



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**INERCI A TÉRMICA: INFLUENCIA DE LA MASA DE MUROS
EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS
SOCIALES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MARCIAL ANDRÉS SALA VERRY RAMÍREZ

**PROFESOR GUÍA:
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA.**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE.
DAVID CAMPUSANO BROWN.**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2008**

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIÓN
POR : MARCIAL ANDRES SALAVERRY RAMÍREZ.
FECHA : 01/10/2008
PROFESOR GUÍA : MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA.**

**“INERCIA TÉRMICA: INFLUENCIA DE LA MASA DE MUROS, EN EL
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS SOCIALES.”**

El estudio realizado consistió en la evaluación del comportamiento térmico de viviendas, considerando el concepto de inercia térmica.

Esto se llevó a cabo bajo dos puntos de vista, uno experimental y otro teórico basado en modelos computacionales 3D.

El trabajo experimental se realizó en una caseta de albañilería de 9 m² donde se evaluaron tres indicadores, el FRO o factor de reducción de la onda térmica, que mide el porcentaje de la amplitud de la onda exterior que se reduce al atravesar la envolvente, el FDT o factor de disminución de la temperatura, que corresponde a la razón entre la temperatura máxima interior y la temperatura máxima exterior y el desfase, que se entiende como la diferencia temporal entre las máximas temperaturas exterior e interior. Estos tres indicadores se compararon considerando tres parámetros fundamentales: radiación solar, masa interior y ventilación. De este análisis es importante mencionar que la incorporación de masa al interior de la caseta de prueba contribuye satisfactoriamente al amortiguamiento y a la reducción de las temperaturas máximas, pero éste comportamiento mejora aún más cuando se le permite a esta masa enfriarse durante las horas de baja temperatura y para ello la ventilación nocturna forzada mostró los mejores resultados.

Para el desarrollo teórico, se modelaron distintos tipos de viviendas de prueba, viviendas con muros de albañilería, prefabricados y mixtos (albañilería aislada, en un caso por la cara interior y en el otro por la exterior). Los modelos se evaluaron respecto de sus demandas energéticas anuales en cuatro distintas ciudades de Chile: Antofagasta, Santiago, Concepción y Punta Arenas. De las cuales el caso crítico se produjo en Santiago, ya que fue en ella donde se registraron las mayores demandas anuales y la única con demanda de refrigeración para todos los modelos analizados. Para ésta condición precordillerana, resultó el modelo de masa con aislación exterior aquel con menor demanda de calefacción y refrigeración. Respecto de los modelos de albañilería y prefabricado, el primero tuvo un mejor comportamiento durante los meses de verano y el segundo durante los meses de invierno.

Es importante mencionar, a modo de conclusión, que la mejor forma de distribuir la masa al interior de la vivienda es contigua al muro perimetral y cubriendo la totalidad de su superficie interior, y por tanto, considerar un muro de material pesado con aislación exterior, responde exactamente a esa idea. Este trabajo respalda tal concepto y confirma la importancia de considerar este efecto de inercia en el diseño de viviendas en zonas de altas oscilaciones térmicas. Junto con lo anterior, además se evidencia la factibilidad técnica y económica de utilizar de mejor forma concepto de inercia térmica a posteriori, es decir, en viviendas de material pesado ya construidas, implementando sistemas de aislación exterior.

INDICE GENERAL SECCIÓN EXPERIMENTAL.

SIMBOLOGÍA.	7
<i>CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.</i>	9
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	9
1.2 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....	9
<i>CAPÍTULO II : OBJETIVOS.</i>	10
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	10
<i>CAPÍTULO III : MARCO TEÓRICO.</i>	11
3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	11
3.1.1 CONDUCCIÓN.	11
3.1.2 CONVECCIÓN.....	12
3.1.3 RADIACIÓN.....	14
3.2 CONDICION DE INVIERNO.	16
3.3 CONDICIÓN DE VERANO.....	17
3.4 DEFINICIÓN DE INERCIA TÉRMICA.....	18
3.4.1 CONCECUENCIAS DE LA INERCIA TERMICA.....	18
3.5 PARÁMETROS CONTROLANTES.....	22
3.5.1 RESISTENCIA TÉRMICA.....	23
3.5.2 DIFUSIVIDAD TÉRMICA (a).....	23
3.5.3 EFUSIVIDAD TÉRMIC (b).	24
3.6 LEGISLACIÓN EN CHILE Y CONSECUENCIAS.	25
<i>CAPÍTULO IV : TRABAJO EXPERIMENTAL.</i>	27
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS A REALIZAR.	28
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CASETA DE PRUEBA.....	28
4.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	28
4.2.2 PLANOS.....	32
4.2.3 CASETA TERMINADA.....	33
4.3 ENSAYOS A REALIZADOS.....	33
4.4 SENSORES.....	36
4.5 VALIDACIÓN DE DATOS DEL SENSOR SUMERGIDO.....	37
4.6 TRATAMIENTO DE LOS DATOS.	38
4.7 RESULTADOS OBTENIDOS.	57
4.8 GRÁFICOS DE RESULTADOS.	65
4.9 COMPORTAMIENTO EN EL RANGO DE CONFORT.	74
<i>CAPÍTULO V : CONCLUSIONES EXPERIMENTALES.</i>	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS SECCIÓN EXPERIMENTAL.

Grafico 4: Datos del sensor sumergido v/s datos tomados con termómetro.	38
Grafico 5: Registro sensor Interior Inferior del 15/02/08.....	42
Grafico 6: Registro sensor Interior Superior del 15/02/08.....	42
Grafico 7: Registro sensor Exterior del 15/02/08.....	43
Grafico 8: Registro sensor Interior Sumergido del 15/02/08.....	43
Grafico 9: Registro sensor Interior Inferior del 27/03/08.....	50
Grafico 10: Registro sensor Interior Superior del 27/03/08.....	51
Grafico 11: Registro sensor Exterior del 27/03/08.....	51
Grafico 12: Registro sensor Sumergido del 27/03/08.....	52
Grafico 13: Temperaturas Medias. Izquierda Interior v/s Derecha Exterior.....	65
Grafico 14: Diferencia entre temperaturas medias.....	66
Grafico 15: FRO obtenido para cada ensayo.....	67
Grafico 16: FDT obtenido para cada ensayo.....	68
Grafico 17: Desfases medios y máximos obtenidos para cada ensayo.....	69
Grafico 18: Temperaturas extremas Interiores v/s Exteriores.....	70
Grafico 19: Amplitudes Interiores y Exteriores para cada ensayo.....	71

ÍNDICE DE TABLAS SECCIÓN EXPERIMENTAL

Tabla 1: Conductividades típicas de algunos materiales de construcción.....	12
Tabla 2: Valores para coeficientes de película.....	13
Tabla 3: Emisividades Típicas de algunos materiales de construcción.....	15
Tabla 4: Desfases y factores f de amortiguamiento, para materiales típicos.....	22
Tabla 5: Valores de Difusividad para algunos materiales de construcción.....	24
Tabla 6: Valores de Efusividad para materiales de construcción.....	25
Tabla 7: Rango cualitativos para parámetros térmicos.....	25
Tabla 8: Valores de U máximos y de Rt mínimos, según la OGUC.....	26
Tabla 9: Porcentaje máximo de superficie vidriada por zona.....	26
Tabla 10: Resistencias superficiales.....	27
Tabla 11: Dosificación hormigón de Fundación.....	28
Tabla 12: Dosificación hormigón de Sobrecimiento.....	29
Tabla 13: Dosificación hormigón de Radier.....	29
Tabla 14: Dosificación hormigón de Cadenas.....	30
Tabla 15: Valores absolutos promedio de diferencia entre datos Logger y datos Manuales.....	38
Tabla 16: Resultados obtenidos para ensayo I.....	57
Tabla 17: Resultados obtenidos para ensayo II.....	57
Tabla 21: Resultados obtenidos para ensayo VI.....	61
Tabla 22: Resultados obtenidos para ensayo VII.....	61
Tabla 23: Resultados obtenidos para ensayo VIII.....	62
Tabla 24: Resultados obtenidos para ensayo IX.....	62
Tabla 27: Resumen de Temperaturas Medias.....	65
Tabla 28: Diferencia entre temperaturas medias.....	66
Tabla 29: FRO obtenido para cada ensayo.....	67
Tabla 30: FDT obtenido para cada ensayo.....	68
Tabla 31: Desfases medios y máximos obtenidos para cada ensayo.....	69
Tabla 32: Resumen de temperaturas extremas y amplitudes.....	70

Tabla 33: Variación de temperatura del aire debido a la presencia de tambores con agua.....	72
---	----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS SECCIÓN EXPERIMENTAL

Fotografía 1: Estructura de Techumbre colocada.....	31
Fotografía 2: Aislación térmica de cielo colocada.	31
Fotografía 3: Elevación lateral con tapa de Ventana.....	33
Fotografía 4: Elevación lateral sin tapa de Ventana.	33
Fotografía 5: Elevación frontal.....	33
Fotografía 6: Elevación trasera y Estación Meteorológica.....	33
Fotografía 7: Sensor exterior en estación meteorológica.....	33
Fotografía 8: Sensores Interiores.....	36
Fotografía 9: Sensor a sumergir.	37
Fotografía 10: Sensor Sumergido.....	37

ÍNDICE DE ECUACIONES SECCIÓN EXPERIMENTAL

Ecuación 1: Conducción a través de un material.....	11
Ecuación 2: Calor conducido a través de un material de espesor e.....	11
Ecuación 3: Conductividad K y Resistencia térmica R, de un material de espesor e.	11
Ecuación 4: Calor transferido por convección.	12
Ecuación 5: Emisividad v/s Reflectancia y Transmisividad.	15
Ecuación 6: Emisión de un cuerpo relativa a la del Cuerpo Negro.....	15
Ecuación 7: Radiación del Cuerpo Negro.	15
Ecuación 8: Radiación total de un cuerpo de emisividad ϵ	15
Ecuación 9: Factor de reducción de la onda.	19
Ecuación 10: FRO (factor de reducción de la onda) ideal para Santiago.....	20
Ecuación 11: Factor de Disminución de la Temperatura.	20
Ecuación 12: FDT ideal para Santiago.	21
Ecuación 15: Resistencia térmica total (R_T).	23
Ecuación 16: Flujo de calor total cedido en régimen permanente.....	23
Ecuación 17: Difusividad.	24
Ecuación 18: Efusividad.....	25

ÍNDICE GENERAL SECCIÓN TEÓRICA 3D

CAPÍTULO VI : MODELO TEÓRICO 3D.	83
6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO.	83
6.2 SOFTWARE Y REGISTROS CLIMÁTICOS UTILIZADOS.	83
6.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CASSETAS TEÓRICAS.	84
6.3.1 CASETA SEGÚN LEGISLACIÓN (OGUC artículo 4.1.10).	85
6.3.2 CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD.	85
6.3.3 CASETA AISLANTE.	86
6.3.4 CASETA EFUSIVA	86
6.3.5 CASETA MIXTA INTERIOR.	86
6.3.6 CASETA MIXTA EXTERIOR.	86
6.4 RESULTADOS OBTENIDOS.	86
6.5 ANÁLISIS EXCLUSIVO PARA SANTIAGO.	92
6.6 SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.	107
CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES MODELAMIENTO 3D.	109
CAPÍTULO VIII : IMPLICANCIAS EN LA INGENIERÍA.	111
CAPÍTULO X : ANEXOS.	114
9.1 ANEXO 1: MACRO DE DATOS. 114	

ÍNDICE DE GRÁFICOS SECCIÓN TEÓRICA 3D.

