

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de Metal – Mecánica

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**“Estudios de transferencia de calor en la
caseta CAGETEV”**

Lugar de Realización:
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Departamento de Ingeniería Mecánica

Semestre: agosto-diciembre 2014

Presenta:

Hermenegildo Sántiz Gómez

Asesor externo:

Dra. Sara Lilia Moya Acosta
Profesora-investigadora del depto. de ingeniería
mecánica, área térmica, cenidet

Asesor interno:

Dr. Carlos Ríos Rojas
Profesor del depto. metal-mecánica
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Índice

	Página
Lista de figuras	III
Lista de tablas	V
Nomenclatura	VI
Resumen	VII
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Generalidades	1
1.1.1 sistemas pasivos	2
1.2 Estado del arte	4
1.3 Justificación	7
1.4 Objetivos	8
1.4.1 General	8
1.4.2 Específicos	8
Capítulo 2. Marco teórico	
2.1 Conservación de energía	9
2.1.1 Ecuación de Fourier	9
2.2 Aislantes	11
2.2.1 Poliestireno Expandido – EPS	12
2.2.2 Poliestireno extruido (XPS)	12
2.2.3 Lanás Minerales Aislantes	13
2.3 Sistemas de aislamiento	13
2.3.1 Aislamiento interior	13
2.3.2 ETICS	14
2.3.3 Aislamiento transparente	16

Capítulo 3. Descripción de la caseta y sistema adquirente de datos	
3.1 Descripción de la caseta CAGETEV	18
3.2 Hardware y software de la adquisición de datos	21
3.2.1 Hardware	21
3.2.2 Software	23
3.3 Termopares	25
Capítulo 4. Estudios realizados	
4.1 Calibración de termopares	27
4.2 Localización de termopares	30
4.3 Estudio térmico 1	31
4.3.1 Condiciones meteorológicas	33
4.3.2 Cálculo del flujo de calor	35
4.4 Estudio térmico 2	37
4.5 Estudio térmico 3	40
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias bibliográficas	44
Anexo	46

Lista de figuras

Figura	Descripción	página
1.1	Esquema del problema diferencial-Juárez (2012)	4
2.1	Resistencia térmica con analogía eléctrica	11
2.2	Poliestireno expandido con sus propiedades	12
2.3	Poliestireno extruido con sus propiedades	12
2.4	Lana mineral-aislantes	13
2.5	Esquema del sistema de aislamiento por el interior	14
2.6	Esquema del sistema de aislamiento ETICS	14
2.7	Esquema del sistema de aislamiento transparente	17
3.1	Caseta CAGETEV: a) fotografía de la caseta, b) Esquema de caseta	18
3.2	Intercambiador de calor. a) Fotografía, b) esquema	19
3.3	Fotografía de la caseta CAGETEV con aislamiento exterior	20
3.4	NI SCXI –1001. Chasis con 12 ranuras	21
3.5	NI SCXI – 1600. Módulo de control y adquisición de datos	22
3.6	NI-SCXI 1102. Módulo de amplificación de señal para 32 canales	22
3.7	NI-SCXI 1303. Bloque isotérmico terminal para 32 canales	23
3.8	LabVIEW 2011	23
3.9	Entorno del instrumento virtual utilizado para la adquisición de datos	24
3.10	Entorno del instrumento virtual utilizado para la adquisición de datos	25
3.11	Termopar tipo K	26

4.1	Termopares en concentración de agua-hielo	27
4.2	Termopares en agua caliente	28
4.3	Asistente de configuración de termopares	28
4.4	Calibración del termopar	29
4.5	Gráfica con los valores usados en la calibración	29
4.6	Termopares calibrados	30
4.7	Ubicación de termopares en las paredes de la caseta	30
4.8	Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Este	31
4.9	Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Oeste	31
4.10	Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Norte	32
4.11	Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Sur	32
4.12	Gráfica de temperaturas internas y externas del piso	32
4.13	Gráfica de temperaturas internas y externas del techo	33
4.14	Gráfica de temperatura en una estación meteorológica cercana al CENIDET	34
4.15	Gráfica de radiación solar en una estación meteorológica cercana al CENIDET	34
4.16	Gráfica de flujo de calor de las paredes, piso y techo	35
4.17	Gráfica de flujo de calor de las paredes, piso y techo, sin considerar pared sur	36
4.18	Arreglo de termopares en el intercambiador de calor	37
4.19	Gráfica de temperaturas en el intercambiador superior con recirculación de agua	38
4.20	Gráfica de temperaturas en el intercambiador inferior con recirculación de agua	38

4.21	Gráfica de temperaturas en el intercambiador completo, con recirculación de agua	39
4.22	Gráfica de temperaturas en la cisterna, alimentación y descarga	39
4.23	Gráfica de temperaturas en el intercambiador superior sin recirculación de agua	40
4.24	Gráfica de temperaturas en el intercambiador inferior sin recirculación de agua	41
4.25	Gráfica de temperaturas en el intercambiador completo, sin recirculación de agua	41
A1	Esquema de la pared Este	46
A2	Esquema de la pared Oeste	48
A3	Esquema de la pared Norte	49
A4	Esquema de la pared Sur	50
A5	Esquema del piso	51
A6	Esquema del techo	52

Lista de tablas

Tabla	Descripción	página
4.1	Resistencia térmica totales y áreas de cada pared	35
A1	Propiedades de los materiales en la pared Este	46
A2	Resistencias térmicas de las puertas	46
A3	Propiedades de los materiales en la pared Oeste	47
A4	Propiedades de los materiales en la pared norte	48
A5	Propiedades de los materiales en la pared sur	50
A6	Propiedades de los materiales del piso	51
A7	Propiedades de los materiales del techo.	52

Nomenclatura

símbolo	Descripción
q	Flujo de calor, W
k	Conductividad térmica, W/°C m
T_1	Temperatura interior, °C
T_2	Temperatura exterior, °C
R	Resistencia térmica, °C/W
A	Área, m ²
ρ	Densidad, kg/m ³
μ	Viscosidad dinámica, kg/m s
Δx	Espesor de pared o capa, m

Resumen

En este trabajo se realizó un estudio de flujo de calor en las paredes, piso y techo de la caseta CAGETEV (caseta giratoria para estudios térmicos en viviendas), utilizando termopares tipo K y un sistema adquirente de datos acorde a este trabajo. Para ello, se midieron las temperaturas interiores y exteriores de 1 día completo para observar y analizar su comportamiento en las superficies de cada pared, piso y techo con el fin de analizar el flujo de calor.

Antes de que se pudiera tomar las medidas se tuvieron que calibrar los termopares para poder tener valores de temperatura adecuados y poder tener un buen análisis de temperaturas y flujo de calor. Se graficaron los valores de temperatura medidos desde las cero horas del día 27 de septiembre hasta las cero horas del día 28 de septiembre del 2014, observando en este periodo de tiempo que las temperaturas superiores se encontraron en el techo, pared este y pared sur debido a la incidencia de la radiación solar.

Teniendo las temperaturas interiores y exteriores se calculó el flujo de calor utilizando la ley de Fourier para la conducción de calor unidimensional en conjunto con las analogías eléctricas, ya que algunas paredes tienen diferentes capas de aislantes. Se observó que el mayor flujo de calor se presentó en la pared sur, ya que no tiene ninguna capa de aislante. El techo es el que mostró un comportamiento también considerable de flujo de calor a pesar de que tiene una fuerte capa de aislante. Por el contrario en el piso se pudo observar que se mantuvo más estable y la dirección del flujo del calor en el tiempo medido se mantuvo de adentro hacia afuera.

1. Introducción

1.1 Generalidades

En México, muchos arquitectos e ingenieros diseñan y construyen, pero pocos lo hacen con criterios ecológicos. Otra tendencia general es el aumento en la complejidad de los productos y su proceso de producción, la complejidad hace al usuario cada vez más dependiente de la cadena de producción y distribución.

Se puede aprovechar en el diseño de la casa, con los conocimientos de calorimetría, la tierra presenta regiones geográficas bien definidas de distribución del calor. La inclinación de los rayos solares sobre la forma redonda de la tierra, donde las zonas irradiadas verticalmente se calientan más que las zonas que reciben rayos en dirección oblicua, provocando que la insolación de la superficie terrestre no sea uniforme.

A través del diseño adecuado de los espacios es posible evitar o disminuir el uso de la climatización artificial, así como aprovechar ampliamente la iluminación natural durante el día. Existen equipos de tecnología solar que pueden utilizarse en las construcciones, como equipos fotovoltaicos y aerogeneradores, lámparas y concentradores.

El aislamiento completo de una vivienda, sus muros cubiertas y pisos, es una forma de tecnología alternativa potencialmente eficaz, aunque no sea muy espectacular.

Se puede ver que si hay ventanas orientadas al sur que se puedan convertir en colectores de energía solar. Todas las ventanas que no estén orientadas al sur producirán pérdidas de calor aun cuando el sol incida sobre ellos durante varias horas del día. Al calentar una vivienda, el calor que se aporta pasa de forma continua desde el interior caliente al exterior frío y el calor que se continua aportando sirve para reemplazar estas pérdidas. Las pérdidas en una típica vivienda son las siguientes:

- A través de muros: 35%,
- A través de cubierta: 25%,
- A través de la planta baja 15%,
- Corrientes de aires 15%,
- A través de ventanas 10%.

Aunque estos flujos de calor no se pueden impedir, se puede amortiguar su velocidad. El sistema para amortiguar las pérdidas de calor es utilizar aislantes en los elementos constructivos del edificio.

Rodríguez (2012) [*La Casa Ecológica: como construirla*] diseñó el software Heliodon donde realiza la simulación de manera gráfica, con un cubo, el impacto de la radiación en las diferentes orientaciones, pues todas sus caras tienen la misma área, se observa que la superficie que capta mayor cantidad de energía es el techo, con un valor de 2.2 MWh. En segundo lugar se encuentra la cara orientada hacia el sur, con un valor de 891 kWh. Las caras orientadas al Este y Oeste reciben la misma cantidad de energía, 853.3 kWh.

1.1.1 Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos aprovechan la energía solar que penetra por ventanas y muros convenientemente orientados durante los meses fríos y favorecen las corrientes de aire por efecto térmico en los meses cálidos (Reyes, 2009).

Nos pueden ayudar con el ahorro de la energía que una vivienda puede consumir, y con ello también podemos disminuir las emisiones de gases invernadero ya que no se usan los sistemas convencionales de climatización.

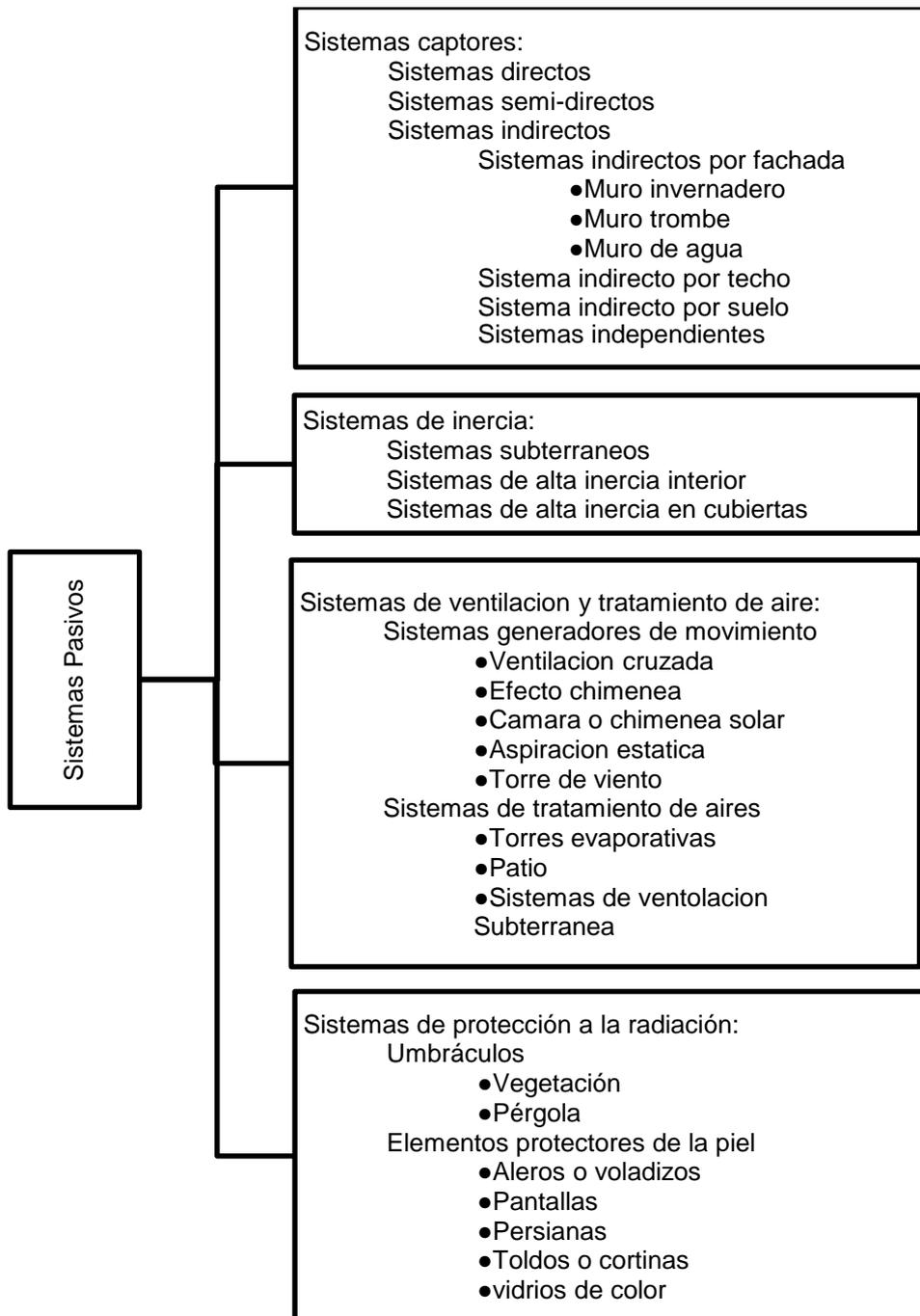
La inercia térmica es un concepto clave en climas con oscilaciones térmicas diarias importantes, ya que la capacidad de acumulación térmica que conforma un elemento arquitectónico es básica para conseguir el adecuado nivel de confort y ahorro energético en instalaciones de climatización.

La capacidad de almacenar energía de un material depende de su masa, su densidad y su calor específico. Edificios de gran inercia térmica tienen

variaciones térmicas más estables, el calor acumulado durante el día se libera en el período nocturno, a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica.

Los materiales ideales para constituir una buena masa térmica, y por tanto inercia térmica, son aquellos que tienen: alto calor específico, alta densidad y baja conductividad térmica (aunque no sea excesivamente baja)

Sistemas de climatización pasiva (Reyes, 2009)



Cuando un fluido es localmente calentado o enfriado su densidad cambia con relación a la del fluido circundante y una fuerza de flotación se crea que hace que el fluido más caliente y más ligero se eleve; partes más frías del líquido que rodea descienden y se crea un patrón de circulación natural.

Para el tipo de problema de convección natural en una cavidad con dos paredes opuestas de conductividad infinita a temperatura uniforme (una caliente y otra fría) y las demás adiabáticas se le conoce como el problema de temperatura diferencial. El problema de temperatura diferencial con efecto de pared consiste en considerar conductividad finita en una o en ambas paredes activas además de temperatura uniforme en las superficies exteriores de las mismas (Juárez, 2008).

