 \text{ m}^3 + 2.304 \text{ m}^3 + 0.0145 \text{ m}^3 + 1.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0.033 \text{ m}^3$$

Volumen total del piso-loza V_T

$$V_T = 0.1024 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 0.92 \text{ m}^3$$

Volumen del concreto V_{TC}

$$V_{TC} = V_T - V_{TA} = 0.92 \text{ m}^3 - 0.033 \text{ m}^3 = 0.888 \text{ m}^3$$

$$\% \text{ de acero} = \frac{0.033 \text{ m}^3 \times 100}{0.92 \text{ m}^3} = 3.6\%$$

$$\% \text{ de concreto} = \frac{0.888 \text{ m}^3 \times 100}{0.92 \text{ m}^3} = 96.4\%$$

$$K \text{ del piso loza} = \left(0.036 \times 54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) + \left(0.964 \times 1.33 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) = 3.22 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

Anexo B

Cálculo de la resistencia través de la puerta 1 de la CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través de la puerta 1.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A	Fibracel	0.4	0.0053
B	Poliestireno extruido	0.0288	0.045
C	Fibracel	0.4	0.0053
D	Mortero	0.58	0.0011
E	Acero	54	0.0003

Tabla B-1 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la pared 1

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la puerta 1.

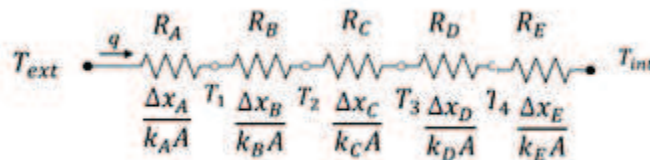
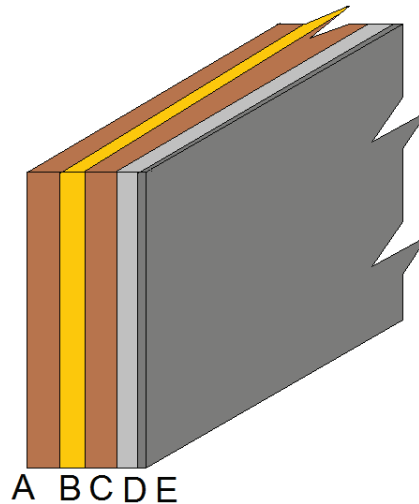


Figura B-1 Diagrama de la resistencia térmica de la puerta 1

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 2.05m \times 0.98m = 2.009 m^2$$

Cálculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C + R_D + R_E + R_F \quad (8.11)$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} + \frac{\Delta X_D}{K_{DA}} + \frac{\Delta X_E}{K_{EA}} + \frac{\Delta X_F}{K_{FA}} \quad (8.12)$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{(0.00053 m)}{\left(0.4 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009 m^2)} + \frac{0.045 m}{\left(0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009 m^2)} + \frac{(0.00053 m)}{\left(0.4 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009 m^2)} +$$
$$\frac{0.0011m}{\left(0.58 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009 m^2)} + \frac{(0.0003 m)}{\left(54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009 m^2)} = \mathbf{0.791 \frac{^{\circ}C}{W}}$$

Cálculo de la resistencia través de la puerta 2 de la CAGETEVE.

Condiciones para determinar la resistencia térmica a través de la puerta 2.

	Material	K ($W/m^{\circ}C$)	Δx (m)
A	Lamina	54	0.0005
B	Polietileno	0.33	0.033
C	Lamina	54	0.0005

Tabla B-2 Conductividad térmica y espesores de los materiales que conforman la puerta 2

Esquema y representación de la resistencia térmica a través de la puerta 2.

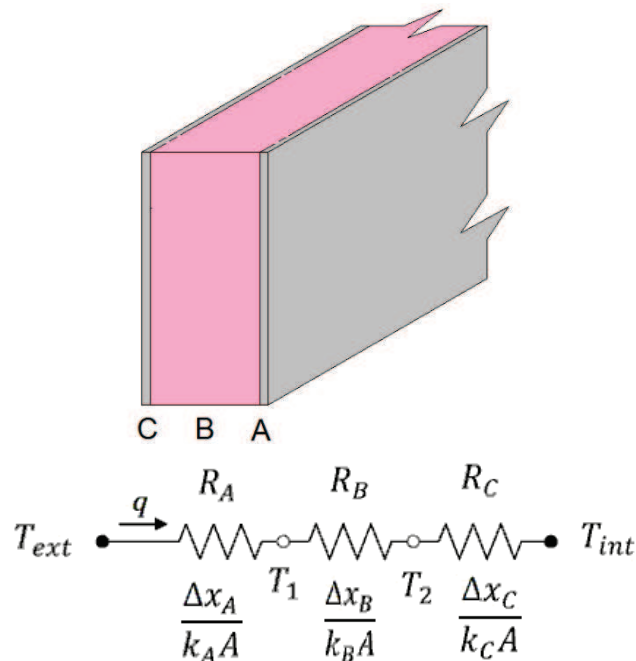


Figura B-2 Diagrama de la resistencia térmica de la puerta 2

Solución

Área de transferencia de calor

$$A = 2.05m \times 0.98m = 2.009 m^2$$

Calculo de la resistencia térmica.

$$R_T = R_A + R_B + R_C$$

$$R_T = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}}$$

Sustituyendo los valores

$$R_T = \frac{0.0005m}{\left(54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009m^2)} + \frac{0.033m}{\left(0.33 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009m^2)} + \frac{0.0005m}{\left(54 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)(2.009m^2)} = \mathbf{0.049 \frac{^{\circ}C}{W}}$$