Grafico 1: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Antofagasta.	88
Grafico 2: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Santiago.	89
Grafico 3: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Concepción.	90
Grafico 4: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Pta. Arenas.	91
Grafico 5: Demanda mensual en calefacción.	105
Grafico 6: Demanda mensual en refrigeración.	105

ÍNDICE DE TABLAS SECCIÓN TEÓRICA 3D.

Tabla 1: Resistencias mínimas para cada elemento de la envolvente.	85
Tabla 2: Resistencias superficiales para cada elemento [m ² K/W].....	85
Tabla 3: Espesores necesarios de aislapol en muros y cielo, para cumplir con la OGUC.	85
Tabla 4: Demanda anual de las casetas en Antofagasta.	88
Tabla 5: Demanda anual de las casetas en Santiago.....	89
Tabla 6: Demanda anual de las casetas en Concepción.....	90
Tabla 7: Demanda anual de las casetas en Pta. Arenas.	91
Tabla 8: Demandas Anuales casetas Albañilería Standard y Masiva.....	92
Tabla 9: Demandas Anuales casetas Aislante y Mixta Interior.....	93
Tabla 10: Demandas Anuales caseta Mixta Exterior.....	93
Tabla 11: Parámetros de Rendimiento y Valor del kwh de electricidad.	94
Tabla 12: Costos Anuales por consumo en casetas Albañilería Standard y Masiva.	95
Tabla 13: Costos Anuales por consumo en casetas Aislante y Mixta Interior.	95
Tabla 14: Costos Anuales por consumo en caseta Mixta Exterior.	96
Tabla 15: Ahorro por metro cuadrado debido a la aislación exterior.....	97
Tabla 16: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Masiva.	98
Tabla 17: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Aislante.	98
Tabla 18: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Mixta Interior.....	99
Tabla 19: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Mixta Exterior.....	99
Tabla 20: Ahorros porcentuales anuales. Albañilería Standard v/s Otras.	101
Tabla 21: Ahorros por cambio de caseta Mixta Interior a Mixta Exterior.	103
Tabla 22: Ahorro total anual.....	104
Tabla 23: Análisis de costo solución constructiva.....	107
Tabla 24: Análisis del estuco.....	107
Tabla 25: Análisis del sistema de fijación.....	107

SIMBOLOGÍA.

Se presentan a continuación, símbolos de uso recurrente:

λ	: Conductividad de un material [$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$]
ρ	: Resistencia térmica de un material [$\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
R	: Resistencia térmica de un elemento [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
K	: Conductividad de una unidad de superficie de envolvente [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
k	: Conductividad de una envolvente [W/C]
h	: Coeficiente de transferencia de calor por convección o de película de aire [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
k_T	: Conductividad total de la envolvente [W/C]
U	: Transmitancia térmica de la envolvente [W/C]
α	: Coeficiente de absorción o absorbitividad, valor adimensional []
ϕ	: Flujo de calor [W]
δ	: Desfase entre peacks de onda [hrs]
ψ	: Densidad de flujo de calor [W/m^2]
ψ_c	: Densidad de flujo de calor (por conducción) [W/m^2]
C	: Calor específico [$\text{kJ}/\text{m}^3\text{C}$]
ρ	: Densidad [kg/m^3]
S	: Superficie interior de envolvente [m^2]
I	: Superficie de muros interiores [m^2]
a	: Difusividad [m^2/s]
b	: Efusividad [$\text{J} / \text{m}^2\text{C}\cdot\text{s}^{1/2}$]
P_i	: Potencia media interior [kW]
P_{cv}	: Potencia media de captación por partes vidriadas [kW]
P_{co}	: Potencia media de captación por superficies opacas [kW]
q	: Caudal de ventilación [m^3/hr]
FRO	: Factor de reducción de la onda, valor adimensional []
FDT	: Factor de disminución de la Temperatura, valor adimensional []
T_i	: Temperatura interior [$^{\circ}\text{C}$]
T_{imax}	: Temperatura interior máxima [$^{\circ}\text{C}$]
T_{imin}	: Temperatura interior mínima [$^{\circ}\text{C}$]
T_{im}	: Temperatura interior media [$^{\circ}\text{C}$]
A_i	: Amplitud de temperatura interior en torno a T_{im} [$^{\circ}\text{C}$]
A_{isup}	: Amplitud interior superior situada más arriba de T_{im} [$^{\circ}\text{C}$]
A_{iinf}	: Amplitud interior superior situada más bajo T_{im} [$^{\circ}\text{C}$]
A_{pe}	: Amplitud de temperatura de pared exterior [$^{\circ}\text{C}$]
T_e	: Temperatura exterior [$^{\circ}\text{C}$]
T_{em}	: Temperatura exterior media [$^{\circ}\text{C}$]
A_e	: Amplitud exterior de temperatura interior en torno a T_{em} [$^{\circ}\text{C}$]
A_{esup}	: Amplitud exterior superior situada más arriba de T_{em} [$^{\circ}\text{C}$]
A_{einf}	: Amplitud exterior superior situada más bajo T_{em} [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_m	: Variación de temperaturas medias entre interior y exterior [$^{\circ}\text{C}$]
T_{conb}	: Temperatura de confort mas baja [$^{\circ}\text{C}$]
T_{conh}	: Temperatura de confort mas alta [$^{\circ}\text{C}$]

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.

La presente memoria, corresponde a un trabajo experimental que pretende estudiar el comportamiento de una vivienda tipo de albañilería sin aislación, y observar su comportamiento en condición de verano, analizar el comportamiento de materiales efusivos, como es la albañilería de la envolvente y otros dispuestos en el interior de una caseta de prueba. En el análisis posterior se considerarán solo las temperaturas interiores y exteriores, dejando de lado por ejemplo, a la humedad relativa.

1.2 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.

Primeramente, es importante mencionar, que una vivienda no es otra cosa que una estructura utilizada por las personas que la habitan, para resguardarse de cualquier factor externo que los haga sentir incómodos. Los problemas que afectan el nivel de confort habitacional son diversos, estos pueden ser, problemas térmicos, acústicos, de humedades, etc.

La tendencia ingenieril actual, apunta a generar viviendas simples, con pocas complejidades arquitectónicas y de bajo costo, en la mayoría de los casos las decisiones constructivas se toman en función de dos factores fundamentales: costo y desempeño estructural. En ambos casos el objetivo es lograr elementos mínimos, mínimo costo, mínimas dimensiones, mínimo peso, etc. En todos los casos la consecuencia es un problema grave de confort habitacional, se generan con esta lógica, paradójicamente “Habitaciones poco habitables”. Cuando se logran, como muchas veces en Chile, sobre todo en viviendas sociales, estructuras de mínimo costo, la consecuencia directa es un alto costo de mantención, que en términos térmicos, se traduce en un elevado gasto en calefacción durante el invierno y elevados gastos en refrigeración durante el verano, o sea, casas altamente ineficientes en lo que a consumo energético se refiere. Cuando se habla de viviendas sociales, se puede asumir que los presupuestos familiares son muy limitados, y por lo tanto éstos no son capaces de hacer el gasto energético que éstas viviendas demandan, luego el problema no se soluciona aumentando el gasto, sino produciendo un elevado grado de incomodidad o discomfort.

En vista de esta problemática, se ha intentado generar en Chile una normativa térmica que obligue a diseñar habitaciones con menores problemas de habitabilidad. Con respecto a esta normativa, cabe mencionar dos aspectos importantes. El primero de ellos es que solo considera viviendas en condición de invierno, condición que será detallada mas adelante en esta memoria. Y como segundo aspecto hay que decir que la norma es altamente permisiva en este aspecto, imponiendo valores de aislación más bien bajos. De cualquier forma se debe reconocer que la sola existencia de la norma es un avance a nivel nacional, pero insuficiente, teniendo un valor más bien político que práctico.

CAPÍTULO II : OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Aportar al diseño de viviendas, incorporando el concepto de confort térmico en condición de verano. Para ello estudiaremos los materiales y la disposición de las barreras físicas que definen el espacio interior para así reducir el consumo energético para un estándar de habitabilidad.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- a)** Investigar y analizar la importancia que tiene la masa de una estructura de vivienda para su autorregulación térmica, es decir, como afecta la inercia térmica de los materiales de construcción al confort habitacional.
- b)** Medir el efecto de inercia térmica para una caseta tipo, con cerramiento de albañilería, con y sin masa en su interior.
- c)** Medir el desfase temporal entre peaks y calcular los factores de reducción asociados, con los datos anteriormente tomados.
- d)** Analizar computacionalmente el comportamiento anual de seis casetas en cuatro distintas ciudades del país.
- e)** Estudiar los distintos comportamientos relativos a la colocación de aislación interior o exterior, observando en particular, las posibles reducciones en la demanda energética y las diferencias en el comportamiento de la condensación interna del muro.

CAPÍTULO III : MARCO TEÓRICO.