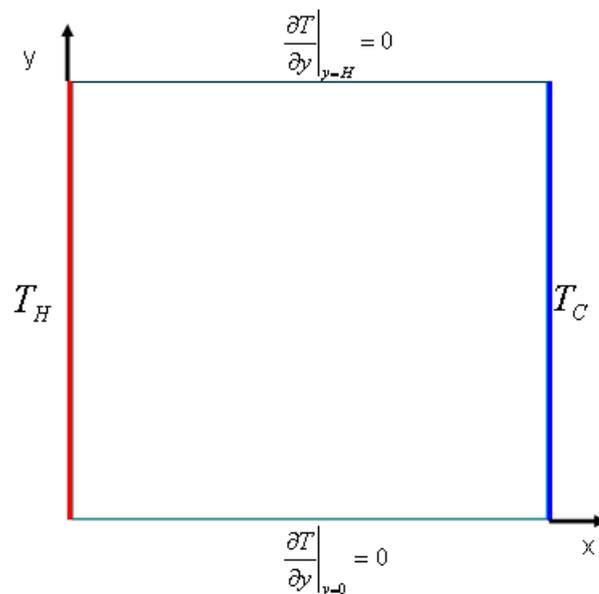


Figura 1.1. Esquema del problema diferencial. Juárez (2012)

1.2 Estado del arte

Pineda (2005). En este trabajo se presenta un estudio de una casa típica, mediante un modelado físico a escala 1:2 se considera con ventana en una sola cara. Los tres elementos que integran el sistema térmico interactúan entre sí, el ambiente, la ventana y la construcción. Se hicieron mediciones de las temperaturas de cada una de las partes mencionadas y del ambiente durante diferentes estaciones del año. Se estudió la importancia de la orientación de la

fachada que contienen la ventana para limitar las ganancias térmicas excesivas, los tres escenarios de estudio fueron: con la ventana cubierta en su totalidad (serie 1), con la ventana sombreada en un 50% (serie 2) y con la ventana sombreada en su totalidad (serie 3). Se llegan a las siguientes conclusiones: (a) una ventana descubierta puede aportar 30% de las ganancias excesivas de calor, si la orientación es especialmente desfavorable (b) la orientación más favorable es al norte, reduce las ganancias excesivas de 176 (al oriente o poniente) a 144 (al norte) y (c) cuando la orientación es mala, la efectividad de la cortina es muy elevada, pues por si sola puede reducir en un 15% o más las ganancias excesivas. Otra aplicación resulta de explorar la importancia de la capacidad térmica de las paredes, piso y techo. El calor almacenado en la mampostería puede ser tan importante que compense la ganancia térmica excesiva, a medida que crece la capacidad térmica de almacenaje de calor, la importancia relativa de los flujos de calor cambia.

Juárez (2008) realizó un estudio numérico de la convección natural turbulenta de una cavidad con dimensiones correspondientes a caseta CAGETEV. El estudio se realizó con el paquete de software FLUENT en 2D, considerando 2 paredes activas una a 40°C (Pared sur) y la otra de 20 °C (Pared norte) las demás paredes, piso y techo se consideran adiabáticos. Se tomaron 4 casos de estudio de diferentes paredes en la pared de 40°C (Pared sur): 1) Cavidad sin pared, 2) Pared de ladrillo sólido, 3) Pared de ladrillo con hueco completo, y 4) Pared de ladrillo con huecos parciales. La evolución transitoria de los campos de temperatura se puede observar que el caso de la pared hueca es el que alcanza primero el estado permanente con relación a las otras dos paredes, pero en un tiempo mucho mayor que para el caso hipotético sin efecto de pared. Esto demuestra que la evolución de la temperatura está influenciada por el efecto de las configuraciones de las paredes ya que tiene.

Rateike (2010) describió estudios térmicos de caseta CAGETEV, para la medición de temperaturas se utilizaron cables termopar tipo K, colocadas a puntos específicos de análisis, y se registraron las temperaturas con la instrumentación de este proyecto. Las temperaturas registradas fueron del día 07 al 08 de mayo del 2010 iniciando a las 20:00. Se observó que el

comportamiento de las temperaturas sigue la misma tendencia con excepción del techo en la parte exterior ya que presenta las más altas temperaturas durante el día y las más bajas temperaturas en la noche. Las otras superficies exteriores presentan picos máximos a alrededor del mediodía. A diferencia con las temperaturas interiores, las temperaturas se mantienen uniformes se mantienen más altas que en el exteriores mientras transcurre la noche. Analizando los flujos de calor, la pared sur es la más crítica ya que es la pared de análisis y sin aislamiento, en el piso es otra región donde los flujos de calor son considerables ya que en esa zona el aislamiento es muy bajo.

Morales (2012). Presentó y discutió el comportamiento transitorio de la temperatura en la caseta experimental CAGETEV, en especial en la región de la capa límite en la pared expuesta al sol (pared sur). Se instalaron termopares tipo K en el centro de las superficies interiores y exteriores de las paredes de la caseta. Se colocaron 12 termopares, 2 en cada pared, a una altura de 1.15 m. se denominaron conforme a la orientación de cada pared hacia los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste. Se midieron y se registraron 10 datos de temperatura cada 15 minutos, utilizando programas de adquisición de datos específicamente desarrollados para este proyecto. Se presentan los comportamientos transitorios de la temperatura en las superficies interiores incluyendo también la temperatura en el centro de la caseta, el comportamiento de las temperaturas en todas las superficies exteriores tiene la misma tendencia, con excepción del techo que presenta las temperaturas más elevadas durante el día y las más bajas en las noches. Las temperaturas interiores se mantienen más elevadas que las exteriores en la madrugada y hasta poco más del medio día. Los resultados parecen indicar que se está acumulando calor en la caseta debido a su masa térmica. Teniendo ya las temperaturas se aplicó la Ley de Fourier para conducción de calor considerando analogías eléctricas para determinar las resistencias térmicas conforme a las capas y materiales presentes en cada pared, la pared sur presenta el mayor flujo de calor al igual que el piso presenta un flujo de calor significativo hacia el exterior durante todo el intervalo considerado.

Flores (2014) (Tesis doctoral en desarrollo). Tiene como objetivos Estudiar mediante técnicas numéricas y experimentales el fenómeno de la convección natural turbulenta en la caseta CAGETEV considerando condición de temperatura oscilatoria en la pared calentada por el sol. Determinar los cambios de dirección de las celdas convectivas o reversibilidades del flujo y su efecto en los coeficientes de transferencia de calor. Estudiará en forma bidimensional, tridimensional y transitoria el fenómeno de la convección natural turbulenta en la caseta CAGETEV mediante el simulador comercial Fluent, considerando el problema conjugado sin/con radiación.

De la revisión del estado del arte se puede concluir que Los estudios que se han realizado en la caseta CAGETEV están más enfocados a la transferencia de calor, esto con el fin de analizar los flujos de calor que en las superficies de paredes, piso y techo se pueden alcanzar en un día completo con condiciones ambientales reales.

1.3 Justificación

Los muros y techos son los que más recientes los cambios de temperatura del medio ambiente y por consecuencia son los que presentan las fugas de calor, teniendo en cuenta los materiales con que estén fabricados y de la orientación en que se encuentren. Uno de los métodos para poder reducir las pérdidas de calor es aumentar la resistencia térmica utilizando materiales que retardan el flujo de calor, y también se debe de tomar en consideración la orientación.

Los estudios de transferencia de calor en las viviendas, son importantes ya que con dicho estudio se pueden determinar parámetros muy importantes que nos pueden ayudar a controlar los flujos de calor y alcanzar temperaturas confortables dentro de la habitación. Muchos son los factores que intervienen en la transferencia de calor en las viviendas como son: orientación del sol, propiedades de los materiales de construcción, color y tipo de las fachadas, condiciones medioambientales, etc. que en la gran mayoría de los caso estos factores no son tomados en cuenta cuando se construyen casa con materiales convencionales.

Poder controlar los flujos de calor nos permite mantener temperaturas confortables sin el uso de sistemas de acondicionamiento convencional y tener un ahorro de energía, ayudando así al medio ambiente y a los habitantes a tener un buen desempeño en sus actividades cotidianas.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Estudiar la transferencia de calor en las paredes, piso y techo de la caseta CAGETEV (caseta giratoria para estudios térmicos de viviendas).

1.4.2 Específicos

- Reconocimiento de la caseta CAGETEV
- Reconocimiento de instrumentación con los que cuenta este proyecto
- Calibración de termopares y utilización de sistema adquirente de datos
- Análisis de temperaturas y flujo de calor en las paredes, piso y techo

2. Marco Teórico

2.1 Ecuación de Conservación de energía

La primera ley de la termodinámica establece la conservación de la energía. Si se considera un sistema, el cambio de energía del sistema es la suma de la entrada de energía en forma de calor y de trabajo. La energía del sistema comprende la energía interna y la energía cinética. La ecuación que describe la energía específica es:

$$\rho \frac{\partial e}{\partial t} + \rho(\mathbf{U} \cdot \nabla) = (\boldsymbol{\tau} : \nabla)\mathbf{U} - \nabla \cdot \mathbf{q} \quad (2.1)$$

El aire es un fluido Newtoniano por lo que el tensor de esfuerzos está regido por la ecuación constitutiva para ese tipo de fluido, empleando además la ecuación de Fourier, se tiene la siguiente expresión:

$$\rho \frac{\partial e}{\partial t} + \rho \mathbf{U}_k \frac{\partial e}{\partial x_k} = -P \frac{\partial \mathbf{U}_k}{\partial x_k} + \mu \left[\frac{\partial \mathbf{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \mathbf{U}_j}{\partial x_k} \right] \frac{\partial \mathbf{U}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (2.2)$$

Si no existe fluido en movimiento entonces el único mecanismo de transferencia de calor es la conducción, regida por la ley de Fourier la cual se describe a continuación.

2.1.1 Ecuación de Fourier

La conducción de calor es el mecanismo de transferencia de energía en forma de calor que tiene lugar cuando dos cuerpos a diferente temperatura se encuentran en contacto directo, o dos partes de un mismo cuerpo se encuentran a distinta temperatura. Es, por tanto, una transferencia de energía desde una partícula a otra a través de un medio material, pero sin desplazamiento de éste. Puede ocurrir en sólidos y fluidos, siendo los sólidos metálicos los mejores conductores del calor. La ecuación general de conducción de calor es la siguiente:

$$\nabla \cdot \mathbf{q} = -k\nabla^2 T \quad (2.3)$$

Siendo:

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = q_x \quad (2.4)$$

$$-\frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) = q_y \quad (2.5)$$

$$-\frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = q_z \quad (2.6)$$

En las direcciones "x", "y" y "z" Respectivamente.

El ejemplo típico es la conducción de calor a través de una superficie sólida, cuyas superficies se encuentran a distintas temperaturas.

La ley de Fourier establece que el flujo de calor por conducción es proporcional al área de la superficie de contacto entre los sistemas y al gradiente de temperaturas, es decir, a la variación de temperatura por unidad de longitud.

Para la conducción de calor a través de una pared plana se puede reacomodar para tener:

$$q = \frac{T_2 - T_1}{R} \quad (2.7)$$

Donde R es la resistencia térmica.

Resistencia térmica

Cuando se superponen superficies de distinto material, con distinto gradiente de temperaturas y áreas diferentes, conviene definir los términos de conductancia y resistencia térmica.

$$R = \frac{L}{kA} \quad (2.8)$$

La ecuación antes dada para la transferencia de calor es análoga a la relación para el flujo de corriente eléctrica. Por lo tanto, la razón de la transferencia de calor a través de una capa corresponde a la corriente eléctrica, la resistencia térmica a la resistencia eléctrica y la diferencia de temperatura a la caída de voltaje en la capa.

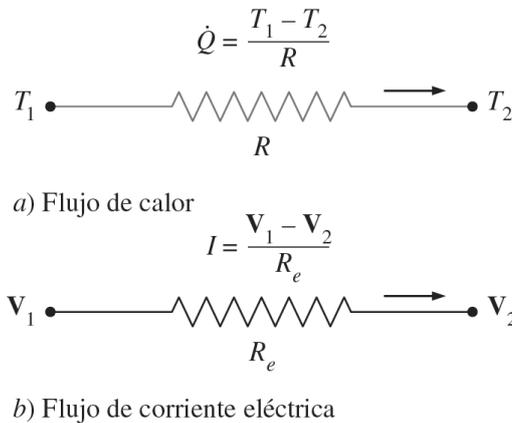


Figura 2.1. Resistencia térmica con analogía eléctrica

2.2 Aislantes

Los fabricantes de materiales de aislamiento continúan desarrollando y mejorando las prestaciones de sus productos. El aislamiento térmico contribuye a la eficiencia energética, que consiste en disminuir el consumo energético sin disminuir el confort, por lo que algunas de sus ventajas son:

- Al incorporar aislamiento térmico en el edificio se reducen las pérdidas de calor o frío (invierno/verano) dentro de la vivienda,
- Mejora el confort y el bienestar para el usuario,
- Una casa bien aislada térmicamente contribuye a reducir el consumo de energía y, por tanto, la emisión de gases con efecto invernadero,
- Elimina condensaciones y mejora el aislamiento acústico,
- El costo de más aislamiento se amortiza entre 3-5 años por los ahorros energéticos.

Por todo lo anterior se puede considerarse que el aislamiento térmico es la medida más sostenible en los edificios. Es comúnmente aceptado que las medidas sostenibles son aquellas que nos permiten seguir creciendo sin hipotecar nuestro futuro.

2.2.1 El Poliestireno Expandido - EPS

Se define técnicamente como: “Material plástico celular y rígido, fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.”

Placas de poliestireno expandido EPS

Características técnicas

- densidad: 20 kg/m³
- $\lambda = 0,037$ W/m K
- medidas: 1000 x 500 x (40-80) mm
- clasificación de reacción al fuego: E
- Marcado CE según UNE EN 13163

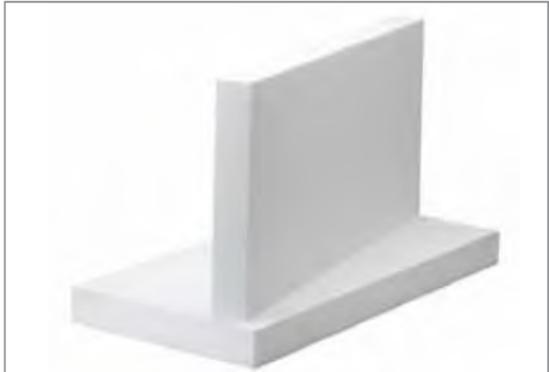


Figura 2.2. Poliestireno expandido con sus propiedades

2.2.2 El poliestireno extruido (XPS)

Es una espuma rígida, aislante, de carácter termoplástico y de estructura celular cerrada. Por su naturaleza y características técnicas, aporta a los elementos constructivos donde se incorpora notables beneficios. La estructura celular totalmente cerrada del poliestireno extruido le proporciona sus excelentes prestaciones frente a la absorción de agua y como aislante térmico.

Placas de poliestireno extruido XPS

Características técnicas

- densidad: 32 kg/m³
- $\lambda = 0,035$ W/m K
- medidas: 1.250 x 600 x (40-80) mm
- clasificación de reacción al fuego: E
- Marcado CE según UNE EN 13164



Figura 2.3. Poliestireno extruido con sus propiedades

2.3.3 La Lana Mineral-Aislantes

Son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil. Esta estructura permite obtener productos muy ligeros que por su peculiar configuración, ofrecen elevados niveles de protección frente al calor, el ruido y el fuego. La Lana Mineral es el único aislante térmico que proporciona una ganancia de aislamiento acústico de los elementos constructivos a los que se incorpora.



Figura 2.4. Lana mineral-aislante

2.3 Sistemas de aislamiento

2.3.1 Aislamiento interior

Los muros y la cubierta son los primeros elementos del edificio que hay que aislar. Una casa pesada desde el punto de vista térmico, con materiales densos almacenan el calor que se le agrega al edificio igualando las variaciones de la temperatura interior, esto tiene que ver con la masa térmica.

Aislamiento interior: es el método más barato de aislar los muros macizos por el interior. Para colocar aislamientos en el interior del muro hay que eliminar los rodapiés, lo mejor es dejar una cámara de aire ventilada entre el aislamiento y el muro, el aislante es fibra de vidrio para poder sujetarlos a la madera. Se puede utilizar poliestireno expandido, en este caso se deben de cortar el material de forma que ajuste exactamente entre los rodapiés, asegurando que el aislante no tape la cámara de aire. El muro debe revestir con un tablero de yeso cuando el aislante está colocado.

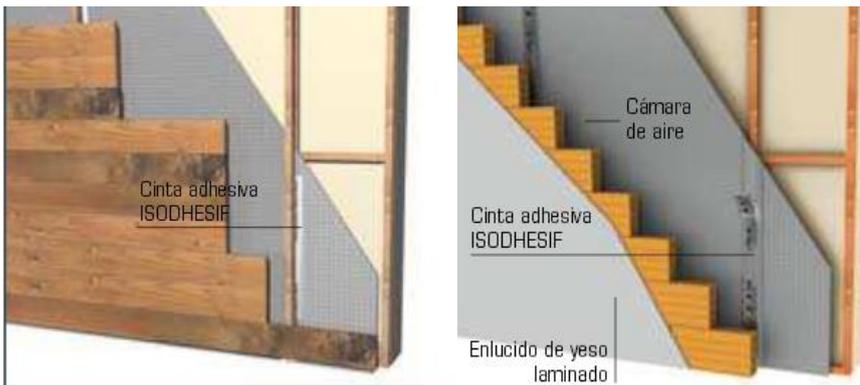


Figura 2.5. Esquema del sistema de aislamiento por el interior

2.3.2 ETICS (External thermal insulation composite systems with rendering).

Sistema de aislamiento térmico por el exterior. Consisten en un panel aislante prefabricado adherido al muro, cuya fijación habitual es con adhesivo y fijación mecánica. El aislante se protege con un revestimiento constituido por una o varias capas de mortero, una de las cuales lleva una malla como refuerzo. El revestimiento se aplica directamente al panel aislante, sin intersticios de aire o capa discontinua.

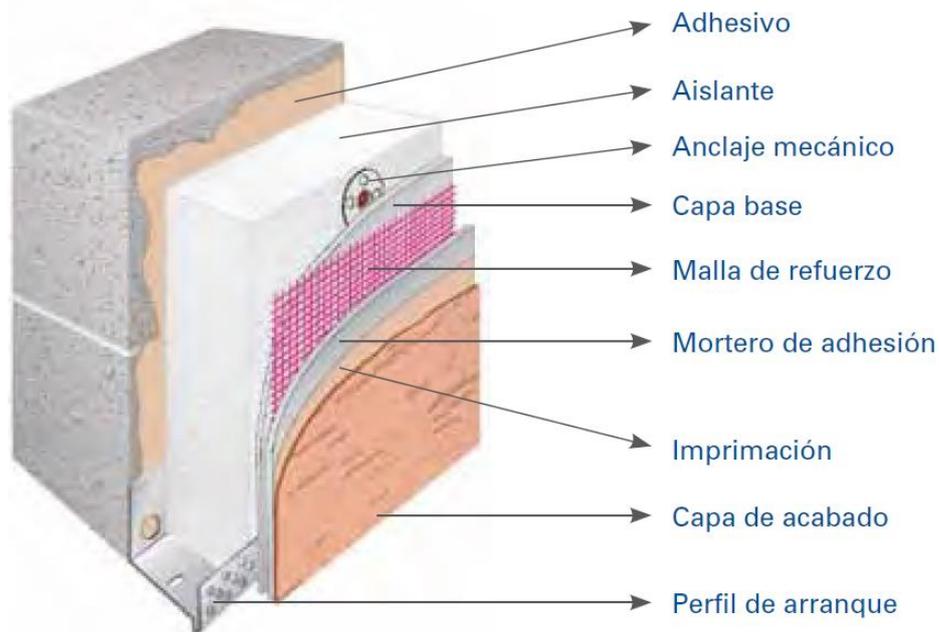


Figura 2.6. Esquema del sistema de aislamiento ETICS

Placas aislantes

El aislante debe cumplir con los requisitos de densidad, resistencia a tracción, resistencia a compresión, estabilidad dimensional (excepto lana mineral), propiedades térmicas, permeabilidad al vapor de agua y reacción al fuego. Existen varios tipos de aislantes en el mercado como poliestireno expandido EPS, poliestireno extruido XPS y fibras minerales.

Anclaje mecánico

Anclaje plástico que se utiliza en combinación con los adhesivos para fijar las placas al soporte, inyectado en material termoplástico aislante (polipropileno con aditivos)

Mortero adhesivo

Es un mortero hidráulico de base cementosa, con áridos, aditivos y resinas acrílicas que mezclado con agua queda listo para el uso.

Mortero de capa base

Sobre las placas de aislamiento se aplica un mortero para refuerzo y alisado de la superficie, denominado capa base, que podemos extender con llana o con máquina de proyectar en un espesor aproximado de unos 2 mm.

Malla de refuerzo

Refuerza el sistema mejorando su resistencia a las variaciones térmicas y sus resistencias mecánicas. En zonas de zócalo se emplean dos capas de malla o una sola malla más resistente.

Perfiles

Los más utilizados son los de aluminio. Los angulares proporcionan resistencia mecánica a las aristas expuestas del sistema. Los de sección en U facilitan la puesta en obra y las entregas con otros elementos de la fachada. Los perfiles de arranque se colocan horizontalmente en el límite inferior de la zona a revestir. Se debe respetar un zócalo para evitar la transmisión de humedad por capilaridad.

Al colocar las placas aislantes hay que tener especial cuidado en quitar la masa sobrante entre ellas y evitar huecos que provocan puentes térmicos. Las esquinas deben estar protegidas con perfiles metálicos que refuercen estos puntos críticos y permitan además obtener verticalidad y uniformidad en el acabado.

2.3.3 Aislamiento transparente

Una aplicación es el revestimiento de las paredes del edificio, en sustitución de aislamiento opaco convencional.

Al utilizar aislante transparente en una pared del colector solar se ha demostrado tener un gran potencial para reducir la carga de calefacción en el edificio.

Platzer (1994) [*Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings*] revisó y clasificó en 4 categorías los materiales aislantes transparentes:

- A) Con estructuras de material paralela al plano de superficie (acristalamiento múltiple, película de plástico, vidrios reflectores)
- B) con estructuras materiales perpendiculares al absolvedor (panal de abeja, capilares, listones paralelos)
- C) estructuras expandidas (espuma, burbujas)
- D) materiales casi homogéneos (fibras de vidrio, Aero gel)

La estructura de panal de abeja es hecha de plásticos como el acrílico o el policarbonato. Estos materiales tienen muy altas transmisiones solares con buenas propiedades de aislamiento. La ventaja de la estructura de panal es que la radiación solar golpear el panel aislante se refleja y re-reflejado por las paredes en la dirección de avance y por lo tanto llega el absorbedor.

El sistema de aislamiento transparente consiste en un simple vidrio protector exterior, cavidad de aire, un material en forma de panal transparente, una segunda cavidad de aire, una capa de concreto, una tercera cavidad de aire y una capa interior de yeso.

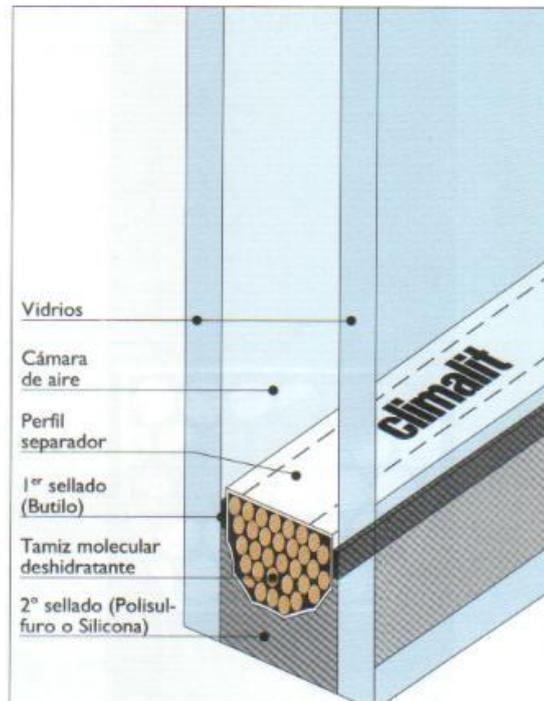


Figura 2.7. Esquema del sistema de aislamiento transparente

Las persianas se han introducido en el sistema colector de la pared para evitar el sobrecalentamiento durante el día con la radiación solar excesiva.

Los paneles de policarbonato extruido rectangulares unicelulares de varios plásticos se han desarrollado, pero sólo algunos de ellos están en el mercado.

3. Descripción de la caseta y sistema adquirente de datos

3.1 Descripción de la caseta CAGETEV

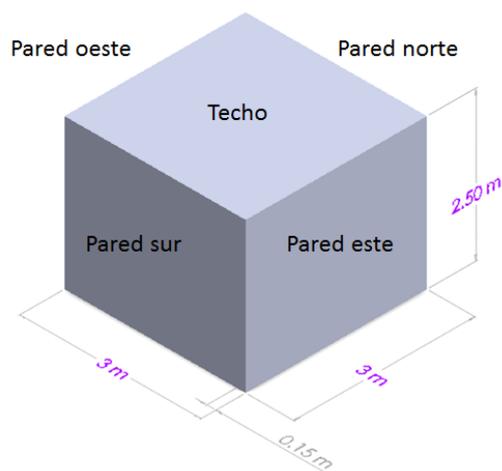
La caseta fue desarrollada a escala completa para el estudio de la convección natural en cavidades (Problema diferencial) y cumplir con los objetivos del proyecto doctoral Morales (2005). Las características que consideró fueron las siguientes:

1. Se tomaron las dimensiones típicas de una vivienda común de la región
2. Se construyó una base de giro de 0 a 360° para análisis de distintas paredes que conforman la caseta CAGETEV
3. Una pared desmontable expuesta al sol con el fin de realizar estudios de transferencia de calor considerando diferentes materiales de construcción.
4. Pared a temperatura constante opuesta a la pared desmontable.
5. Las paredes restantes, piso y techo con aislamiento térmico.
6. Con opción de colocar ventanas para subsiguientes estudios que involucren efectos del viento y/o vidrios.

1) Morales consideró una habitación típica, las dimensiones de construcción fueron: 3 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de alto.



a)



b)

Figura 3.1. Caseta CAGETEV. a) fotografía de la caseta. b) Esquema de caseta

Para fines en la realización de este trabajo, de aquí en adelante cada pared en la caseta se denominara de acuerdo a las posiciones de los puntos cardinales, como se muestra en la figura 3.1 b).

2) En la base de giro se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Plantilla de concreto armado de 6 m x 6 m
- Dado central con placa circular de acero (1 m de diámetro y 2 cm de espesor) y 52 de 2.5 cm cada uno que sirven de apoyo y centro de giro
- Pista para las ruedas que sirve también como trabe perimetral

3) La caseta CAGETEV cuenta también con la pared sur desmontable, para poder analizar distintas configuraciones de materiales de construcción. Para los estudios en el presente trabajo la configuración de la pared es de ladrillo completamente sólido con dos capas de mortero, una interior y la otra al exterior.

4) Para poder poner la pared norte a temperatura constante se coloca un intercambiador de calor con tubos de cobre en la parte interior. Además se le coloca una placa de aluminio sobre toda la superficie dejando el intercambiador entre la placa de aluminio y una capa de aislamiento interno de dicha pared. De modo que al hacer circular agua en el intercambiador de calor la temperatura sobre los tubos y la temperatura de la placa será uniforme.

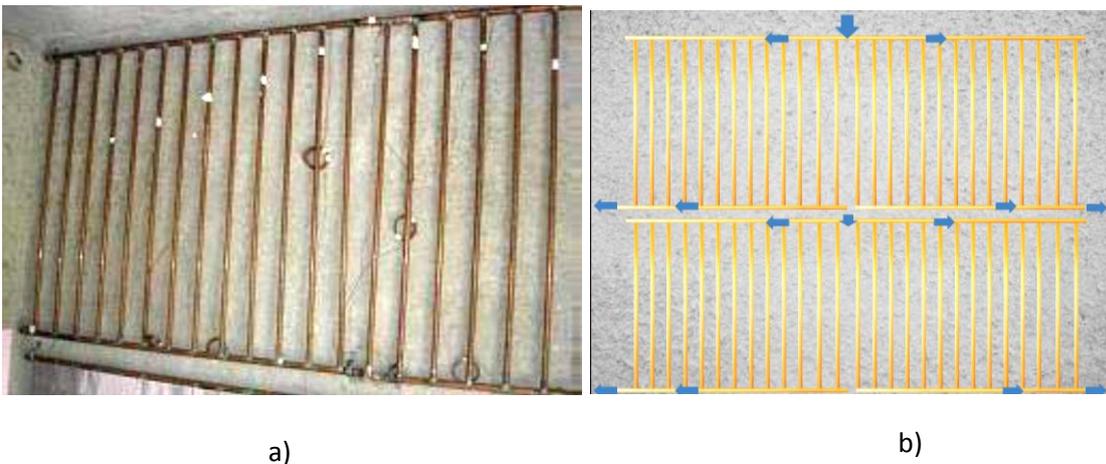


Figura 3.2. Intercambiador de calor. a) Fotografía, b) esquema

5) las paredes restantes, piso y techo se mantienen aisladas ya que los estudios que se realizan en la caseta contempla una cavidad con 2 paredes activas, una calentada de forma natural por condiciones del clima de la región que en este caso es la pared sur y la otra se trata de mantener a temperatura constantes donde se encuentra el intercambiador de calor, siendo esta la pared norte.



Figura 3.3. Fotografía de la caseta CAGETEV con aislamiento exterior

Para el aislamiento de las demás paredes, se usó aislante de poliestirino extruido (Foamular 250), ya que es el que presenta baja conductividad térmica comparada con los otros materiales aislantes.

Se aplicaron para la pared este, oeste y en el piso 3 capas de este aislante, y en el techo 4 capas ya es por donde se presenta más flujo de calor. En la pared norte se tiene una capa exterior de aislante, y una en la parte interior.

Se usó también aislante de fibra de vidrio para cubrir las tuberías por donde circula el agua de alimentación y descarga del intercambiador y capa de la pared oeste y el techo.

3.2 Hardware y software de la adquisición de datos

Para poder hacer mediciones se necesitan de varias herramientas de hardware y software, que en conjunto (sistema de adquisición) puedan guardar las lecturas de las temperaturas de manera automática en puntos estratégicos donde se desee hacer las mediciones. Los sistemas de adquisición de datos están integrados de señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos DAQ, y software de aplicación.

3.2.1 Hardware

El hardware con que está instrumentada la caseta para la adquisición de datos es la siguiente:

- NI SCXI –1001. Chasis con 12 ranuras

En este dispositivo es donde se conectan los demás componentes que conforman el sistema adquirente de datos. También de la distribución de corriente de los demás módulos para su funcionamiento y que puede recibir hasta 12 módulos SCXI.

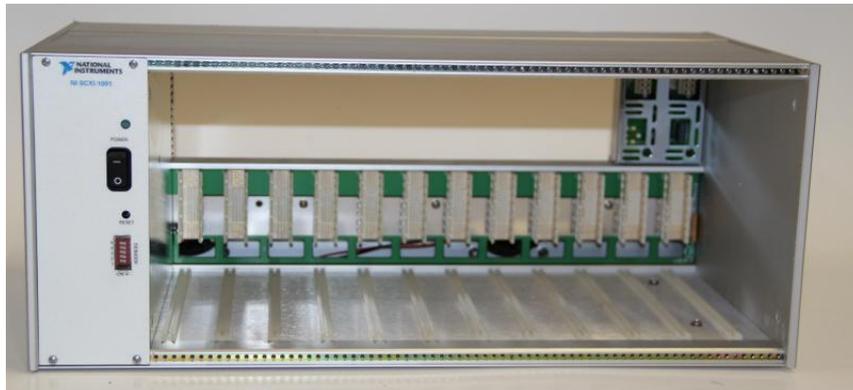


Figura 3.4. NI SCXI –1001. Chasis con 12 ranuras

- NI SCXI – 1600. Módulo de control y adquisición de datos

Es el módulo donde se controla la adquisición de datos, cuenta con entradas y salidas digitales. Las funciones principales de son de controlar los módulos que se conecten en el chasis, y de mantener la interfaz con la PC con entrada USB.



Figura 3.5. NI SCXI – 1600. Módulo de control y adquisición de datos

- NI-SCXI 1102. Módulo de amplificación de señal para 32 canales
Los son sensores examinados este módulo para compensar por unión fría junto con otros canales de entrada y detecta los termopares abiertos. Puede adquirir señales de corriente en milivoltios, voltios o corriente de 0 a 20 mA y de 4 a 20 mA. Se puede conectar desde un solo canal en el dispositivo DAQ y se pueden añadir módulos para aumentar la cuenta de canales.



Figura 3.6. NI-SCXI 1102. Módulo de amplificación de señal para 32 canales

- NI SCXI 1303. Bloque isotérmico terminal para 32 canales
En este bloque se conectan los termopares, su diseño le permite la conexión 32 termopares y la construcción es isotérmica que minimiza errores causados por gradientes térmicos entre terminales y el sensor de junta fría.



Figura 3.7.NI-SCXI 1303. Bloque isotérmico terminal para 32 canales

3.2.2 software

El software utilizado en este sistema adquisidor es el LabVIEW 11. El LabView es un lenguaje de programación de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, juegos, manejo de textos, etc. Cada programa realizado en LabView será llamado Instrumento Virtual (VI), el cual como cualesquier otro ocupa espacio en la memoria de la computadora.