3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR.

En términos muy básicos, el calor es una onda electromagnética de baja frecuencia y es necesario entender que esta onda no se manifiesta en un aumento de temperatura sino hasta que es absorbido por una cierta materia.

3.1.1 CONDUCCIÓN.

La conducción es un mecanismo de transferencia de calor, que se produce dentro de un sólido por el contacto directo entre sus partículas, este flujo de calor intenta igualar las temperaturas dentro de éste.

Ecuación 1: Conducción a través de un material.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

Ésta ecuación representa la cantidad de calor Q en dirección x, que atraviesa la sección A, a través de un material de conductividad térmica λ , en función de una variación espacial de la temperatura a lo largo de la dirección x.

A partir de la expresión teórica anterior podemos escribir una expresión integrada, más simple.

Ecuación 2: Calor conducido a través de un material de espesor e.

$$\phi = \frac{\lambda}{e} \cdot \Delta T \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Es claro que el calor conducido a través de un material es proporcional a la diferencia de temperaturas ΔT , ahora y a partir de lo anterior es necesario definir los términos inversos conductividad y resistencia térmica.

Ecuación 3: Conductividad K y Resistencia térmica R, de un material de espesor e.

$$K = \frac{\lambda}{e} = \frac{1}{R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Para, en lo sucesivo, poder calcular estos coeficientes, será necesario conocer los valores de conductividad de diferentes materiales de construcción.

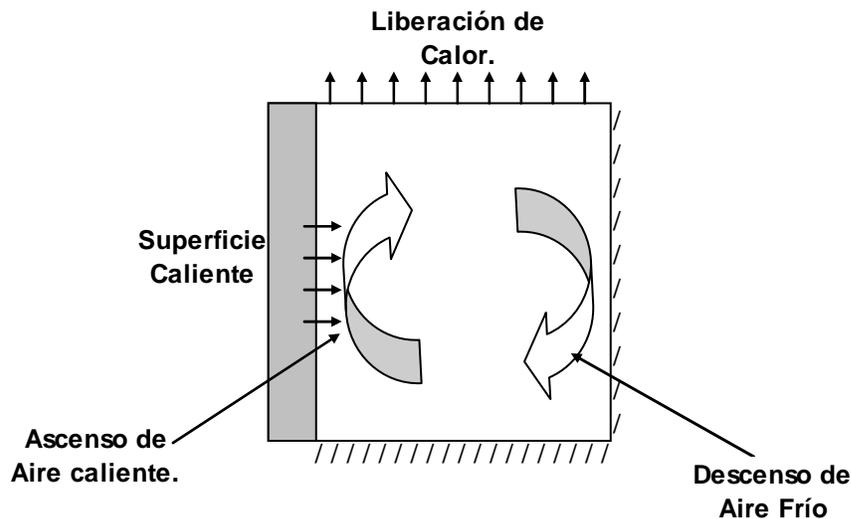
Tabla 1: Conductividades típicas de algunos materiales de construcción.¹

Material	λ [w/m°C]	Material	λ [w/m°C]
Hormigón	1,63	Madera (OSB)	0,23
Ladrillo	0,46	Lana mineral	0,042
Yeso-cartón	0,26	Poliestireno exp.	0,043
Madera (Pino)	0,104	Vidrio	1,2

3.1.2 CONVECCIÓN.

La convección, es una de las formas de transferencia de calor que se produce únicamente vía sustancias fluidas. Dichas sustancias al calentarse disminuyen su densidad, ascendiendo y llevando así el calor hacia zonas más frías donde este calor es liberado haciendo que el fluido vuelva a bajar generando con esto, la circulación convectiva típica.

Ilustración 1: Esquema Convección Natural.



Ecuación 4: Calor transferido por convección.

$$\phi = h \cdot A_s \cdot \Delta T \quad [W]$$

La ecuación anterior, muestra el flujo de calor que se transfiere entre una superficie y un fluido cualquiera, donde h corresponde al coeficiente de convección o de película, que es proporcional a la agitación del fluido transportador de calor, a través de un área superficial A_s , para una diferencia de temperatura ΔT .

El proceso de convección puede ser natural, si es que la circulación de fluido se produce por la expansión que éste experimenta al captar el calor de la superficie; o bien forzada, si la

¹ Tabla obtenida de la NCh 853.

circulación es inducida por algún efecto externo como un ventilador o agitador, en cuyo caso puede mejorar o entorpecer la transferencia de calor, según sea el caso.

Tabla 2: Valores para coeficientes de película.²

	h [W / m ² °C]		
	Convección Natural	Convección Forzada	Cambio de Fase
Gases	2-25	25-250	2.500-100.000
Líquidos	50-10.000	50-20.000	

En Chile, la recomendación según la NCh 853 of 91, corresponde al valor de resistencia térmica superficial a considerar en ambas caras de los elementos de la envolvente, estas resistencias corresponden a los inversos de los coeficientes convectivos.

$$R_{si} = 0.12 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] = \frac{1}{h_i} \Rightarrow h_i = 8.33 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$R_{se} = 0.05 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] = \frac{1}{h_e} \Rightarrow h_e = 20 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

En ambos casos los valores recomendados por la NCh 853 of 91, están dentro del rango típico de convección natural en gases, aire en el caso que se pretende analizar.

² Tesis: “Análisis de la capa límite térmica sobre una placa horizontal en convección natural”, Jorge López Santiago, Universidad de las Américas Puebla, México, 2003.

3.1.3 RADIACIÓN.

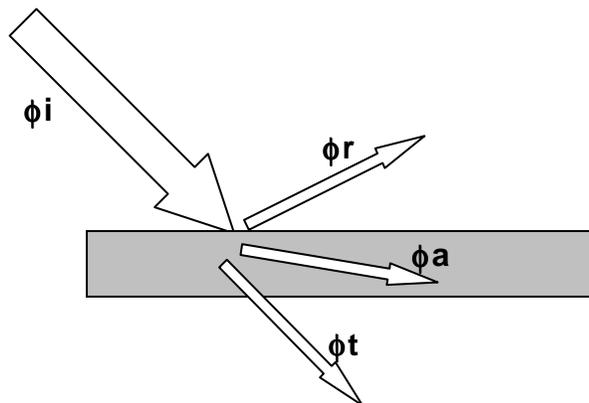
El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. En particular para el caso que se analiza en esta memoria entenderemos radiación como la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas generadas por un cuerpo que se encuentra a una temperatura mayor a los 0 K.

Los distintos materiales presentan distintas propiedades ante esta llamada radiación, entre ellas se encuentran la capacidad de absorción del material a la radiación incidente (a), la capacidad de transmisión (t) y la capacidad de reflexión (r). Ahora bien, estas características, propias de cada material, varían según el tipo de radiación que incida sobre ellos, es decir varían según la frecuencia de la onda incidente.

Por ejemplo, si un cuerpo metálico se calienta a bajas temperaturas, se puede sentir simplemente con las manos una emisión de calor, esto corresponde a una emisión de baja frecuencia o infrarrojo. Si a continuación se sigue aumentando la temperatura se observa que el cuerpo comienza a cambiar de un color anaranjado a un amarillo fuerte, esto se debe a que el cuerpo ya ha comenzado a emitir ondas en el rango visible del espectro. A temperaturas aun más altas podemos ver que las llamas de ciertos gases son más bien azules, representando un paso más hacia el violeta. En el caso más extremo se tiene al sol, que con una temperatura de 6000 K, es capaz de emitir altísimas frecuencias llegando al ultravioleta.

Cuando una onda cualquiera incide sobre una superficie, esta se descompone en una fracción reflejada, según el coeficiente de reflectividad del material receptor de la onda; otra fracción absorbida, según su coeficiente de absorbencia y otra porción transmitida a través del material según su coeficiente de transmisividad, esta descomposición de onda incidente se retrata en siguiente figura.

Ilustración 2: Descomposición de la radiación incidente sobre un material cualquiera.



A partir de esto, es claro observar que $1 = r + a + t$, si además se considera que para una misma longitud de onda, la capacidad de emisión en un cuerpo es igual a su capacidad absorbente, tenemos que $a = \epsilon$, entonces se puede escribir:

Ecuación 5: Emisividad v/s Reflectancia y Transmisividad.

$$\varepsilon = 1 - r - t$$

El esquema anterior, tiene relación con el comportamiento a la radiación que tiene un cuerpo receptor de ésta.

Ahora, lo siguiente a tratar es lo relativo a un cuerpo emisor de radiación, y para esto se partirá definiendo a un cuerpo negro.

Cuerpo negro: Es aquel que absorbe totalmente la radiación incidente sobre él. Esto quiere decir que $a = 1$, y por lo tanto, $\varepsilon = 1$.

Según Kirchhoff, la emisión de un cuerpo cualquiera, corresponde a una fracción de la emisión de un cuerpo negro (H_o), y esa fracción corresponde a su emisividad, por lo tanto:

Ecuación 6: Emisión de un cuerpo relativa a la del Cuerpo Negro.

$$H = \varepsilon \cdot H_o$$

Y por otra parte conocemos la ley de Stefan-Boltzmann, que estima la radiación del cuerpo negro como una constante por su temperatura a la cuarta.

Ecuación 7: Radiación del Cuerpo Negro.

$$H_o = \sigma \cdot T^4 \quad \text{Donde} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

Por lo tanto se puede escribir la ecuación final de radiación en un cuerpo como:

Ecuación 8: Radiación total de un cuerpo de emisividad ε .

$$H = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Tabla 3: Emisividades Típicas de algunos materiales de construcción.

Material	Emisividad ε
Ladrillo	0,85
Hormigón	0,8 - 0,9
Acero galvanizado	0,23
Vidrio	0,8
Madera	0,91
Latón oxidado	0,6
Hierro oxidado	0,74

3.2 CONDICION DE INVIERNO.

El rango de confort de una persona es relativamente reducido y va entre los 18 y los 23 °C, luego se puede asumir que durante la condición de invierno, la temperatura de una vivienda será relativamente constante e igual a unos 20 °C, además en Santiago, la oscilación térmica, es relativamente baja, 11,3 °C⁴ de diferencia entre la mínima y la máxima diaria.