Figura 3.8. LabVIEW 2011

Instrumentos virtuales

Los Programas que se creados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales (VI's), porque su apariencia y comportamiento simula a instrumentos físicos.

Los VI's utilizan funciones que manipulan las entradas del usuario o datos provenientes de otras fuentes y muestran la información procesada o la pasan a una PC.

Cada VI se compone de las siguientes partes:

- Panel frontal (front panel) o interface con el usuario.

El panel frontal es el interfaz de usuario con el VI, donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa esté en funcionamiento. Por ejemplo botones, perillas, gráficas, etc. En la siguiente imagen se muestra el entorno del VI que es utilizado para tomar las mediciones en la caseta CAGETEV.

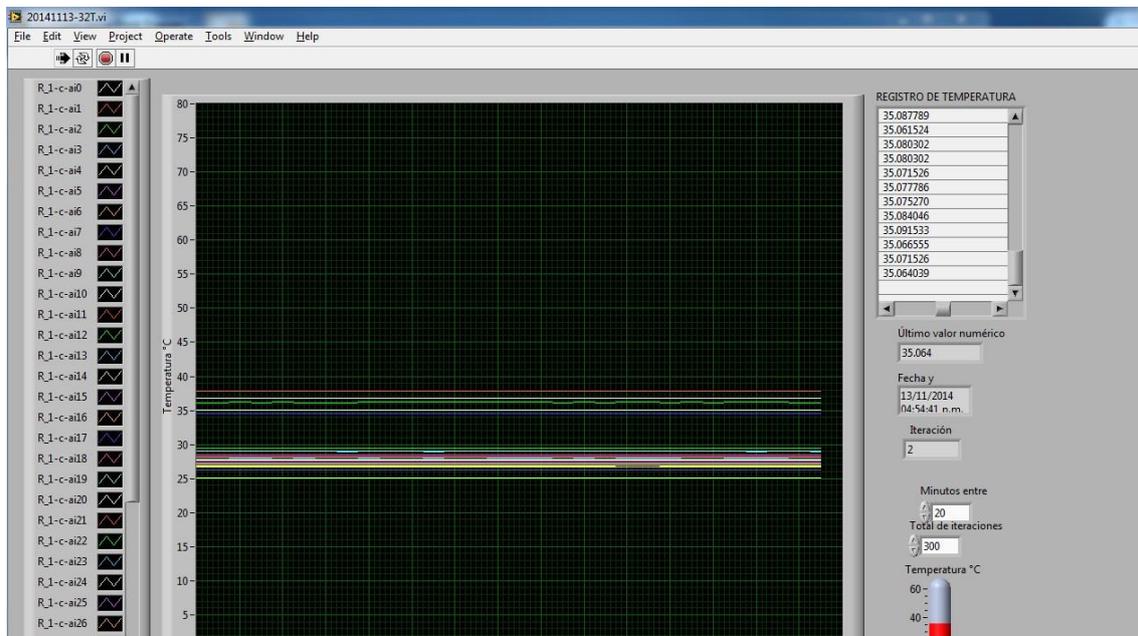


Figura 3.9. Entorno del instrumento virtual utilizado para la adquisición de datos

- Diagrama de bloques (block diagram) o código fuente que define el comportamiento del VI.

En el diagrama de bloques tendremos terminales y nodos conectados mediante cables. Los terminales son en general puntos donde se puede conectar un

cable. El usuario introduce valores en los controles y tras la ejecución del VI los resultados se muestran en los indicadores.

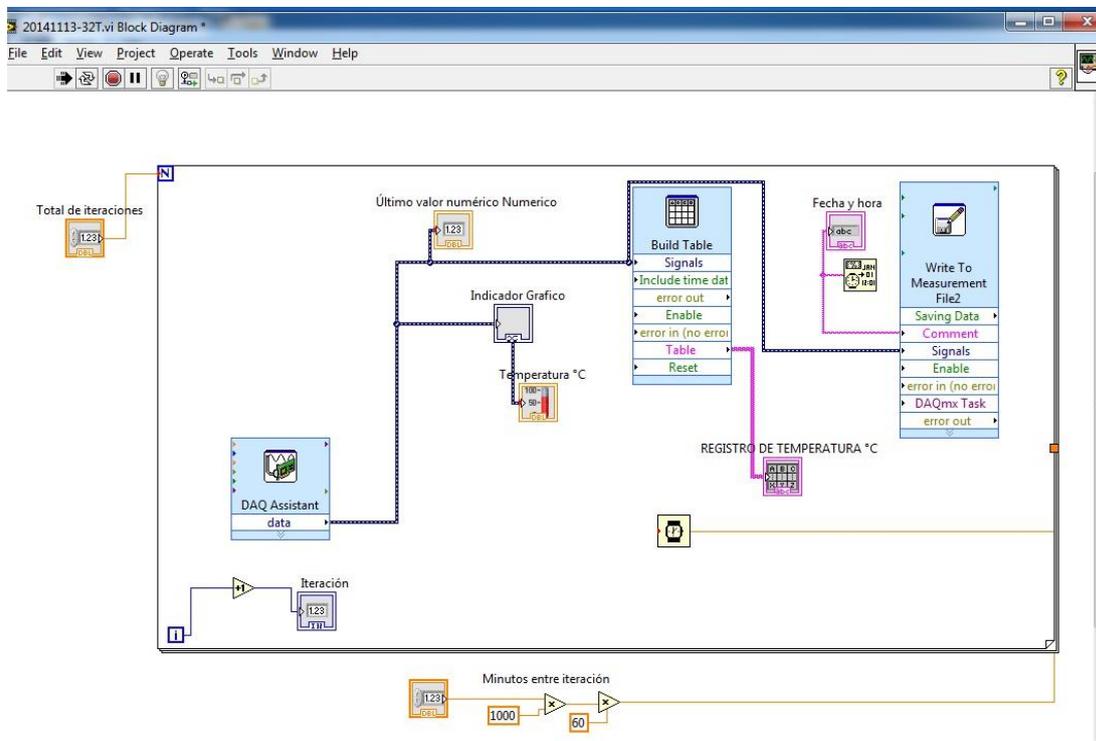


Figura 3.10. Entorno del instrumento virtual utilizado para la adquisición de datos

3.3 Termopares

Los termopares utilizados en la caseta para la medición de las temperaturas son de tipo K, de calibre 30, ya que cumple con las especificaciones para realizar las mediciones de la caseta CAGETEV.

Las principales características del termopar tipo K son:

Material:

Composición: Níquel-Cromo · Níquel-Aluminio

Elemento positivo: Níquel-Cromo (Cromel) (cable amarillo)

Elemento negativo: Níquel-Aluminio (Alumel) (cable rojo)

Máximo rango de temperatura

Grado Termopar: -200 a 1250°C

Grado extensión: 0 a 200°C

Límite de error

Estándar: 2.2°C o 0.75°C en 0°C

Especial: 1.1°C o 0.4%



Figura 3.11. Termopar tipo K

4. Estudios realizados

4.1 Calibración de termopares

Para poder realizar la calibración de los termopares se tienen que tener dos puntos de temperatura de referencia. Uno de ellos se puede hacer con una solución de agua y hielo para alcanzar aproximadamente 0°C y otro calentar el agua hasta llegar a la temperatura deseada; lo ideal sería en el punto de ebullición del agua a 100°C .

Para el primer punto de referencia se preparó solución de agua y hielo, se procedió a colocar la punta del cable termopar aproximadamente a 5 cm bajo el agua, como se puede observar en la figura 4.1. Se deja dentro aproximadamente 1 minuto para poder estabilizar la temperatura del agua y tomar la medición con un termómetro, en este caso se usó uno digital (Termómetro digital FLUKE), La lectura que nos registró el termómetro es el que se coloca en el sistema adquiredor para la primer temperatura de referencia.



Figura 4.1. Termopares en concentración de agua-hielo

De igual forma, para tener la segunda temperatura de referencia, transcurrido un tiempo se introduce el termopar en el agua caliente (ver figura 4.2). La segunda temperatura de referencia se estableció a 70°C.

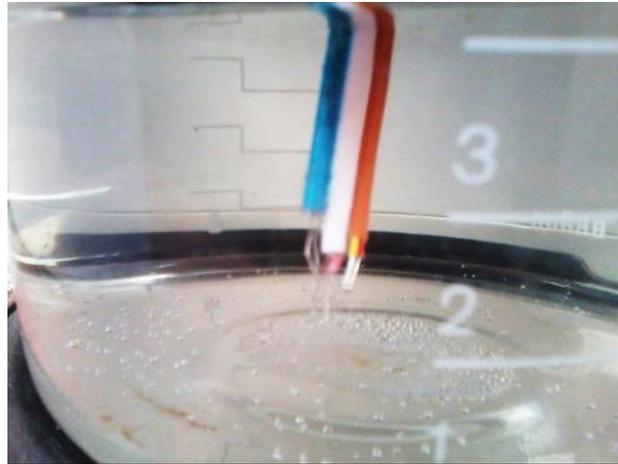


Figura 4.2. Termopares en agua caliente

Al mismo tiempo que se tienen los termopares en las celdas de referencia, en el sistema adquiredor se selecciona el termopar que se encuentra dentro del hielo, como se puede ver en la siguiente figura 4.3, que muestra el asistente de configuración de los termopares de la plataforma:

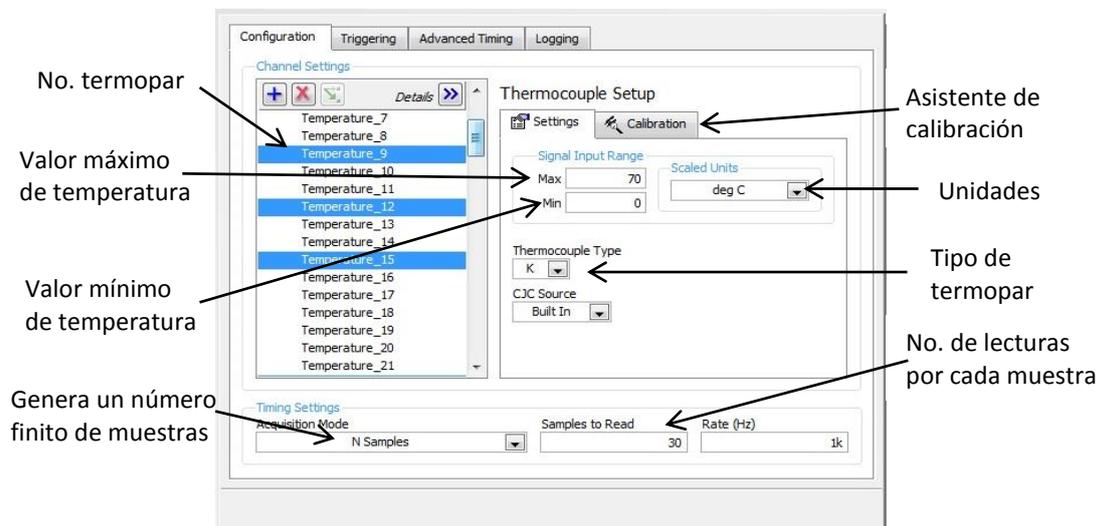


Figura 4.3. Asistente de configuración de termopares

En este asistente tenemos la opción de configurar y tomar el termopar que estemos usando: se utilizaron termopares tipo K.

Mientras se mantienen los termopares en el hielo, la lectura de temperatura del termopar de referencia (termómetro digital FLUKE), es de 0.3 °C. Se escribe en el asistente de configuración de termopares esta lectura como la primer referencia y 70°C como la segunda referencia.

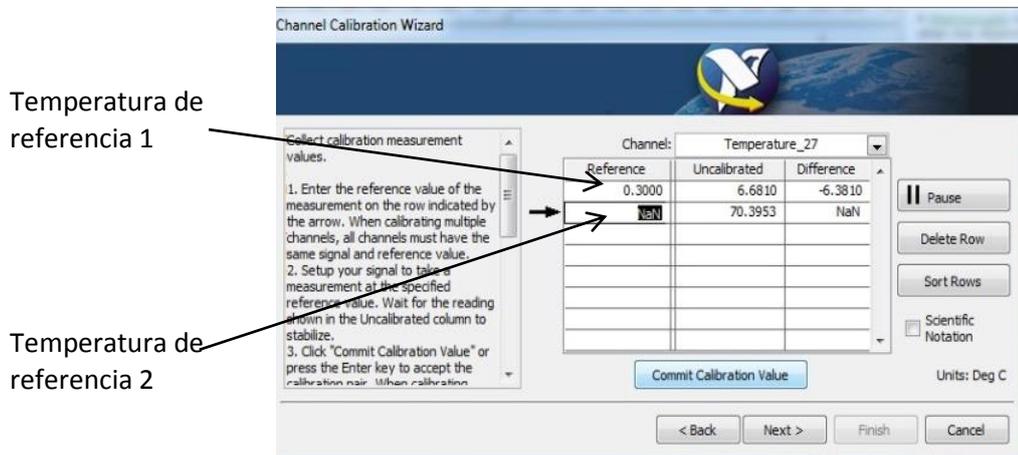


Figura 4.4 Calibración del termopar

Posteriormente se selecciona “Commit Calibration Value”, y muestra una gráfica de los rangos de valores.

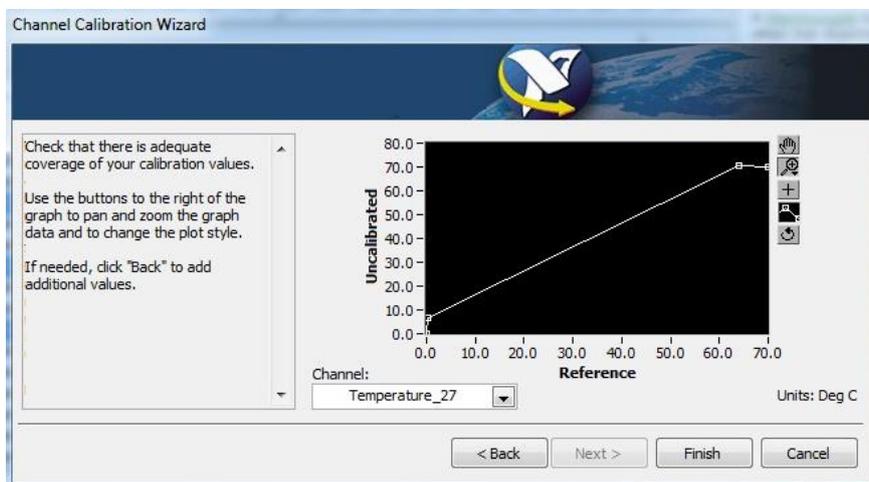


Figura 4.5. Grafica con los valores usados en la calibración

Una vez obtenida esta gráfica, finaliza el asistente de calibración. Para comprobar que el termopar quedó calibrado debe de aparecer con el icono de vernier en el asistente de configuración de termopares, como se muestra en la figura 4.6.

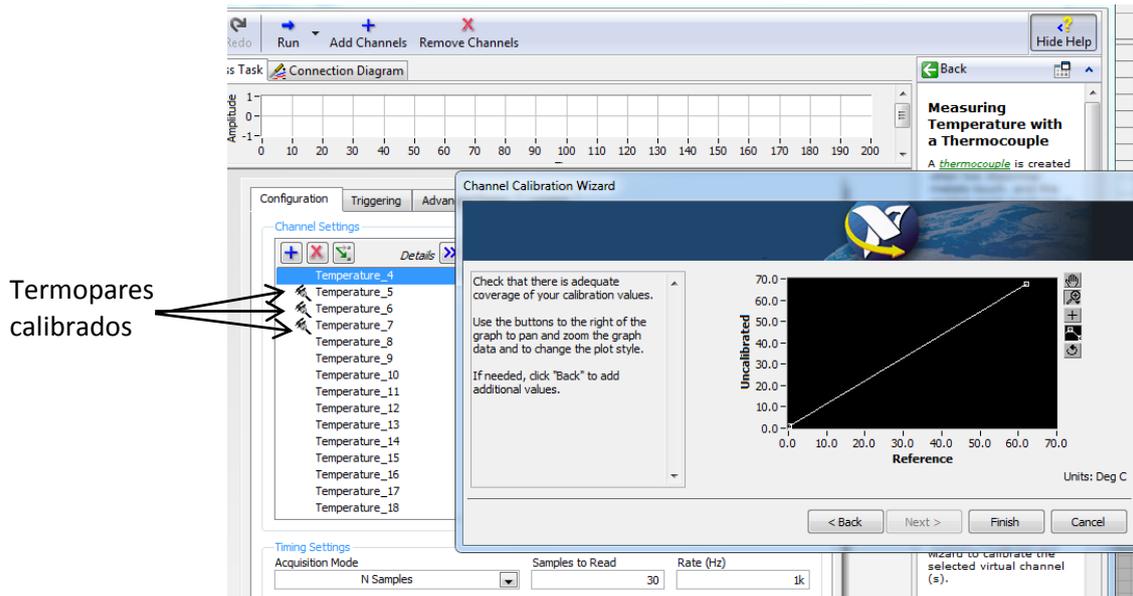


Figura 4.6. Termopares calibrados

4.2 Localización de termopares

Para hacer el estudio térmico en la caseta CAGETEV, se colocaron dos termopares en cada una de las paredes, piso y techo. La colocación fue a una altura media, en un punto exterior e interior de cada una de las paredes. En la figura siguiente se muestra la distribución de los termopares sobre la caseta.

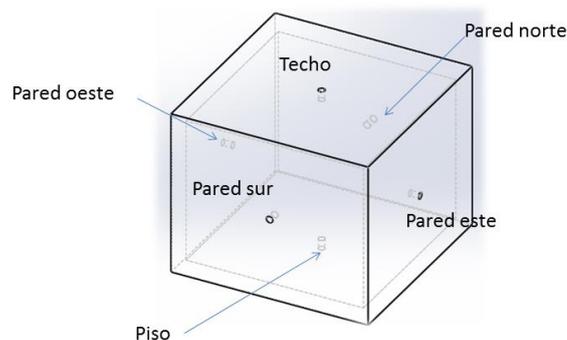


Figura 4.7. Ubicación de termopares en las paredes de la caseta.

Las mediciones de temperatura fueron desde las cero horas del día 27 de septiembre hasta las cero horas del día 28 de septiembre del 2014. Se tomaron 30 lecturas cada 10 minutos con el sistema de adquisición de datos.

4.3 Estudio Térmico 1

Consistió en la medición y registro de temperaturas en las paredes, piso y techo de la caseta CAGETEV para su posterior procesamiento para la determinación de los flujos respectivos de transferencia de calor. En este primer estudio no se hizo circular agua por el intercambiador de calor.

Para poder graficar el comportamiento en el periodo considerado de medición de las temperaturas, se promediaron para cada hora y se obtuvieron los siguientes comportamientos de temperatura.

Pared Este

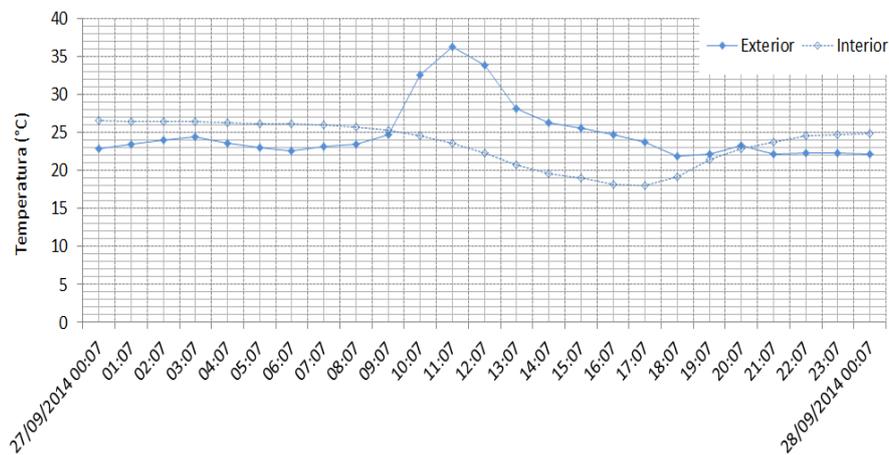


Figura 4.8. Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Este

Pared Oeste

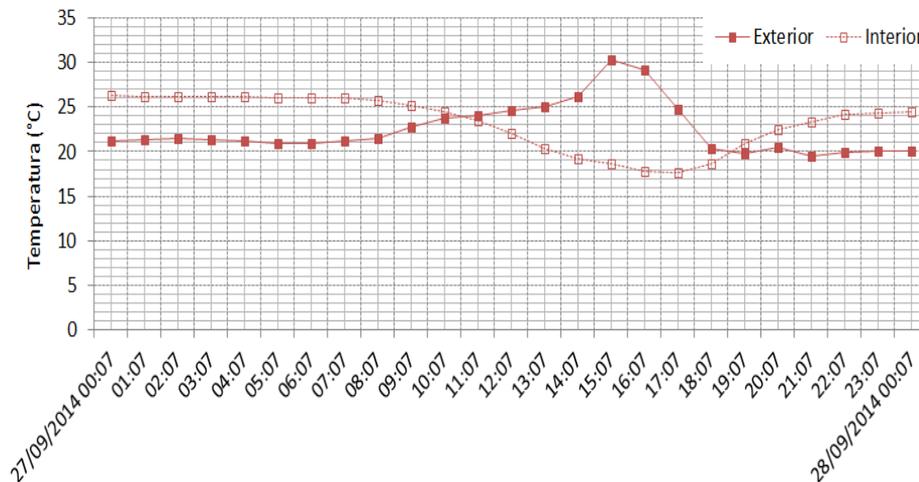


Figura 4.9. Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Oeste

Pared Norte

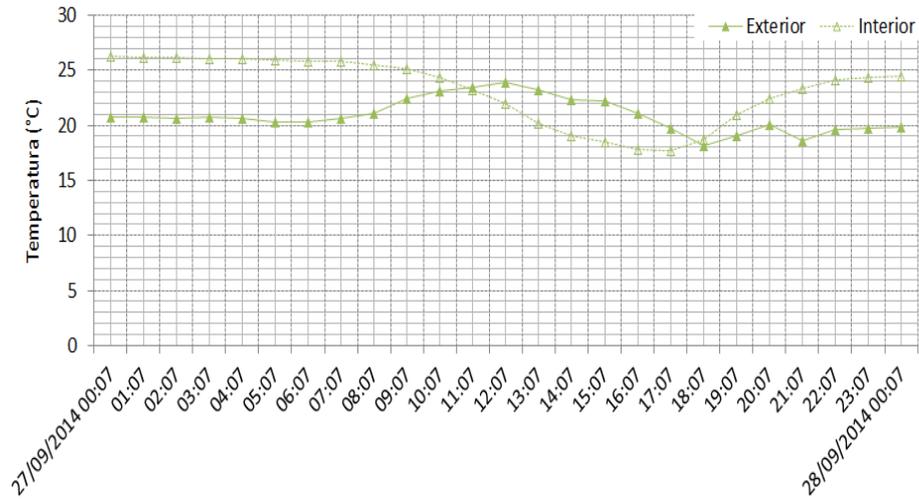


Figura 4.10. Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Norte

Pared sur

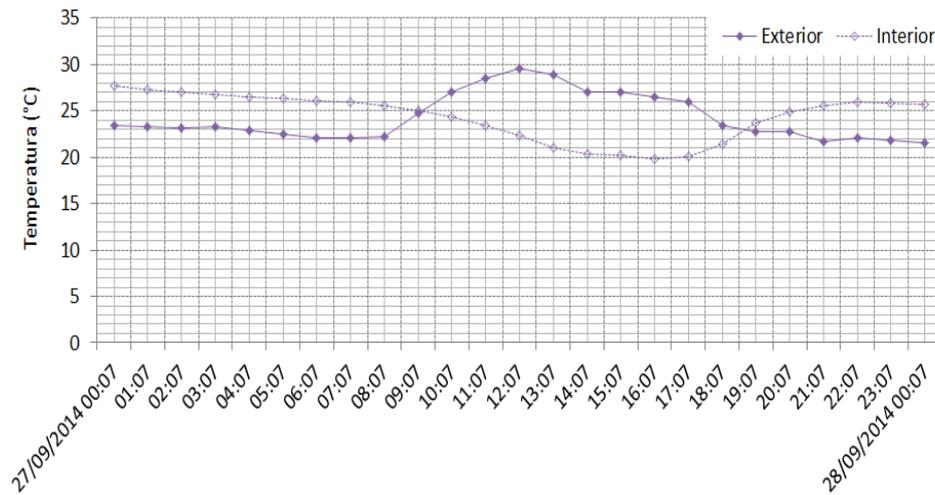


Figura 4.11. Gráfica de temperaturas internas y externas de la pared Sur

Piso

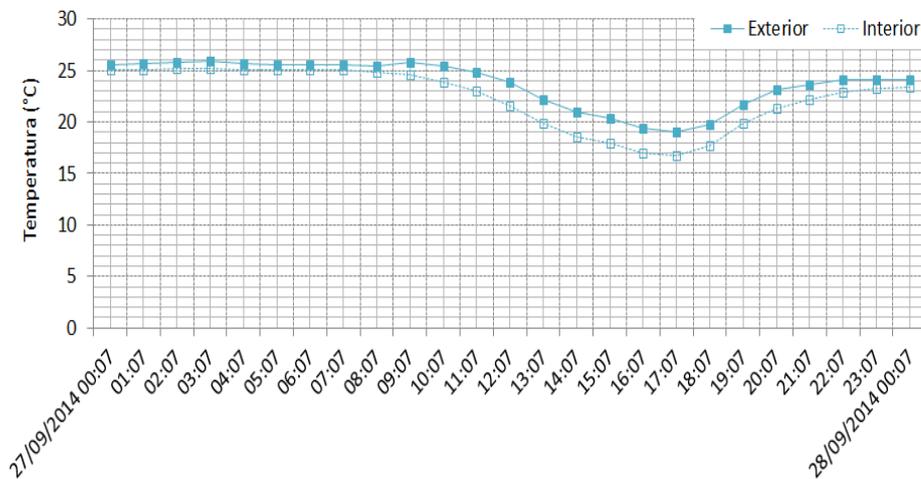


Figura 4.12. Gráfica de temperaturas internas y externas del piso

Techo

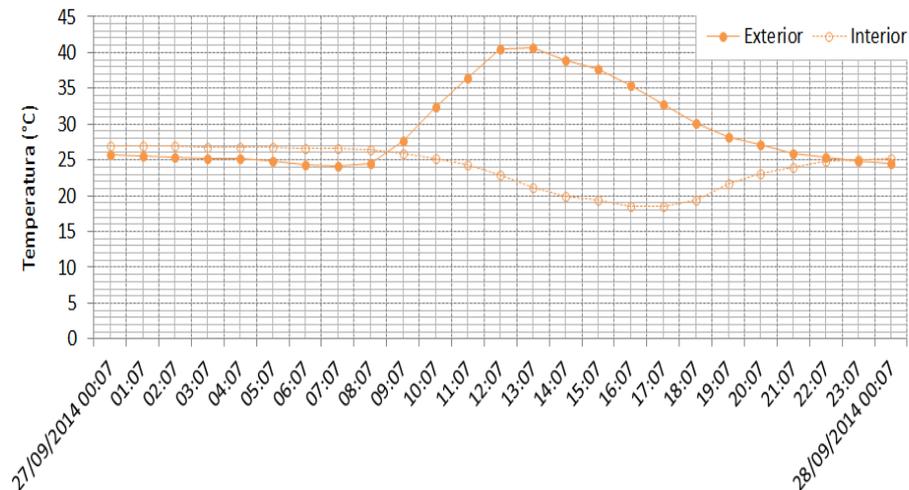


Figura 4.13. Gráfica de temperaturas internas y externas del techo

En las gráficas anteriores se pueden observar que las temperaturas exteriores tienden a subir a partir de las nueve horas, siendo las temperaturas del techo y la pared Este las más críticas. A las 12 horas, estas temperaturas son de 42 °C y 35 °C respectivamente. Las otras paredes alcanzan temperaturas máximas alrededor de los 30 °C, a excepción de la pared Norte y el piso. En el caso de temperatura de la superficie exterior del piso fue la que se mantuvo más estable con una temperatura de 25°C desde las 22 a las 10 horas aproximadamente.

Se observó que el flujo de calor es hacia el interior de la cavidad desde las 9-10 horas y hasta las 18-19 horas aproximadamente, a excepción de la pared norte cuyo período de calentamiento es menor, antes y después de estos períodos el flujo de calor es hacia el exterior.

4.3.1 condiciones meteorológicas

Como un marco de referencia en las siguientes figuras se muestran las gráficas de temperatura del medio ambiente exterior y de radiación solar en el día que se realizaron las mediciones y registro de las temperaturas en la caseta.

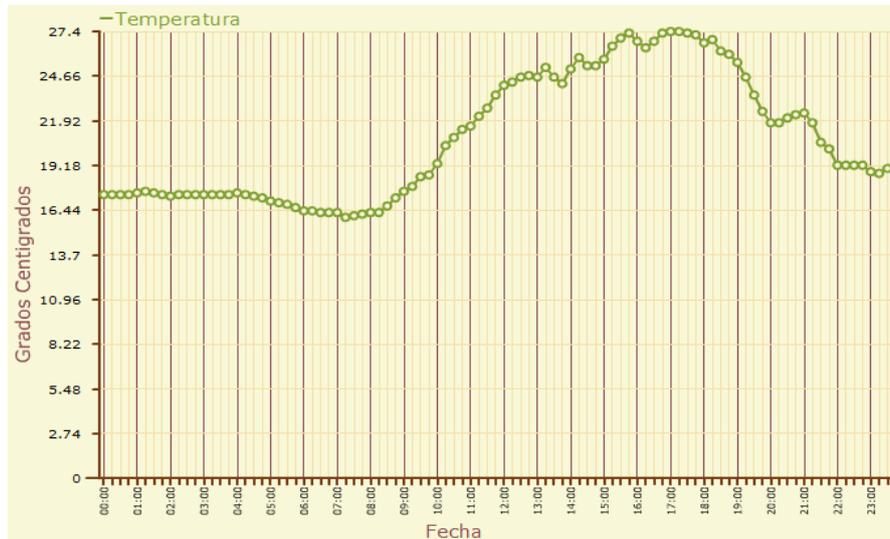


Figura 4.14. Gráfica de temperatura en una estación meteorológica cercana al CENIDET

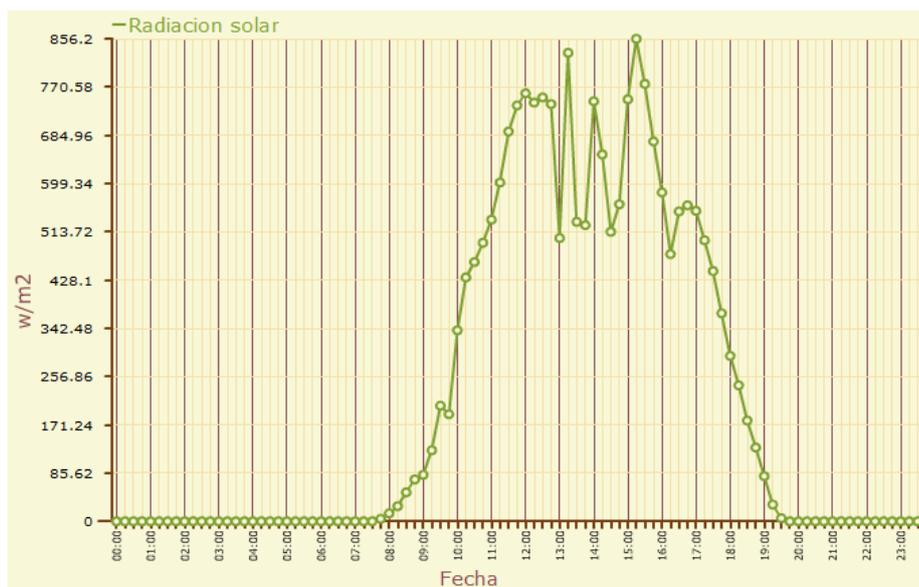


Figura 4.15. Grafica de radiación solar en una estación meteorológica cercana al CENIDET

Se tomaron de la Red de estaciones agrometeorológicas del Estado de Morelos, ubicada en el municipio Emiliano Zapata que es la más cercana a las instalaciones de CENIDET.