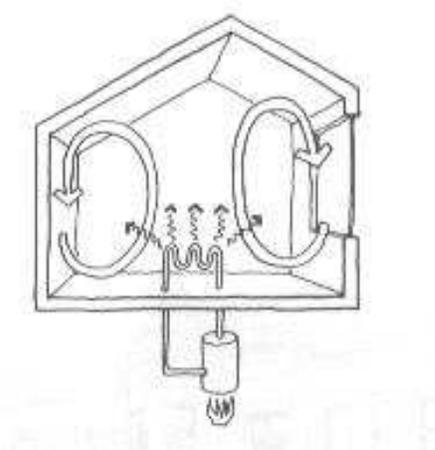


Ilustración 3: Esquema condición de Invierno.³

El aumento de la temperatura interior de las viviendas se produce principalmente por flujos de aire caliente, es decir, por convección, y por las características de este mecanismo, la temperatura de los elementos afectados por estas corrientes tal como muros o cualquier otro, no pueden ser nunca más altas que la temperatura de la corriente misma que los calienta, por tanto, en el caso particular de una vivienda se tiene que un muro no puede superar nunca la temperatura ambiental interior, por la naturaleza convectiva de la transferencia durante esta condición.

En esta condición hay que tener presente dos efectos:

- La temperatura exterior es menor que la interior, por lo que el flujo de calor va desde el interior hacia el exterior.
- La oscilación térmica es baja, por lo que el muro se mueve siempre en estados cercanos al equilibrio, y alcanza estos estados estacionarios con relativa rapidez.

Cuando se dice que un elemento ha alcanzado su temperatura de equilibrio, quiere decir que éste logró una temperatura que hace que las pérdidas calóricas (radiativas y convectivas), sean iguales a las ganancias del mismo, y por lo tanto el flujo de entrada es igual al de salida y el proceso ocurre en un régimen que se llama permanente. En este estado de flujo permanente, el único parámetro relevante que determina la potencia transmitida, es la resistencia que el medio presenta a este flujo y esta resistencia queda determinada, según la Ecuación 3, por el espesor del elemento y por la conductividad térmica que tenga el material.

³ Imagen obtenida de: http://www.emagister.com/cursos-gratis/curso-gratis-arquitectura-kwes-2792_5.htm
“Conceptos y Técnicas de Arquitectura Bioclimática”.

⁴ Datos obtenido de la Norma NCh 1079 Of. 77.

3.3 CONDICIÓN DE VERANO.

Para comprender esta situación es necesario apuntar ciertas diferencias con la condición de invierno:

- La oscilación térmica diaria es elevada, $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁶ entre mínima y máxima.
- El aumento en la temperatura no se produce por convección del aire caliente exterior, sino por radiación solar, por lo tanto las temperaturas que los elementos de la envolvente pueden alcanzar, son ciertamente más elevadas que la temperatura exterior del aire.

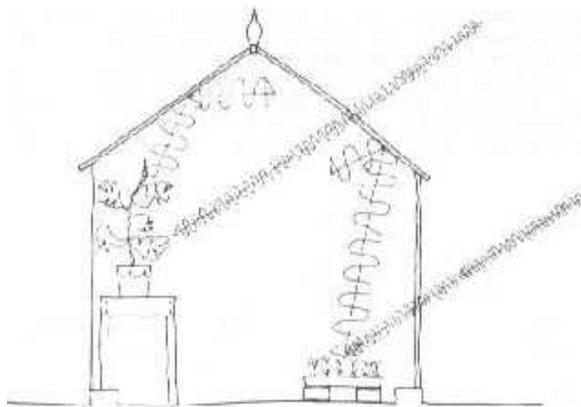


Ilustración 4: Esquema condición de verano.⁵

Como consecuencia de una elevada oscilación térmica, se tiene que los elementos expuestos a estas condiciones sufren notorias desviaciones de su estado de equilibrio, y es por esta razón que a la condición de verano, sea usual encontrarla en la bibliografía como régimen dinámico.

Y como consecuencia de la alta temperatura a la que pueden llegar los elementos sometidos a radiación solar, es que en los muros de vivienda tardan cierto tiempo en lograr nuevamente un estado de equilibrio, y como es claro notar, este tiempo es mayor si aumenta la capacidad calórica del elemento en cuestión, esto debido a que la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un elemento pesado, es mayor que para uno liviano, y es por esta razón que la masa y el calor específico, en régimen dinámico comienzan a tomar importancia. Es por esto, que en régimen dinámico, o bien, en condición de verano, la conductividad no es suficiente para describir la situación, y se consideran nuevos parámetros llamados: Efusividad y Difusividad, definidos y detallados más adelante en este trabajo.

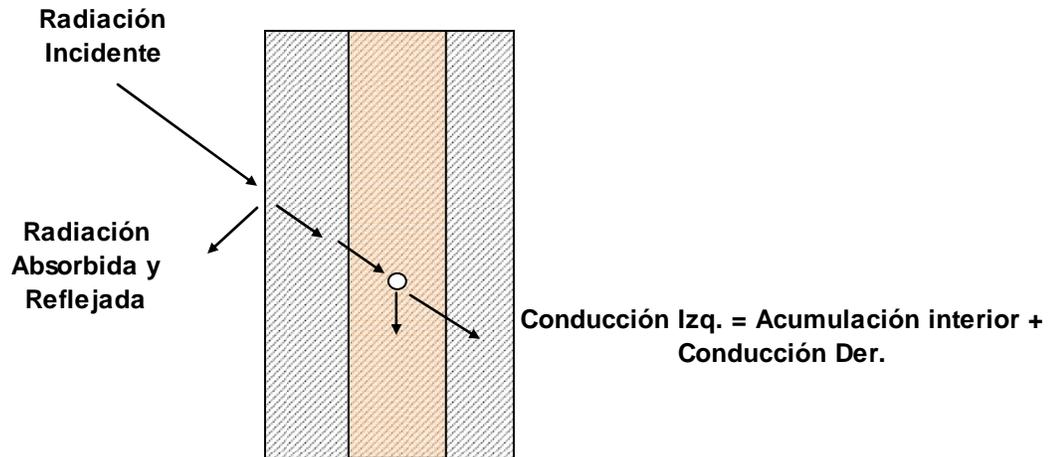
⁵ Imagen obtenida de: http://www.emagister.com/cursos-gratis/curso-gratis-arquitectura-kwes-2792_5.htm
“Conceptos y Técnicas de Arquitectura Bioclimática”.

⁶ Dato obtenido de la NCh 1079.

3.4 DEFINICIÓN DE INERCIA TÉRMICA.

Inercia se define como la dificultad de un cuerpo para cambiar el estado en que se encuentra. En particular, inercia térmica corresponde a la dificultad que presenta un cuerpo para variar su temperatura.

Ilustración 5: Balance de calor en un elemento de muro.



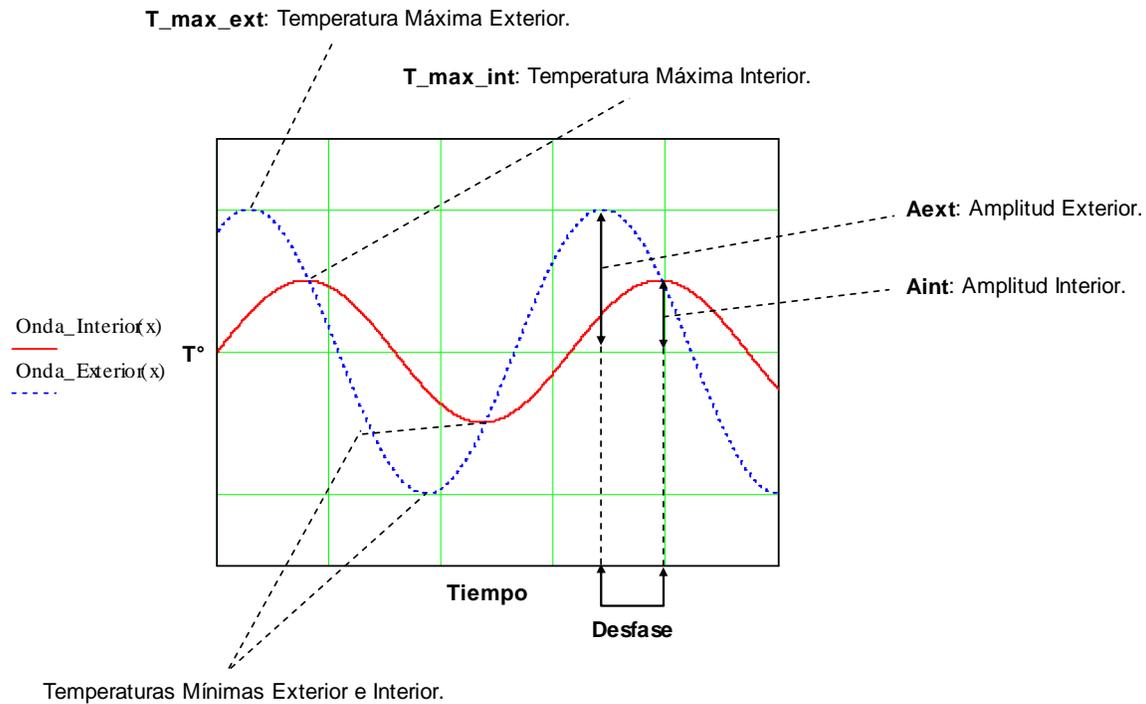
3.4.1 CONSECUENCIAS DE LA INERCIA TÉRMICA.

Las consecuencias de la inercia térmica son esencialmente dos:

- Desfase entre los peaks térmicos, ya sean máximos o mínimos.
- Amortiguamiento de la onda térmica exterior, disminuyendo la amplitud de la oscilación al interior de la vivienda.

Para que un cuerpo experimente una variación de temperatura, éste debe transferir una cantidad de calor asociada, y esta cantidad está relacionada con las características del material, con su calor específico y con su masa (balance que se detalla en la imagen anterior), por lo tanto son propiedades que afectan la inercia presentada por distintos materiales, cuyo comportamiento se detallará más adelante en este trabajo.

Grafico 1: Ondas Térmicas Exterior e Interior.



Para medir este efecto de inercia térmica, es preciso experimentalmente medir tres coeficientes que a continuación se describen.