4.3.2 cálculo del flujo de calor

Para poder calcular el flujo de calor en las paredes, piso y techo de la caseta CAGETEV, se aplicó la ley de Fourier en conjunto con la analogía eléctrica. La resistencia térmica total y el área transversal al flujo de calor se muestran en la siguiente tabla:

	Piso	Techo	Norte	Sur	Este	Oeste
R.T. total (°C/W)	0.3739	0.6923	0.2598	0.0346	0.479	0.6295
Área (m ²)	7.2086	7.2086	6.1788	6.1788	6.0648	6.0648

Tabla 4.1. Resistencia térmica totales y áreas de cada pared

En las gráficas siguientes se muestran los flujos de calor obtenidos con las mediciones de temperatura presentadas en las figuras 4.8 A 4.13 y la información de la Tabla 4.1, para el día de medición de temperaturas (27 de septiembre). Se puede observar que el máximo flujo de calor se tiene en la pared sur, ya que esta pared se encuentra sin aislamiento. El máximo flujo de calor en esta pared fue de 224 W y se presentó a las 13 horas con un promedio de 200 W entre las 12:00 y 17:30 horas. Esto se debe básicamente a que la resistencia térmica de esa pared es muy pequeña en comparación a las otras por el aislamiento.

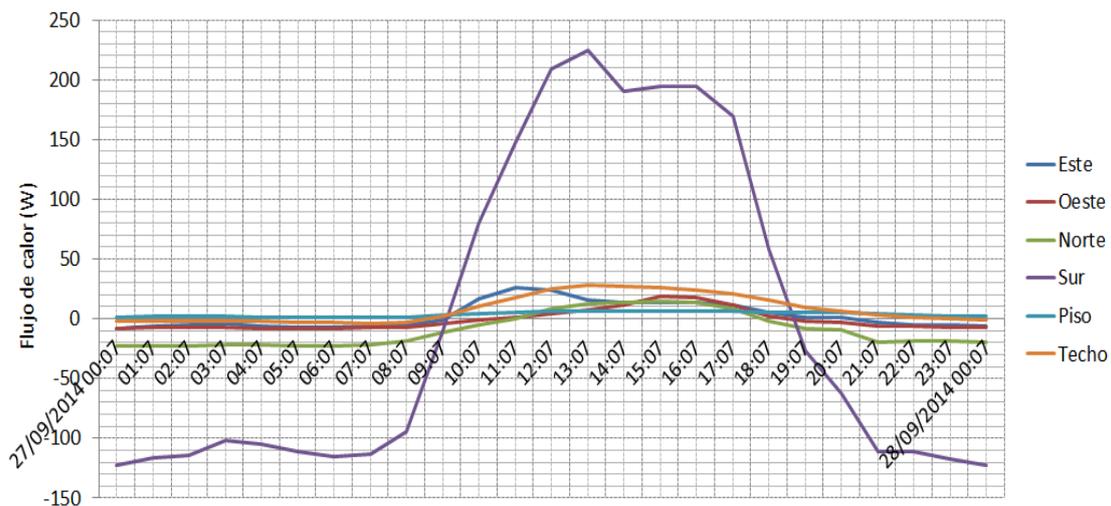


Figura 4.16. Gráfica de flujo de calor de las paredes, piso y techo

Para poder observar mejor el comportamiento de las demás paredes, en la siguiente gráfica se muestra los flujos de calor omitiendo el de la pared sur.

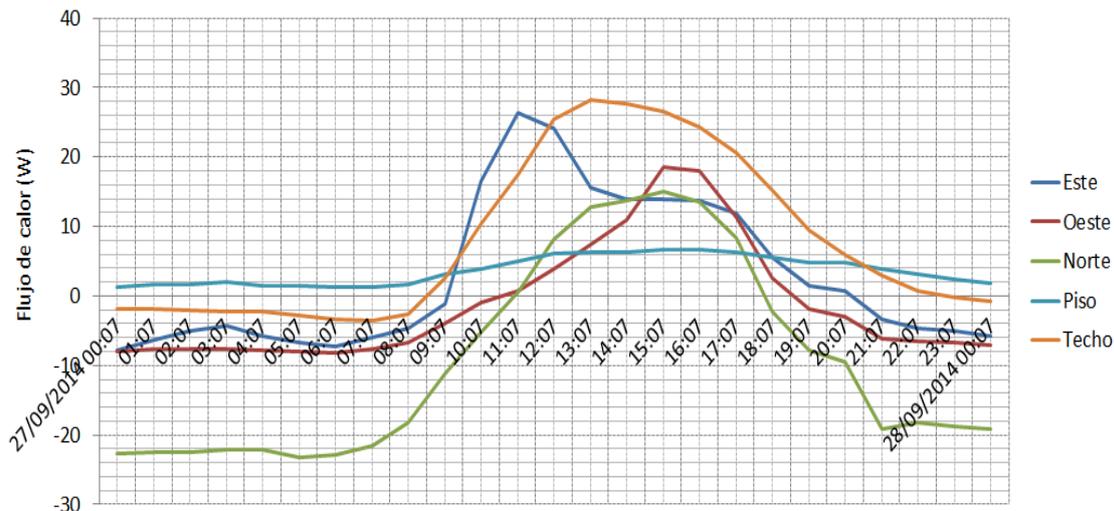


Figura 4.17. Gráfica de flujo de calor de las paredes, piso y techo, sin considerar pared sur

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el techo es el que presenta el mayor flujo de calor hacia el interior de la caseta siendo el máximo 28 W, lo que representa el 12.5% del flujo de calor máximo que se presentó en la pared sur. Dicho calentamiento es desde las 10 horas hasta las 21 horas, con mínimas fugas de calor durante el resto del tiempo. La pared Norte es la que presenta mayores fugas de calor, prácticamente toda la noche y hasta las 11 horas. Lo anterior denota que la dirección principal de transferencia de calor en la caseta es de Sur a Norte.

Por el contrario el piso es el que permanece más estable. En el piso solo se puede observar que el flujo es de aproximadamente de 6 W (2.6%) como máximo que va de afuera hacia adentro en todo el tiempo que se tomaron las mediciones.

Asimismo se puede observar en esta figura que el mayor calentamiento a través de la pared Este se da a las 11:00 horas, mientras que en la pared Oeste 18 horas, reflejando el efecto de la trayectoria del sol, la cual durante el verano incide fuertemente en el techo la mayor parte del día.

Los siguientes estudios, se hicieron en colaboración con estudiante de doctorado Juan Flores Hernández, quien desarrolla el tema: *“Convección natural turbulenta en una caseta con condición de temperatura oscilatoria en la pared calentada por el sol y determinación del cambio de dirección de la celda”*.

Los estudios se realizaron en la pared Norte la cual tiene instalados intercambiadores de calor, para mantener su temperatura constante. Lo anterior para determinar la uniformidad de la temperatura en esta pared, bajo condiciones con y sin circulación de agua: estudio térmico 2 y 3 respectivamente.

4.4 Estudio Térmico 2

Para ello primero se realizó el arreglo de termopares ubicados en puntos estratégicos para. Se colocaron 26 termopares en la tubería de cobre como se puede ver en la figura. También se coloca un termopar en el centro de la caseta y uno en la parte exterior de dicha pared.

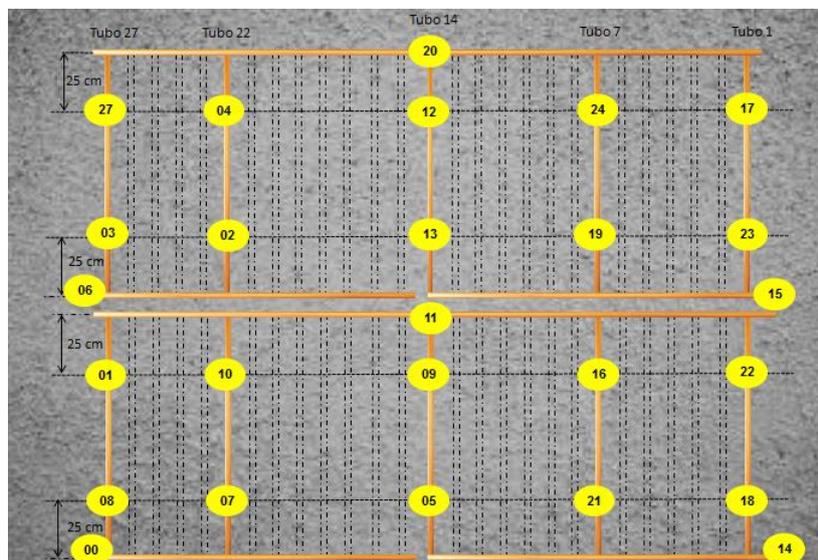


Figura 4.18. Arreglo de termopares en el intercambiador de calor

Los días de la medición con recirculación de agua en el intercambiador de calor fueron del 26 al 28 de noviembre del 2014. El experimento comenzó a las 18:00 horas y se tomaron 30 datos cada 20 minutos.

En las siguientes gráficas se, muestra el comportamiento de las temperaturas, primero las del intercambiador que está en la parte de arriba de la pared, y luego se presentan las temperaturas del intercambiador de abajo. Se pueden observar que se mantiene una banda de temperaturas con diferencia de 4 °C, para el intercambiador de arriba. En el intercambiador de abajo se observa que la banda de temperaturas tiene una diferencia de 2 °C.

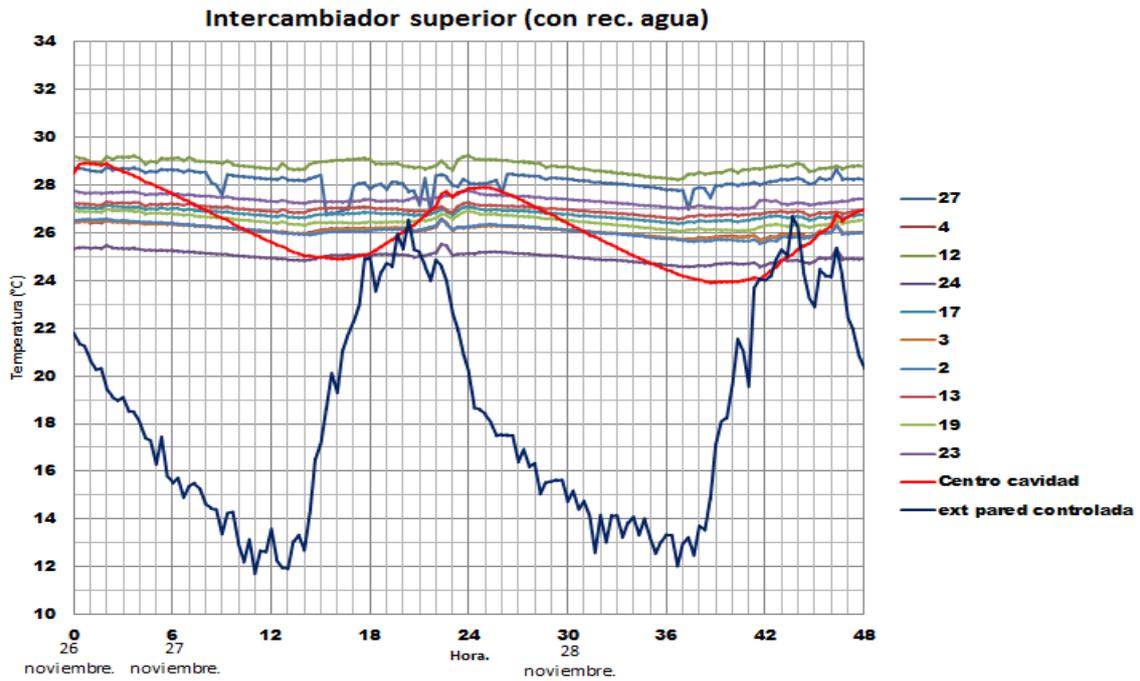


Figura 4.19. Gráfica de temperaturas en el intercambiador superior con recirculación de agua

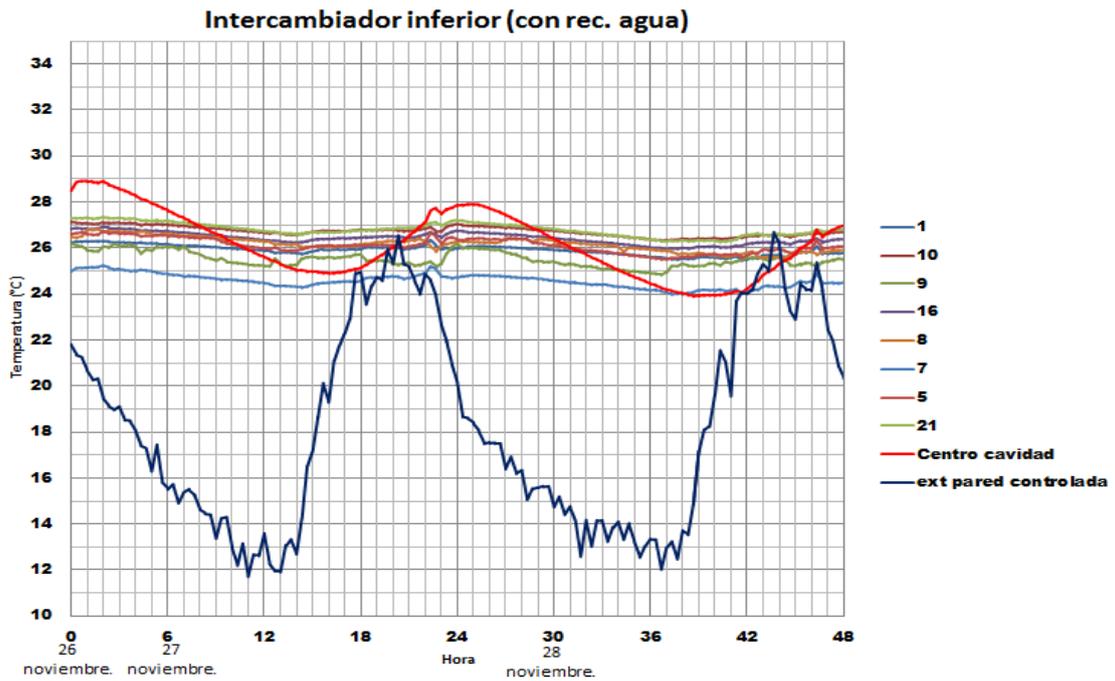


Figura 4.20. Gráfica de temperaturas en el intercambiador inferior con recirculación de agua

Se puede observar también que en el centro de la caseta y en la superficie exterior de la pared Norte la temperatura tiene un comportamiento oscilatorio, debido a los cambios de temperatura en el medio ambiente exterior, lo que era de esperarse. La circulación de agua en los intercambiadores amortigua fuertemente estas oscilaciones en el interior de la pared.

En la siguiente figura se muestra la gráfica de todos los termopares instalados en los intercambiadores, la banda de temperaturas es de 4 °C. Algunos de termopares no aparecen, ya que estuvieron registrando temperaturas inadecuadas.

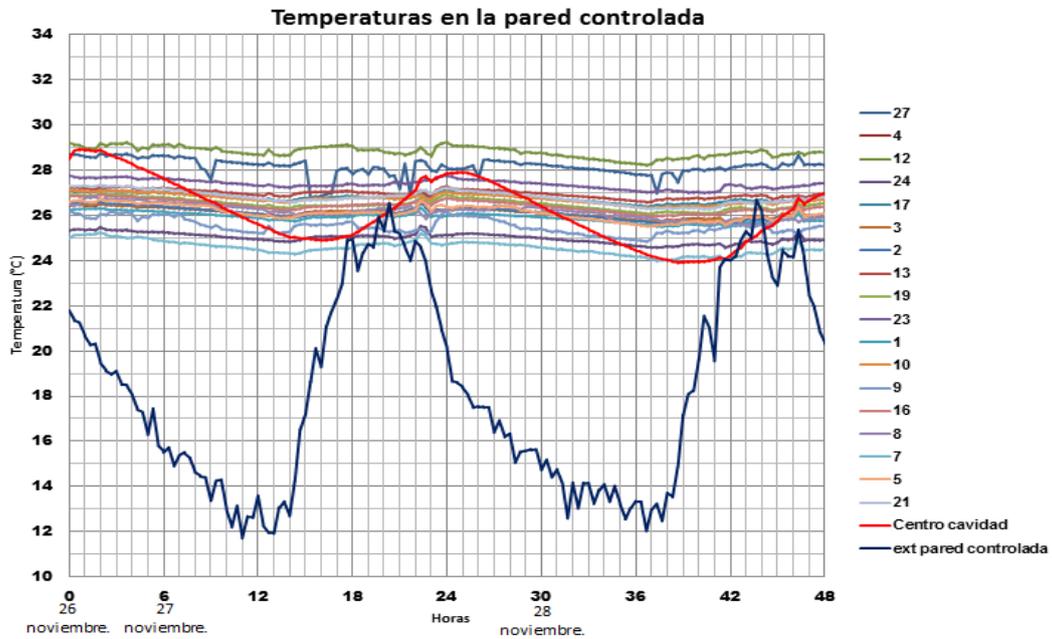


Figura 4.21. Gráfica de temperaturas en el intercambiador completo, con recirculación de agua

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de las temperaturas de agua, en la toma que es la cisterna, en los tubos de alimentación y en la descarga del intercambiador de calor.

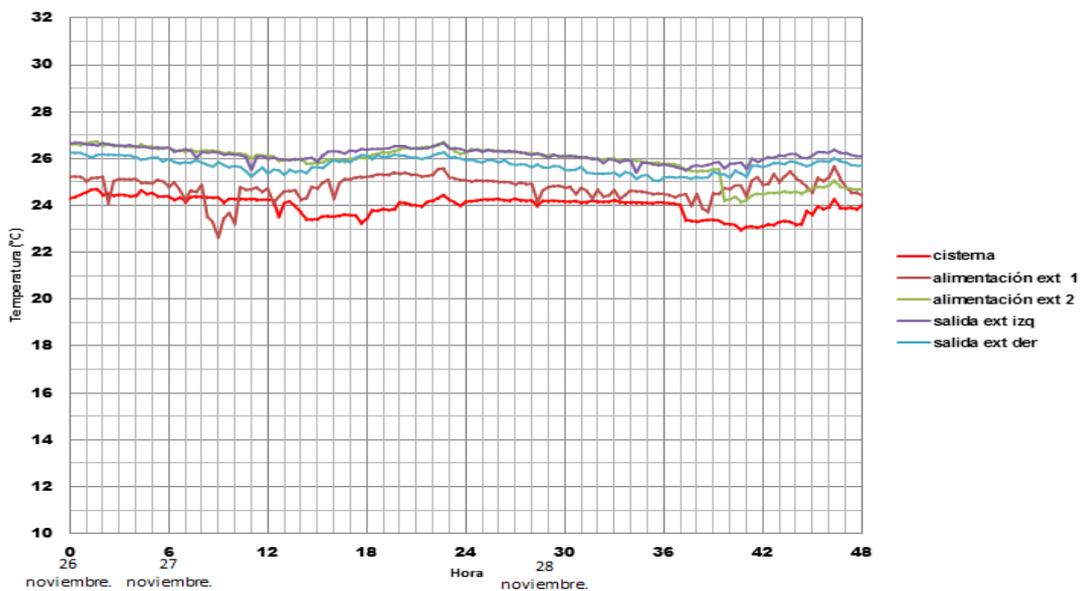


Figura 4.22. Gráfica de temperaturas en la cisterna, alimentación y descarga

En la gráfica se puede observar que las temperaturas de alimentación son menores que la descarga, debido a que el agua que está en circulación absorbe el calor que se está almacenando en la caseta y al mismo tiempo mantiene con una banda de temperatura de 4°C.

4.5 Estudio térmico 3

Se registraron también los datos de temperatura en el intercambiador de calor sin recirculación de agua. Este experimento se realizó del día 28 al 30 de noviembre de 2014.

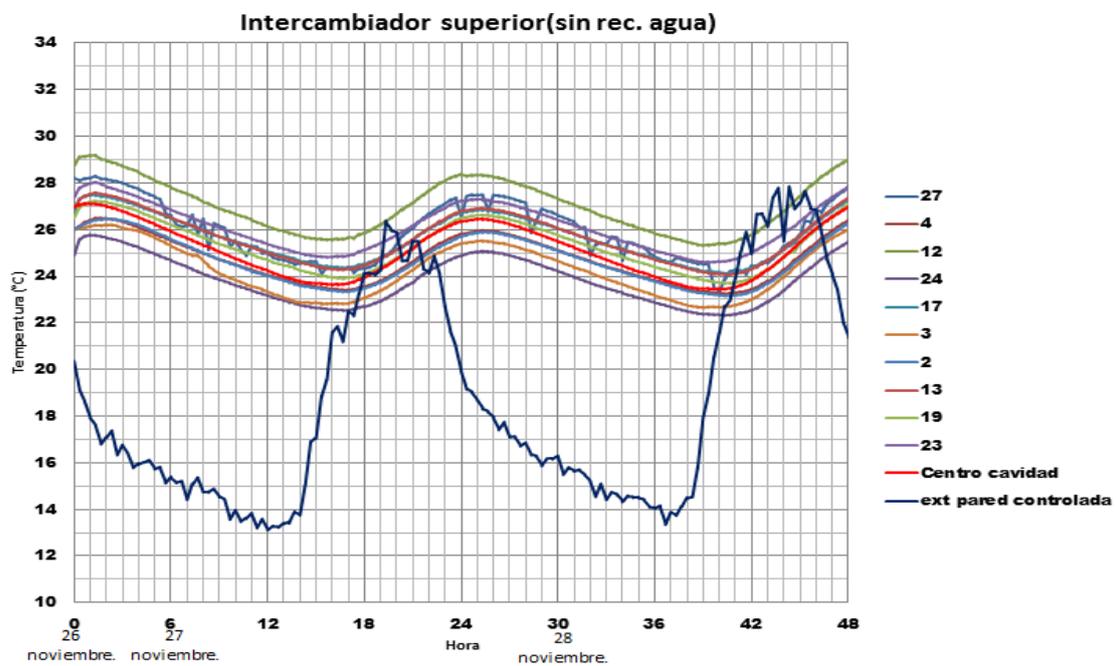


Figura 4.23. Gráfica de temperaturas en el intercambiador superior sin recirculación de agua

Este experimento se realizó después de que se cumplieran los dos días de medición con recirculación de agua en el intercambiador de calor. Para ello fue necesario apagar la bomba de alimentación.

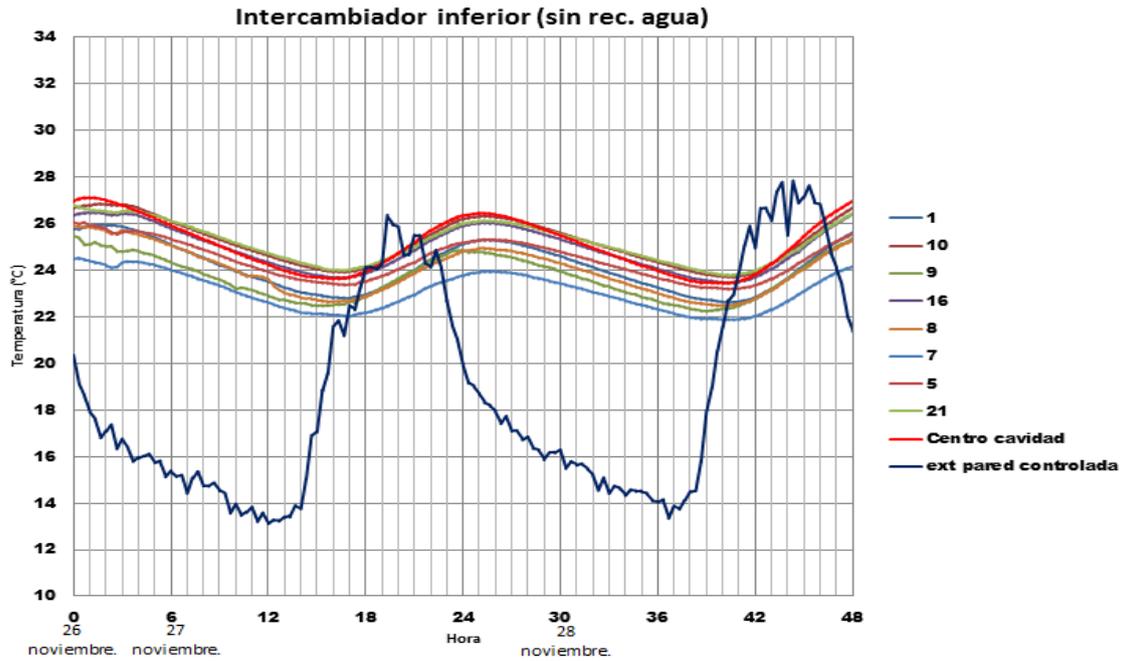


Figura 4.24. Gráfica de temperaturas en el intercambiador inferior sin recirculación de agua

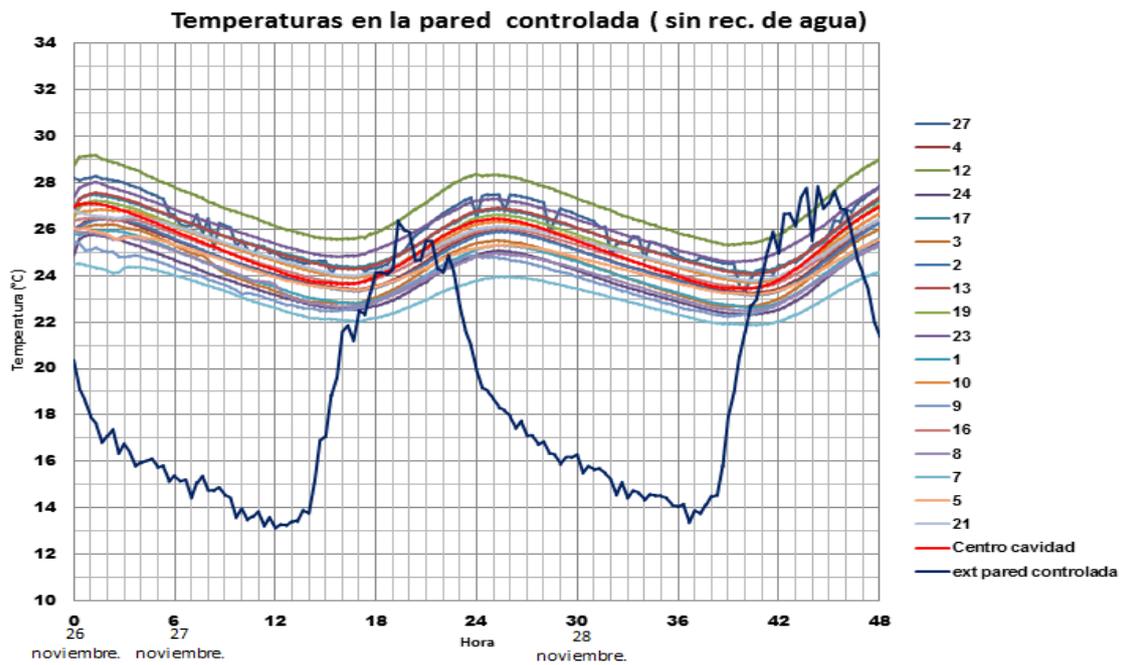


Figura 4.25. Gráfica de temperaturas en el intercambiador completo, sin recirculación de agua

En estas gráficas se observa que se mantiene la una banda de temperatura de 4 °C. Sin embargo, en este caso se tiene un comportamiento oscilatorio lo cual no es deseable para el estudio del fenómeno físico bajo estudio que es la convección natural del aire en el interior (tesis doctoral).

5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El proyecto que se realizó ha contribuido de manera muy importante para identificar y resaltar los flujos de calor que se presentan en las paredes piso y techo de la caseta de pruebas, ya que en base a estos estudios se pueden proponer mejoras en los sistemas de climatización pasiva.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo las mayores pérdidas de calor se dan en las paredes y techo de una casa. Es por ello la importancia de poder realizar estos estudios y tener un panorama más amplio del comportamiento de ciertos fenómenos térmicos, como por ejemplo la conducción de calor en las paredes.

Para la realización de estos estudios se hizo uso de la instrumentación con la que la caseta está equipada y poder obtener gráficas de temperaturas. Esto es necesario para calcular los flujos de calor de un día completo. La colocación de termopares fue realizada en puntos estratégicos para analizar las temperaturas en esta zona.

Se obtuvieron las gráficas de temperaturas y estas mostraron que en las paredes de esta se almacena calor debido al efecto de la misma pared, también de que existe un retardo en los flujos de calor por las capas de aislantes de poliestireno extruido que las paredes tienen por la parte exterior.

Se analizaron también las gráficas de los flujos de calor en cada pared, donde se puede observar que las más altas se obtuvieron en la pared sur (pared de estudio) que no tiene ninguna capa de aislante, caso contrario a las demás paredes, piso y techo.

En las gráficas de la pared norte interior se puede observar que la circulación de agua ayuda a uniformizar la temperatura con una diferencia de 4°C. Mientras que en el centro de la caseta y en la superficie exterior de dicha pared

se encuentran oscilando por condiciones del medio ambiente. Cuando se deja circular agua en los intercambiadores de calor el comportamiento de las temperaturas mantiene la misma tendencia que en el centro de la caseta.

Recomendaciones

Se debe de cuidar más los espacios que se puedan llegar a tener entre aislantes y muro, ya que es por dónde se generan puentes térmicos y afectan a las mediciones de temperaturas.

En los estudios se determinó que es en techo donde se tienen más incidencia de los rayos solares y por lo tanto, más flujos de calor que en las demás paredes con aislantes. Se debe cuidar la colocación de los aislantes en el techo para reducir dicho flujo de calor.

Se deben de incluir también los factores de la radiación solar así como también los colores de cada pared y/o aislantes, esto con el propósito de considerar más variables posibles y que el experimento sea más completo.

Colocar termopares entre las capas de aislantes y muros para tener un mejor análisis en temperaturas y flujos de calor en cada pared.

Referencias bibliográficas

Athienitis, A. K., y Santamouris, M. (2002). *Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings*. London, UK: James & James.

ETICS (External thermal insulation composite systems with rendering) Sistema de aislamiento térmico por el exterior. MAPEI, PAREX, PROPAMSA,...

Flores J. (2014). *Convección natural turbulenta en una caseta con condición de temperatura oscilatoria en la pared calentada por el sol y determinación del cambio de dirección de la celda*. Tesis doctoral en desarrollo. Informe de Resultados. Cenidet.

Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética. BASF, afelma, anape,...

Juárez, I. (2008). *Estudio Teórico de la Convección Natural en la Caseta Giratoria para Estudios Térmicos de Viviendas, CAGETEV*. Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería Mecánica, Cenidet.

Morales, J. M. (2005). *Diseño de la caseta*. Informe Doctoral de Proyecto de Investigación I. Documento de Seminario Pre-doctoral, Programa de doctorado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Cenidet.

Morales, J. M. (2012). *Análisis Numérico Experimental del Comportamiento Térmico del aire en una Caseta con una Pared Calentada Periódicamente por el sol*. Informe de Resultados. Programa de doctorado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Cenidet.

Palacios, J. L. (2012). *La Casa Ecológica: como construirla*. México, D.F.: Editorial Trillas, S.A. de C.V.

Pineda, A. V. (2005). *Diseño e implementación de un sistema de enfriamiento (pared fría) para una caseta térmica*. Integración de alumnos a la investigación y desarrollo tecnológico.

Rateike, E. (2010). *Calculo del flujo de calor por conducción a traves de las paredes de la caseta CAGETEV*. Reporte final de residencia profesional, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Reyes, V. A. (2009). *Diseño y Modelación Térmica de un Sistema Pasivo de Climatización Solar de Viviendas*. Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería Mecánica, Cenidet.

Sámano, D. A., y Sen M. (2009). *Apuntes de Mecánica de fluidos*.

Vale, B., y Vale, R. (2001). *La Casa Autosuficiente*. Madrid, España: Tursen / Hermann Blume.

Yunus, A., y Afshin J. (2001/2007). *Transferencia de Calor y Masa* (4^a ed.). México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V.

Anexo

Cálculo de las resistencias térmicas totales de cada pared.

Pared Este

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m*°C)	Área (m ²)
1	Poliestireno extruido	0.025	0.0288	6.0648
2,4	Mortero	0.01	0.58	4.0558
3	Tabique	0.13	0.725	4.0558

Tabla A1. Propiedades de los materiales en la pared Este

En el esquema se puede observar que tiene 2 puertas:

	Resistencia térmica (°C/W)
Puerta 1	0.049
Puerta 2	0.7919

Tabla A2. Resistencias térmicas de las puertas

Que se incluyen en la ecuación de la ley de Fourier en forma paralela a las paredes utilizando la analogía eléctrica.