3.4.1.1 FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA ONDA (FRO).

Este factor, es el que mide realmente el amortiguamiento de la onda, y corresponde a:

Ecuación 9: Factor de reducción de la onda.

$$FRO = 1 - f \quad \text{con} \quad f = \frac{A_{Int}}{A_{Ext}} \quad ^7$$

Donde:

Aint corresponde a la amplitud de la onda térmica interior y Aext a la amplitud de la exterior, por lo tanto f corresponde al porcentaje de la amplitud de la onda térmica exterior que se manifiesta en el interior. Luego este parámetro, FRO, representa en otras palabras, al porcentaje de la oscilación térmica exterior, que se reduce al atravesar el elemento de la envolvente hacia el interior, y por lo tanto, para valores extremos del FRO, se tiene:

- FRO = 0, para una onda interior con la misma amplitud que la onda exterior.
- FRO = 1, para una onda exterior con amplitud nula o bien una onda constante.

⁷ El factor f es recomendado por el profesor Pierre Lavigne en “Arquitectura Climática”

Como vimos en la sección de Condición de Verano, la oscilación de verano en Santiago tiene un valor de 17°C , por lo que podemos decir que durante esta época la amplitud exterior tiene un valor de:

$$A_{Ext} = \frac{17^{\circ}\text{C}}{2} = 8.5^{\circ}\text{C}$$

Y como también se definió anteriormente, el rango de confort dentro de la vivienda, va entre los 18 y los 23°C , por lo tanto, la amplitud deseable máxima interior corresponde a:

$$A_{Int} = \frac{23^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}}{2} = 2.5^{\circ}\text{C}$$

Con estos valores podemos definir un FRO deseable durante los meses de verano en Santiago.

Ecuación 10: FRO (factor de reducción de la onda) ideal para Santiago.

$$FRO = 1 - \frac{2.5^{\circ}\text{C}}{8.5^{\circ}\text{C}} = 0.71$$

Esto dice que la oscilación interior es un 30% de la exterior, por lo que la reducción de la onda en Santiago, debiera ser del orden del 70%. Esta reducción asegura tener una oscilación térmica, con una amplitud que lograría estar totalmente dentro del rango de confort. Ahora bien, para saber si esto es cierto o no, hay que considerar un segundo factor, al que se llamó Factor de Disminución de la Temperatura, FDT.

3.4.1.2 FACTOR DE DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA (FDT).

Este factor, representa la ubicación de la onda interior respecto de la exterior, y se define de la siguiente manera:

Ecuación 11: Factor de Disminución de la Temperatura.

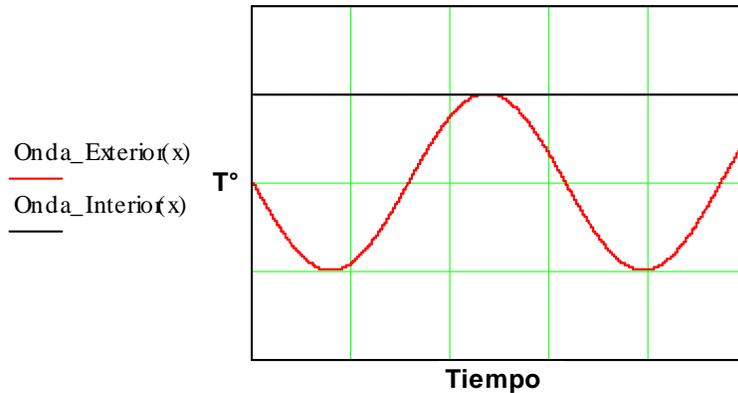
$$FDT = \frac{T_{Max_Int}}{T_{Max_Ext}}$$

Esta expresión, corresponde a la razón entre los peak interior y exterior, de donde se concluye que si el FDT es igual a 1 se tiene una onda interior, con idénticos peak a la exterior, y por lo tanto toma la zona de las altas temperaturas diarias exteriores, y por tanto el valor del FRO estaría dado por un aumento de las temperaturas mínimas. Si el valor de este parámetro es mayor a 1, se trata de una vivienda que en sus valores máximos es más caliente que el exterior.

Ejemplo:

Si se tiene un registro (exterior e interior), y al compararlos se obtiene: FRO=1 (factor de reducción de la onda = 1) y FDT=1 (factor de disminución de la temperatura). Estamos en presencia una reducción total de la onda exterior hasta una amplitud nula, o sea una constante y un FDT=1 implica idénticos peaks a la onda exterior, por lo tanto:

Gráfico 2: Onda Exterior v/s Interior con FDT=FRO=1.



Según la norma NCh 1079 Of. 77, la temperatura máxima media en Santiago durante enero es de:

$$T_{Max_Ext} = 29.2^{\circ} C$$

Y si el límite superior del rango de confort es de:

$$T_{Max_Int} = 23^{\circ} C$$

Por lo tanto podríamos estimar un FDT (factor de disminución de la temperatura) ideal, durante el verano, como sigue:

Ecuación 12: FDT ideal para Santiago.

$$FDT = \frac{23^{\circ} C}{29.2^{\circ} C} = 0.79$$

3.4.1.3 DESFASE.

El desfase corresponde al tiempo que la estructura tarda en transmitir un estímulo térmico, en términos prácticos, es la diferencia temporal que existe entre los peaks de las ondas exterior e interior, tal como se ve en el Grafico 1. Para ciertos casos este desfase es comparable entre los peaks máximos y mínimos, para otros casos, como son los de ventilación nocturna, esta comparación no tiene sentido, las razones se discutirán mas adelante.

Para tener una idea mas clara de las magnitudes de estos desfases, se utilizó un programa computacional llamado Cymap. Este programa utiliza una base de datos con los parámetros de materiales, según la normativa estado unidense, por lo que los valores pueden diferir levemente de los calculados según la normativa chilena, pero para una estimación teórica, es una buena aproximación.

Tabla 4: Desfases y factores f de amortiguamiento, para materiales típicos.⁸

Material	Espesor[cm]	Desfase [hrs]	f []	FRO
Ladrillo	14	4	0,745	0,255
Ladrillo	20	6,2	0,544	0,456
Ladrillo	25	7,9	0,403	0,597
Hormigón	14	4,3	0,678	0,322
Hormigón	20	6,2	0,489	0,511
Hormigón	25	7,8	0,366	0,634
Poliestireno Exp.	5	0,1	1	0
Poliestireno Exp.	14	1	0,987	0,013
Poliestireno Exp.	20	1,9	0,95	0,05
Poliestireno Exp.	25	2,9	0,892	0,108

3.5 PARÁMETROS CONTROLANTES.

⁸ Datos obtenidos de simulación en Cymap software.

A continuación se definen los parámetros controlantes de las transferencias de calor en régimen estático (permanente o en condición de invierno) y diámico (condición de verano).

3.5.1 RESISTENCIA TÉRMICA.

La resistencia térmica, corresponde a la dificultad que presenta un medio para el permitir el flujo de calor a través de él, y está compuesta por dos sub-resistencias, la resistencia por conducción y la resistencia convectiva.

Todo cuerpo que está sumergido en un fluido en movimiento, genera a su alrededor una capa de fluido estática, que se adhiere al sólido, cuyo espesor es inversamente proporcional a la agitación del fluido. En particular en nuestro caso, podemos hablar de un muro sumergido en aire, y por lo tanto las resistencias que se producen son:

- Resistencia convectiva, correspondiente a las dos capas límites, o capas superficiales de aire estanco, que se generan en la envolvente, por dentro y por fuera, R_{si} y R_{se} , estas resistencias fueron mencionadas en el capítulo de convección y corresponden a $1/h$.
- Resistencia conductiva, que experimenta el flujo de calor al atravesar las capas materiales que conforman el elemento. Para un cerramiento homogéneo corresponde a $R=e/\lambda$.

Por lo que la resistencia total a través de un elemento de varias capas corresponde a:

Ecuación 13: Resistencia térmica total (R_T).

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Al igual como se explicó en capítulos anteriores, esta resistencia total, corresponde al inverso de la Transmitancia total (U), que es el parámetro exigido en la normativa chilena.

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

De este factor depende el flujo total de calor a través de la envolvente en régimen permanente.

Ecuación 14: Flujo de calor total cedido en régimen permanente.

$$\phi = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [W]$$

3.5.2 DIFUSIVIDAD TÉRMICA (a).

Este parámetro se define como la capacidad de un material para transmitir una variación de temperatura.

Ecuación 15: Difusividad.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

La cantidad $\rho \cdot C$ (densidad ρ [kg/m^3] por calor específico C [$J/ kg K$]), representa la capacidad calórica volumétrica del material, nótese que no depende directamente de la masa, porque en dicho caso estaría implícitamente considerada la geometría del elemento, por ejemplo su espesor y sería representativa de un caso particular y no de un material en general.

Esta razón nos dice que un material es altamente difusivo cuando su conductividad es alta y su capacidad calórica es baja, ya sea porque su calor específico es bajo, porque su densidad es baja, o ambos.

En otras palabras, un material va a ser difusivo, cuando tenga una alta conductividad, para así propagar dentro de él eficazmente una cantidad de calor, y cuando tenga una capacidad calórica baja, que lo obligue a repartir el calor conducido en poca masa elevando así su temperatura.

En la práctica, las difusividades de los materiales no difieren significativamente, ya que suele darse que los materiales más pesados además, tienen conductividades altas, como resultado la razón se mantiene relativamente constante.

Tabla 5: Valores de Difusividad para algunos materiales de construcción.

Material	Difusividad a 10^{-7} [m^2/s]
Hormigón ordinario	5,5 - 8
Mortero	4
Hormigón celular	4
Ladrillo macizo	5 - 6
Poliestireno expandido	4 - 8
Madera	1,5 - 2,5
Fibra de madera	1,3 - 1,9

3.5.3 EFUSIVIDAD TÉRMICA (b).

Este parámetro se define como la capacidad de un material para absorber o restituir una cierta potencia térmica.

Ecuación 16: Efusividad.

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho C} \left[\frac{J}{m^2 \cdot K \cdot s^{1/2}} \right]$$

Un material tendrá alta efusividad si su conductividad y su capacidad calorífica es alta, por tanto, se refiere a un material que tiene gran capacidad para conducir a través de él una cierta cantidad de calor absorbida y una gran masa, o mas genéricamente, una gran capacidad calorífica para distribuir ese calor absorbido, aumentando mínimamente su temperatura, permitiendo así el almacenamiento de grandes cantidades de calor. Esta facilidad para absorber este flujo de calor, se manifiesta también en una facilidad para ceder este flujo.

Tabla 6: Valores de Efusividad para materiales de construcción.

Material	Efusividad b [J/m ² ·°C·s ^{1/2}]
Albañilería	2000
Maderas	350
Plásticos alveolares	30

Los valores cuantitativos de ambas propiedades se pueden resumir cualitativamente.

Tabla 7: Rango cualitativos para parámetros térmicos.

Material	Conductividad λ	Difusividad a	Efusividad b
Albañilerías.	corriente	corriente	corriente
Madera y madera aglomerada.	baja	corriente / 3	despreciable
Fibras de madera con huecos.	baja	corriente / 3	baja
Materiales aislan.	muy baja	corriente	muy baja

3.6 LEGISLACIÓN EN CHILE Y CONSECUENCIAS.

En la historia del país, referente a la construcción de viviendas y edificios, no se habían considerado exigencias térmicas. Sólo a partir del año 2000 se exigió aislación térmica en la techumbre de los edificios y en el año 2007 se complementó esta exigencia hacia los muros perimetrales. Cabe tener presente que esta exigencia es solo térmica y considera solo pérdidas y no ganancias de calor.

Es necesario mencionar también, que existe en Chile desde el año 1977 la norma Nch 1079, que aunque no es obligatoria es un documento técnico fundamental para el diseño de edificios, esta norma reúne parámetros como oscilación térmica diaria, temperaturas máximas y mínimas medias para las ciudades más representativas de cada zona térmica en la misma norma definida.

Según lo anterior, podemos ver los siguientes valores, de exigencias mínimas:

Tabla 8: Valores de U máximos y de Rt mínimos, según la OGUC.⁹

Zona	Techumbre.		Muros.		Pisos Ventilados.	
	U [W / m ² K]	Rt [m ² K / W]	U [W / m ² K]	Rt [m ² K / W]	U [W / m ² K]	Rt [m ² K / W]
1	0,84	1,19	4,00	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,00	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,90	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,70	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,60	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,10	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,60	1,67	0,32	3,13

Esta tabla detallan los valores límite de la mayoría de los elementos de la envolvente, salvo el de las ventanas. Respecto a éstas, hace la diferencia entre dos casos particulares, que son: el caso de vidrios monolíticos, y el de vidrios dobles herméticos, para cada caso y cada zona. Lo que hace la norma es limitar el porcentaje máximo de superficie vidriada respecto de los paramentos verticales de la envolvente.

Tabla 9: Porcentaje máximo de superficie vidriada por zona.

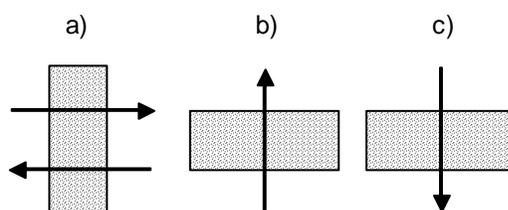
% máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente.			
Zona	Vidrio Monolítico	DVH Doble Vidrio Hermético	
		3,6 > U > 2,4	U < 2,4
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

⁹ Las tablas de valores fueron obtenidas de la OGUC art 4.1.10, páginas 9 y 11 respectivamente.

Con los valores anteriores, ya es posible calcular las resistencias asociadas a los materiales, esto considerando los valores de conductividad entregados en la Tabla 1 y en la NCh 853. Sólo falta establecer los valores de resistencias superficiales entregados por la NCh 853 Of. 91, tabla que se muestra a continuación:

Tabla 10: Resistencias superficiales.¹⁰

Resistencias Térmicas de Superficie [m ² K / W]						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor.	De separación con espacio exterior o local abierta.			De separación con otro local, desván o cámara de aire.		
	R _{si}	R _{se}	R _{si+Rse}	R _{si}	R _{se}	R _{si+Rse}
a) Flujo horizontal en elementos verticales.	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
b) Flujo ascendente en elementos horizontales.	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
c) Flujo descendente en elementos horizontales.	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34



Es necesario en esta sección hacer notar, que la intención de la norma nacional, es limitar la transmitancia máxima de cualquier elemento de la envolvente, y por tanto el supuesto que hay detrás de esto, es que las pérdidas se producen en régimen permanente, o como fue anteriormente mencionado, en condición de invierno. Con esta lógica se apunta meramente a construir con tabiquería bien aislada, ya que al dejar las exigencias límite, remitidas exclusivamente a la resistencia, se deja de lado la influencia de la masa de la envolvente y su capacidad calórica. Es precisamente este punto el que motiva la realización de esta memoria y el estudio del comportamiento de una caseta de albañilería, con material efusivo en su interior, durante condición de verano. Todo esto porque es necesario entender, que el comportamiento en condición de invierno, no necesariamente refleja de forma fiel el comportamiento anual de una vivienda en todas las zonas del país, y se presume que el comportamiento en las zonas norte, puede ser más crítico en condición de verano que en el resto de las zonas mas bien centrales o sur, donde los veranos no son tan crudos como los inviernos.

CAPÍTULO IV : TRABAJO EXPERIMENTAL.

¹⁰ Valores obtenidos de la NCh 853 Of. 91.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS A REALIZAR.

El objetivo del trabajo experimental fue ensayar una caseta de prueba, con muros de material pesado, y analizar su comportamiento en condición de verano, en distintos estados.

El material elegido para la construcción de la caseta fue albañilería.

A grandes rasgos, lo que se pretende registrar, es la onda térmica exterior e interior de la caseta para distintas condiciones que serán especificadas con posterioridad. Para estos efectos se contará con cuatro sensores “Data Logger” facilitados por el sección de habitabilidad de IDIEM.

Se dispuso: un sensor instalado en una estación meteorológica aislado de la radiación directa; dos ubicados al interior de la caseta, uno a media altura y otro a 20 cm del cielo, para evitar los errores por una distribución no uniforme de la temperatura dentro de la caseta; y un cuarto sensor sumergido dentro de tambores con agua, al interior de la caseta también, por razones que se detallan luego en el capítulo de experiencias a realizar.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CASETA DE PRUEBA.

4.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

La caseta fue construida en Santiago, comuna de Cerrillos, en el campo experimental de IDIEM.

Las especificaciones técnicas de la construcción de ésta son:

- Fundaciones:

Cimientos: Se ejecutaron fundaciones corridas de 0,40 x 0,40 m de profundidad, con hormigón de:

Tabla 11: Dosificación hormigón de Fundación.

Dosificación	1 m ³
Cemento	170 Kg
Gravilla	800 lt
Arena	450 lt

Sobrecimientos: 0,20 x 0,25 m con hormigón de:

Tabla 12: Dosificación hormigón de Sobrecimiento.

Dosificación	1 m ³
Cemento	255 Kg
Gravilla	800 lt
Arena	450 lt

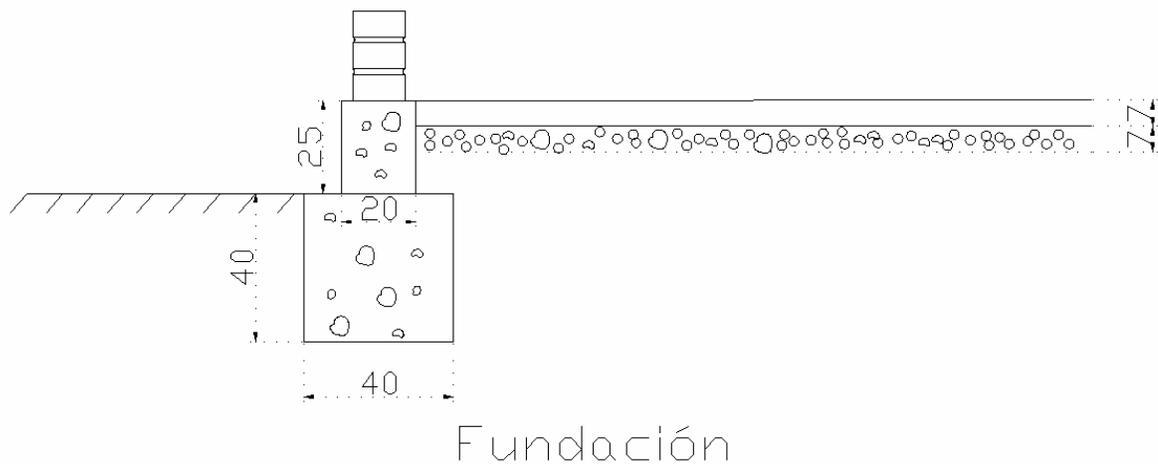
- Radier:

Al interior del recinto se puso una cama de ripio apisonado de 7 cm, y sobre ella un radier de hormigón también de 7 cm.

Tabla 13: Dosificación hormigón de Radier.

Dosificación	1 m ³
Cemento	170 Kg
Gravilla	800 lt
Arena	450 lt

Ilustración 6: Esquema de fundación y radier.



- Albañilería:

Ladrillo prensado a máquina de 29 x 14 x 7,1 cm, con cantería de 1,5 cm, con mortero de cemento y dosificación 1:4 en volumen.

Armaduras: Horizontal: Escalerillas ACMA cada dos hiladas.
Vertical: ϕ 8 @ 61 cm, es decir, cada dos ladrillos.

- Hormigón Armado:

Cadenas de 0,15 x 0,25 m, armadas con cadenas ACMA y traslapos de 60 cm.

Tabla 14: Dosificación hormigón de Cadenas.