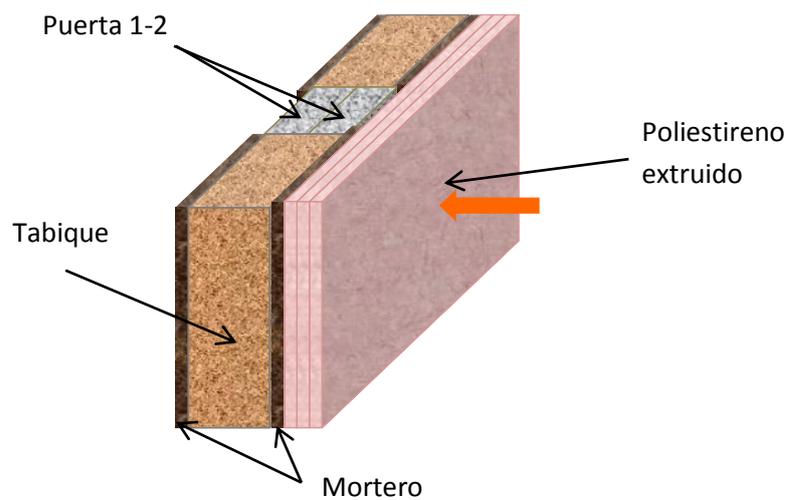


Figura A1. Esquema de la pared Este

Entonces para el cálculo de la resistencia térmica total de la pared este, se usó el software *Engineering Equation Solver, EES*, quedando de la siguiente manera:

EES Formatted Equations

Pared Este

Espesor

$\Delta x_1 = 0.025$ [m] Poliestireno extruido

$\Delta x_2 = 0.01$ [m] Mortero

$\Delta x_3 = 0.13$ [m] Tabique

$\Delta x_4 = 0.01$ [m] Mortero

Conductividad Termica

$k_1 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_2 = 0.58$ [W/m**C]

$k_3 = 0.725$ [W/m**C]

$k_4 = 0.58$ [W/m**C]

Areas

$A_1 = 2.009$ [m²] Puerta Compuesta-1-2

$A_2 = 4.0558$ [m²]

$A = 6.0648$ [m²]

$R_{T,P1} = 0.049$ [C/W]

$R_{T,P2} = 0.7919$ [C/W]

$$R_T = 3 \cdot \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + \left[\frac{1}{\frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A_2} + \frac{\Delta x_4}{k_4 \cdot A_2}} + \frac{1}{R_{T,P1} + R_{T,P2}} \right]^{-1}$$

EES Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 6.065$ [m²]

$A_1 = 2.009$ [m²]

$A_2 = 4.056$ [m²]

$\Delta x_1 = 0.025$ [m]

$\Delta x_2 = 0.01$ [m]

$\Delta x_3 = 0.13$ [m]

$\Delta x_4 = 0.01$ [m]

$k_1 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_2 = 0.58$ [W/m**C]

$k_3 = 0.725$ [W/m**C]

$k_4 = 0.58$ [W/m**C]

$R_T = 0.479$ [C/W]

$R_{T,P1} = 0.049$ [C/W]

$R_{T,P2} = 0.7919$ [C/W]

Pared Oeste

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m**C)
1	Lana de vidrio	0.04	0.04
2	Poliestireno extruido	0.025	0.0288
3,5	Mortero	0.01	0.58
4	Tabique	0.13	0.725

Tabla A3. Propiedades de los materiales en la pared Oeste

En esta sección de pares las áreas son: 6.0684 m².

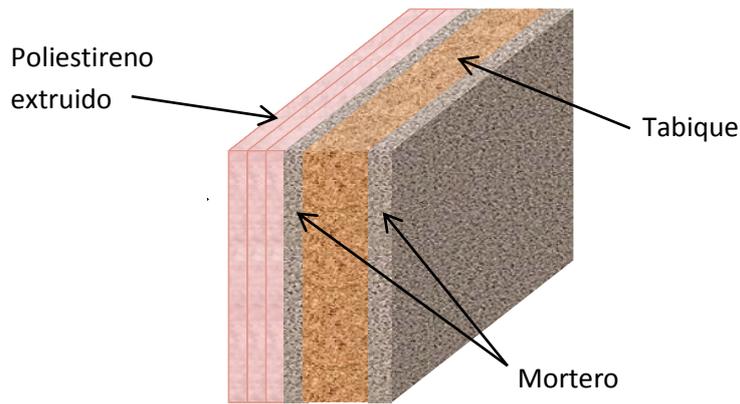


Figura A2. Esquema de la pared Oeste

Formatted Equations

Pared Oeste

Espesor

$\Delta x_1 = 0.04$ [m] Lana de vidrio

$\Delta x_2 = 0.025$ [m] Poliestireno extruido

$\Delta x_3 = 0.01$ [m] Mortero

$\Delta x_4 = 0.13$ [m] Tabique

$\Delta x_5 = 0.01$ [m] Mortero

Conductividad Termica

$k_1 = 0.04$ [W/m**C]

$k_2 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_3 = 0.58$ [W/m**C]

$k_4 = 0.725$ [W/m**C]

$k_5 = 0.58$ [W/m**C]

Area

$A = 6.0648$ [m²]

$$R_T = \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + 3 \cdot \frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A} + \frac{\Delta x_4}{k_4 \cdot A} + \frac{\Delta x_5}{k_5 \cdot A}$$

Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 6.065$ [m²]

$\Delta x_1 = 0.04$ [m]

$\Delta x_2 = 0.025$ [m]

$\Delta x_3 = 0.01$ [m]

$\Delta x_4 = 0.13$ [m]

$\Delta x_5 = 0.01$ [m]

$k_1 = 0.04$ [W/m**C]

$k_2 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_3 = 0.58$ [W/m**C]

$k_4 = 0.725$ [W/m**C]

$k_5 = 0.58$ [W/m**C]

$R_T = 0.6295$ [°C/W]

Pared Norte

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m**C)
1	Poliestireno extruido	0.025	0.0288
2,4	Mortero	0.01	0.58
3	Tabique	0.13	0.725
5	Madera	0.0125	0.14
6	Polietireno extruido	0.0125	0.0288
7	Aluminio	0.003	160

Tabla A4. Propiedades de los materiales en la pared Norte

En el punto número 6 y 7, se tiene dentro de la pared un intercambiador de calor. Para evitar puentes térmicos, está aislado con poliestireno extruido y secciones en la separación de los tubos de cobre. La madera también sirve para sostener una placa de aluminio. De ahí que se toma la mitad del espesor del poliestireno y de la madera, con sus respectivas conductividades térmicas.

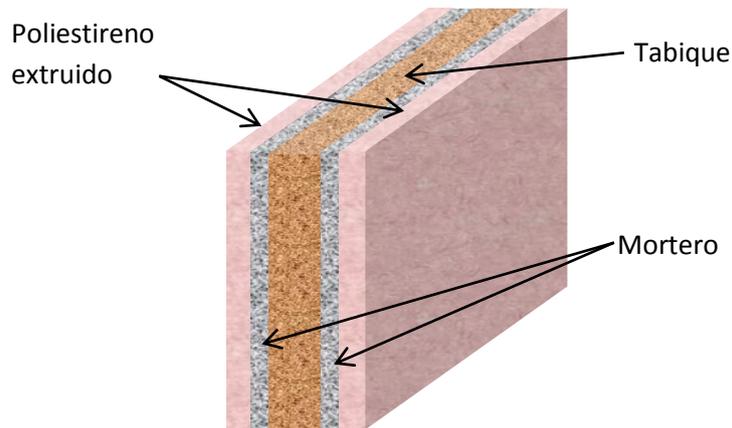


Figura A3. Esquema de la pared Norte

Formatted Equations

Pared Norte

Espesor

$\Delta x_1 = 0.025$ [m] Poliestireno extruido

$\Delta x_2 = 0.01$ [m] Mortero

$\Delta x_3 = 0.13$ [m] Tabique

$\Delta x_4 = 0.01$ [m] Mortero

$\Delta x_5 = 0.0125$ [m] Madera

$\Delta x_6 = 0.0125$ [m] Poliestireno extruido

$\Delta x_7 = 0.003$ [m] aluminio

Conductividad Termica

$k_1 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_2 = 0.58$ [W/m**C]

$k_3 = 0.725$ [W/m**C]

$k_4 = 0.58$ [W/m**C]

$k_5 = 0.14$ [W/m**C]

$k_6 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_7 = 160$ [W/m**C]

Area

$A = 6.1788$ [m²]

$$R_T = \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A} + \frac{\Delta x_4}{k_4 \cdot A} + \frac{\Delta x_5}{k_5 \cdot A} + \frac{\Delta x_6}{k_6 \cdot A} + \frac{\Delta x_7}{k_7 \cdot A}$$

Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 6.179$ [m²]

$\Delta x_1 = 0.025$ [m]

$\Delta x_2 = 0.01$ [m]

$\Delta x_3 = 0.13$ [m]

$\Delta x_4 = 0.01$ [m]

$\Delta x_5 = 0.0125$ [m]

$\Delta x_6 = 0.0125$ [m]

$\Delta x_7 = 0.003$ [m]

$k_1 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_2 = 0.58$ [W/m**C]

$k_3 = 0.725$ [W/m**C]

$k_4 = 0.58$ [W/m**C]

$k_5 = 0.14$ [W/m**C]

$k_6 = 0.0288$ [W/m**C]

$k_7 = 160$ [W/m**C]

$R_T = 0.2598$ [C/W]

Pared Sur

Esta configuración de pared es la que se encontraba de prueba, por tal razón no tiene ningún tipo de aislamiento.

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m*°C)
1,3	Mortero	0.01	0.58
2	Tabique	0.13	0.725

Tabla A5. Propiedades de los materiales en la pared Sur

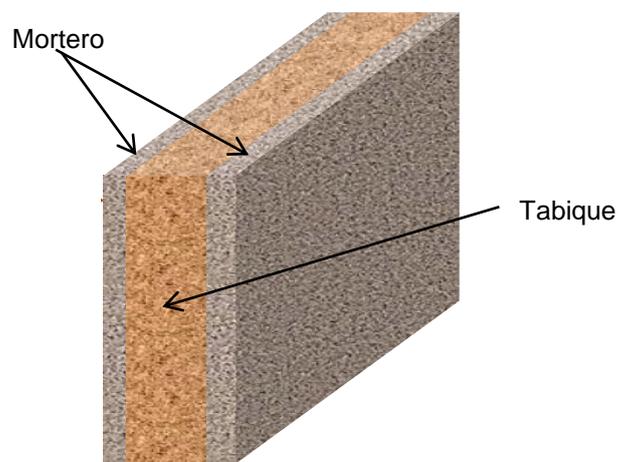


Figura A4. Esquema de la pared Sur

Formatted Equations

Pared Sur

Espesor

$\Delta x_1 = 0.01$ [m] Mortero

$\Delta x_2 = 0.13$ [m] Tabique

$\Delta x_3 = 0.01$ [m] Mortero

Conductividad termica

$k_1 = 0.58$ [W/m*°C]

$k_2 = 0.725$ [W/m*°C]

$k_3 = 0.58$ [W/m*°C]

Area

$A = 6.1788$ [m²]

$$R_T = \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A}$$

Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 6.179$ [m²]

$\Delta x_1 = 0.01$ [m]

$\Delta x_2 = 0.13$ [m]

$\Delta x_3 = 0.01$ [m]

$k_1 = 0.58$ [W/m*°C]

$k_2 = 0.725$ [W/m*°C]

$k_3 = 0.58$ [W/m*°C]

$R_T = 0.0346$ [°C/W]

Piso

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m°C)
1	Poliestireno extruido	0.025	0.0288
2	Lamina de acero	0.0015189	54
3	Base compuesta de acero-cemento	0.1	3.226
4	Concreto	0.08	1.33

Tabla A6. Propiedades de los materiales del Piso

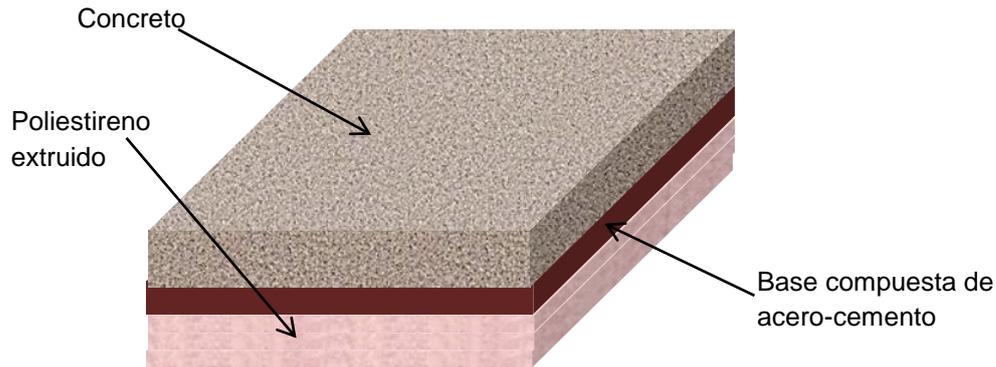


Figura A5. Esquema del Piso

Formatted Equations

Piso

Espesor

$\Delta x_1 = 0.025 \text{ [m]}$ Poliestireno extruido

$\Delta x_2 = 0.0015189 \text{ [m]}$ Lamina de acero

$\Delta x_3 = 0.1 \text{ [m]}$ Base compuesta de acero-cemento

$\Delta x_4 = 0.08 \text{ [m]}$ Concreto

Conductividad termica

$k_1 = 0.0288 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

$k_2 = 54 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

$k_3 = 3.226 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

$k_4 = 1.33 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

Área

$A = 7.2086 \text{ [m}^2\text{]}$

$$R_T = 3 \cdot \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A} + \frac{\Delta x_4}{k_4 \cdot A}$$

Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 7.209 \text{ [m}^2\text{]}$ $\Delta x_1 = 0.025 \text{ [m]}$

$\Delta x_2 = 1.5189\text{E-}03 \text{ [m]}$ $\Delta x_3 = 0.1 \text{ [m]}$

$\Delta x_4 = 0.08 \text{ [m]}$ $k_1 = 0.0288 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

$k_2 = 54 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ $k_3 = 3.226 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$

$k_4 = 1.33 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ $R_T = 0.3739 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$

Techo

	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m ^{°C})
1	Lana de vidrio	0.04	0.04
2	Poliestireno extruido	0.025	0.0288
3	Concreto armado	0.1	1.33
4	Bovedilla	0.2	0.47
5	Mortero	0.01	0.58

Tabla A7. Propiedades de los materiales del Techo

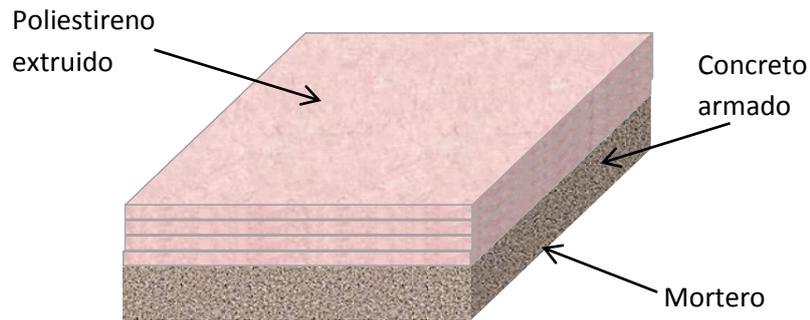


Figura A6. Esquema del Techo

Formatted Equations

Techo

Espesor

$\Delta x_1 = 0.04$ [m] Lana de vidrio

$\Delta x_2 = 0.025$ [m] Poliestireno extruido

$\Delta x_3 = 0.1$ [m] Concreto armado

$\Delta x_4 = 0.2$ [m] Bovedilla

$\Delta x_5 = 0.01$ [m] Mortero

Conductividad termica

$k_1 = 0.04$ [W/m^{°C}]

$k_2 = 0.0288$ [W/m^{°C}]

$k_3 = 1.33$ [W/m^{°C}]

$k_4 = 0.47$ [W/m^{°C}]

$k_5 = 0.58$ [W/m^{°C}]

Área

$A = 7.2086$ [m²]

$$R_T = \frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A} + 4 \cdot \frac{\Delta x_2}{k_2 \cdot A} + \frac{\Delta x_3}{k_3 \cdot A} + \frac{\Delta x_4}{k_4 \cdot A} + \frac{\Delta x_5}{k_5 \cdot A}$$

Solution

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 7.209$ [m²]

$\Delta x_1 = 0.04$ [m]

$\Delta x_2 = 0.025$ [m]

$\Delta x_3 = 0.1$ [m]

$\Delta x_4 = 0.2$ [m]

$\Delta x_5 = 0.01$ [m]

$k_1 = 0.04$ [W/m^{°C}]

$k_2 = 0.0288$ [W/m^{°C}]

$k_3 = 1.33$ [W/m^{°C}]

$k_4 = 0.47$ [W/m^{°C}]

$k_5 = 0.58$ [W/m^{°C}]

$R_T = 0.6923$ [°C/M]