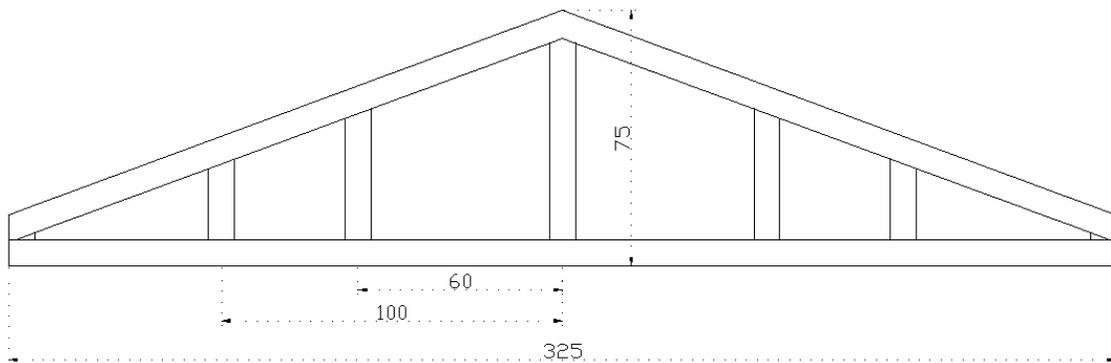
Dosificación	1 m ³
Cemento	298 Kg
Gravilla	800 lt
Arena	450 lt

- Estructura de Techumbre:

Cerchas fabricadas in situ, pino estructural seco 1" x 3", doble tijeral, colocadas cada 1,2 m, amarradas a la cadena mediante espárragos embebidos en la misma, además de contraventaciones también de pino 1" x 3".

Para cielo se usaron costaneras de pino 2x2 cada 60 cm.

Ilustración 2: Dimensiones de cercha.



Cercha

Fotografía 1: Estructura de techumbre colocada.



- Cubierta.

Planchas de acero tipo zincalum 5 V, con clavos de acero galvanizado y golillas de plomo cóncavas.

- Frontones.

Entramado de pino 2 x 2" cada 0,60 con planchas de fibrocemento de 4 mm de espesor.

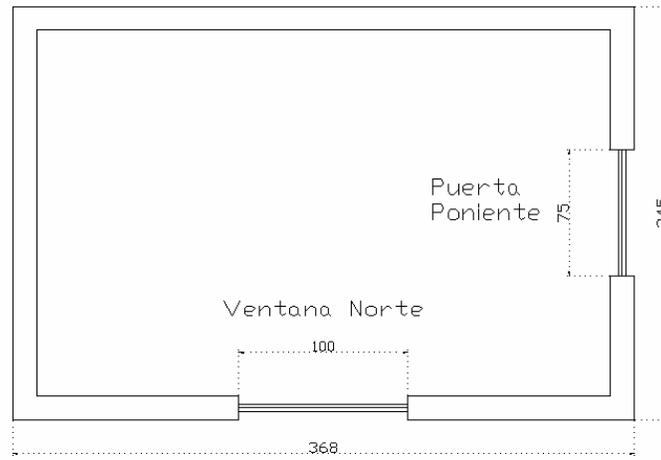
- Aislación Térmica:

Tres colchonetas de lana mineral de 50 mm, para un espesor total de 150 mm en cielo, evitando dejar puentes térmicos, y puerta aislada con 40 mm de idéntico material.

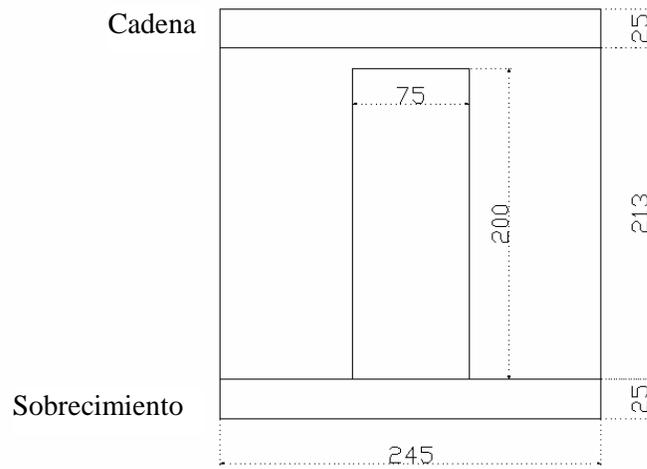
Fotografía 2: Aislación térmica de cielo colocada.



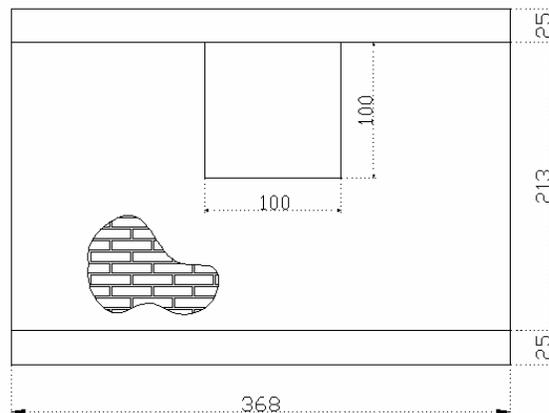
4.2.2 PLANOS.



Planta



Elevación
Frente



Elevación
Lateral

4.2.3 CASETA TERMINADA.

Fotografía 3: Elevación lateral con tapa de Ventana.



Importante notar que se fabricó una protección de ventana, con el fin de evitar el paso de radiación directa hacia el interior de la caseta, para así poder realizar ensayos con la caseta sometida a estas solicitaciones y otros donde no lo estuviera.

Fotografía 4: Elevación lateral sin tapa de Ventana.



La elevación frontal tiene orientación poniente, por lo que recibe el sol de la tarde como se ve en la fotografía 5 (Abajo).

Fotografía 5: Elevación frontal.



La estación meteorológica se emplazó en un lugar cercano a la caseta para poder registrar la temperatura exterior a ésta de manera precisa, y en una zona donde no existe posibilidad de que algún objeto extraño, como un árbol, le genere sombra.

Fotografía 6: Elevación trasera y Estación Meteorológica.

Por otro lado, la estación se orientó hacia el norte, para así direccionar el techo de ésta perpendicularmente hacia el sol de mediodía, evitando con ello la infiltración de luz no deseada dentro de la estación.



4.3 ENSAYOS A REALIZADOS.

En los ensayos que a continuación se describen se estudiaron distintos factores que influyen en el comportamiento de la caseta de albañilería en términos de su FDT (factor de disminución de la temperatura) y FRO (factor de reducción de la onda) además de su desfase, estos fueron:

- Radiación que ingresa a la caseta.

Para regular este parámetro, se estudiaron distintos casos, tapando y destapando la ventana con una protección de madera que se observa en la Fotografía 3, para así poder discriminar entre casos con aporte energético vía radiación y casos en que no se tuvo este aporte.

- Masa de alta efusividad dispuesta en interior de la caseta.

También se colocaron en la caseta distinta cantidad de tambores con agua, para así simular divisiones interiores de material pesado, aprovechando para estos efectos la alta efusividad del agua. En los casos en que se efectuaron mediciones con esta masa incorporada, se tuvo que implementar un sensor sumergido en agua, para así poder, a través del registro de su cambio de temperatura, calcular el calor absorbido por esta masa durante el día.

- Ventilación.

Para efectos de ventilación se evaluaron tres casos, que son: ventilación permanente, durante las 24 horas se mantuvo la puerta y ventana abiertas de la caseta; ventilación nocturna, donde se ventiló la caseta, manteniendo puerta y ventana abiertas entre las 20:00 hasta las 07:30 hrs; y un último caso con ventilación nocturna forzada, donde con el mismo horario anterior se incorporó un ventilador en el interior de la habitación funcionando en mínima potencia, para con esto mejorar las condiciones de ventilación y así enfriar de manera más eficiente la caseta de prueba.

A continuación se detallan las condiciones en que cada ensayo fue llevado a cabo:

I)	Fecha inicio toma de datos:	9 Enero 2008
	Fecha término toma de datos:	16 Enero 2008
	Estado de la ventana:	Tapada
	Masa efusiva adicional [Lt]:	0
	Tipo de Ventilación:	Nula ¹¹
II)	Fecha inicio toma de datos:	17 Enero 2008
	Fecha término toma de datos:	24 Enero 2008
	Estado de la ventana:	Descubierta
	Masa efusiva adicional [Lt]:	0
	Tipo de ventilación:	Nula

¹¹ Una ventilación “Nula”, se asume como aquella que se produce únicamente por las rendijas, en forma natural.

- III) Fecha inicio toma de datos: 25 Enero 2008
Fecha término toma de datos: 1 Febrero 2008
Estado de la ventana: Tapada
Masa efusiva adicional [Lt]: 325
Tipo de ventilación: Nula
- IV) Fecha inicio toma de datos: 1 Febrero 2008
Fecha término toma de datos: 8 Febrero 2008
Estado de la ventana: Tapada
Masa efusiva adicional [Lt]: 925
Tipo de ventilación: Nula
- V) Fecha inicio toma de datos: 11 Febrero 2008
Fecha término toma de datos: 18 Febrero 2008
Estado de la ventana: Descubierta
Masa efusiva adicional [Lt]: 925
Tipo de ventilación: Nula
- VI) Fecha inicio toma de datos: 18 Febrero 2008
Fecha término toma de datos: 25 Febrero 2008
Estado de la ventana: Tapada entre 7:30 y 20:00
Descubierta entre 20:00 y 7:30
Masa efusiva adicional [Lt]: 0
Tipo de ventilación: Nocturna Natural.
- VII) Fecha inicio toma de datos: 25 Febrero 2008
Fecha término toma de datos: 3 Marzo 2008
Estado de la ventana: Tapada
Masa efusiva adicional [Lt]: 0
Tipo de ventilación: Permanente¹²
- VIII) Fecha inicio toma de datos: 3 Marzo 2008
Fecha término toma de datos: 10 Marzo 2008
Estado de la ventana: Tapada entre 7:30 y 20:00
Descubierta entre 20:00 y 7:30
Masa efusiva adicional [Lt]: 0
Tipo de ventilación: Nocturna Natural.
- IX) Fecha inicio toma de datos: 18 Marzo 2008
Fecha término toma de datos: 25 Marzo 2008
Estado de la ventana: Tapada entre 7:30 y 20:00
Descubierta entre 20:00 y 7:30
Masa efusiva adicional [Lt]: 0
Tipo de ventilación: Nocturna Forzada.¹³

¹² Ventilación permanente se entiende, como puerta y ventana abierta las 24 hrs.

¹³ Nocturna forzada involucra la incorporación de un ventilador funcionando en mínima potencia durante la noche.

X)	Fecha inicio toma de datos:	25 Marzo 2008
	Fecha término toma de datos:	31 Marzo 2008
	Estado de la ventana:	Tapada entre 7:30 y 20:00
		Descubierta entre 20:00 y 7:30
	Masa efusiva adicional [Lt]:	925
	Tipo de ventilación:	Nocturna Forzada.

4.4 SENSORES.

Los instrumentos utilizados para estos ensayos fueron “Data Loggers”, con una interfaz llamada Dickson Ware.

Estos sensores son electrónicos y funcionan a pila, la capacidad de almacenamiento de datos es de 4000 celdas, cada una con los siguientes registros: Fecha, Hora, Temperatura, Humedad Relativa y un número correlativo que identifica a cada celda.

Los “loggers” pueden programarse para tomar un dato cada cierto tiempo, tiempo que llamaremos pulso o paso, y para todos los ensayos realizados el paso utilizado fue de 2,5 minutos. Dada la capacidad de almacenamiento de datos, se logró que cada “logger” registrara datos durante 6 días y 21 horas, o bien, una semana completa.

Durante los ensayos sin agua se utilizaron tres sensores, dos interiores y uno exterior, y por lo tanto cada ensayo entrega una cantidad de 12.000 celdas de datos, cosa que en los ensayos con agua, al agregar un sensor sumergido, la cantidad de datos aumenta a 16.000.

Fotografía 7: Sensor exterior en estación meteorológica.

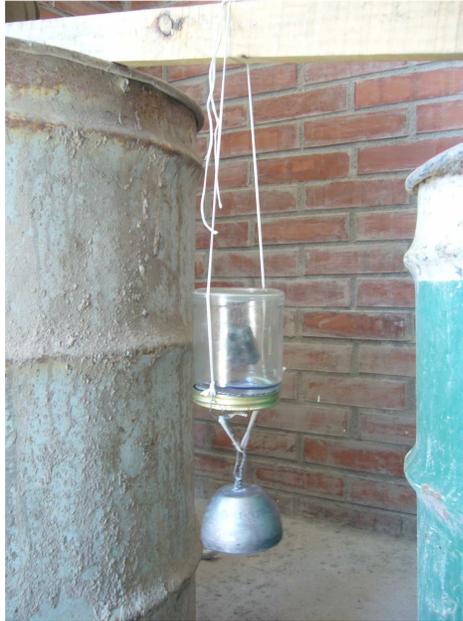


Fotografía 8: Sensores Interiores.



Como los sensores utilizados son electrónicos y hubo necesidad de sumergir uno de estos para registrar la temperatura del agua en los tambores, fue necesario protegerlo para que pudiese funcionar sin problemas. Para estos efectos se pensó en una protección de vidrio, para aprovechar el alto valor U (transmitancia) de este material. Se utilizó un frasco invertido para impedir el ingreso de agua, atado a un plomo, para que el aire dentro del frasco lo hiciese flotar, pero sujeto al fondo del tambor.

Fotografía 9: Sensor a sumergir.



Fotografía 10: Sensor Sumergido.

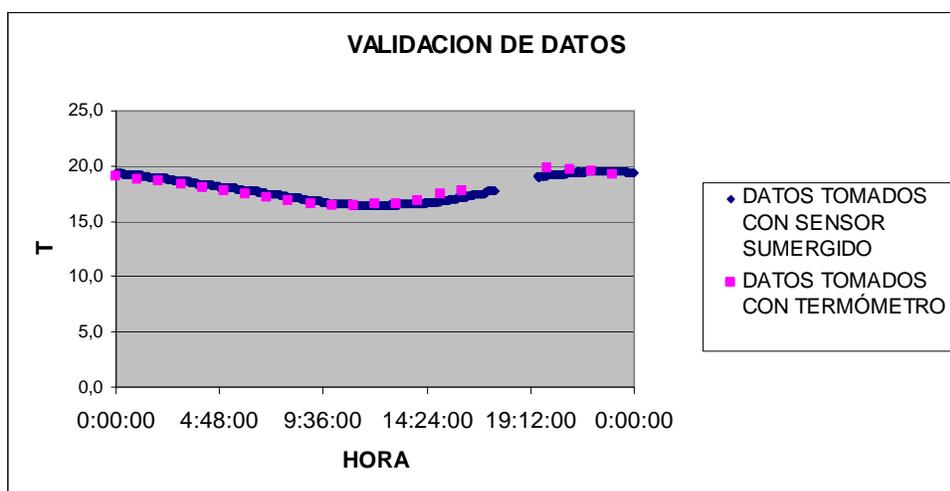


4.5 VALIDACIÓN DE DATOS DEL SENSOR SUMERGIDO.

El problema con el sensor sumergido, es que es difícil asegurar que los datos registrados por éste sean realmente los correspondientes a la temperatura real del agua en ese instante, aquí interviene la resistencia del vidrio y una capa de aire estanco que rodea al sensor que eventualmente pueden alterar la precisión de los datos. Por esta razón es que se decidió realizar un ejercicio de validación que consistió en, durante 24 hrs, sumergir el sensor en un tambor con agua, y A intervalos de una hora, medir la temperatura del agua manualmente con un termómetro patrón facilitado por IDIEM.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Grafico 3: Datos del sensor sumergido v/s datos tomados con termómetro.



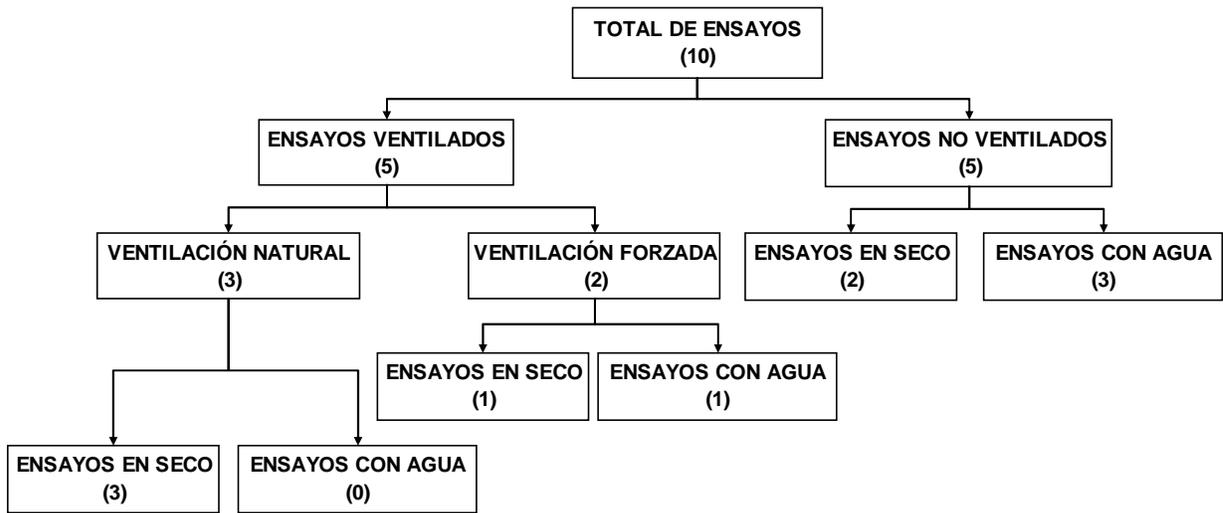
A continuación se presenta una tabla con las diferencias en valor absoluto, entre las temperaturas registradas por el “Logger” (sensor sumergido) y las registradas manualmente (termómetro patrón), con un resultado dentro del rango aceptable de error (0,35 °C), asumiendo con esto como validados los datos entregados por el sensor sumergido.

Tabla 15: Valores absolutos promedio de diferencia entre datos Logger y datos Manuales.

HORA	Δ T	HORA	Δ T
20:00:00	0,6	7:00:00	0,3
21:00:00	0,3	8:00:00	0,4
22:00:00	0,1	9:00:00	0,3
23:00:00	0,2	10:00:00	0,2
0:00:00	0,3	11:00:00	0,0
1:00:00	0,4	12:00:00	0,1
2:00:00	0,3	13:00:00	0,1
3:00:00	0,4	14:00:00	0,3
4:00:00	0,4	15:00:00	0,6
5:00:00	0,4	16:00:00	0,7
6:00:00	0,4	Dif. Promedio [°C]	0,35

4.6 TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

A grandes rasgos, podemos dividir los ensayos realizados como sigue:



ANÁLISIS CASOS NO VENTILADOS.

A) Lo primero es mencionar que los datos entregados por los “loggers” se recuperaron vía un software llamado Dickson Ware, cuyo formato permite abrir estos archivos directamente en Excel. El problema que se genera en este punto, es que la información de cada toma de datos, es decir: Fecha, Hora, Temperatura, Humedad Relativa y el número correlativo, vienen dispuestos todos juntos separados por comas en formato “String”, lo que genera el primer problema doble, que es separar todos los datos, dejando cada número en celdas independientes, y convertir estos strings a los formatos entendibles por Excel, o sea, las fechas en formato fecha, la temperatura, humedad y correlativo en formato Integer y la hora en formato hora. Como la cantidad de datos es enorme, en total 136.000 celdas de estos, se decidió programar una Macro que resolviese éste problema, código que se observa en el Anexo 1.

B) Con los datos en correcto orden y formato se procedió a separar los registros semanales en sub grupos diarios, para poder de esta manera graficar los tres o cuatro, según el caso (en seco o con agua), perfiles diarios de temperatura, uno para cada sensor. Por lo tanto, para los ensayos en seco se generan para siete días y tres sensores, un total de 21 gráficos, y para los ensayos con agua, un total de 28. Luego, para el total de 10 ensayos, se obtuvieron 238 gráficos.

C) Luego de generados los gráficos, se procedió a suavizar las curvas, para esto fue necesario aplicar una curva de tendencia, que en la teoría se asume como una del tipo $f(x) = A * \sin(\omega t + \phi)$, pero, las curvas de este tipo presentan ajustes de muy bajos r^2 , por lo que se decidió ajustar una polinómica de orden 6. Este tipo de curvas se comporta mejor antes las irregularidades presentadas por los registros típicos.

D) Una vez que se contó con las curvas suavizadas, se creó en un software llamado Mathcad, una matriz con los coeficientes de estas curvas, para poder definir las analíticamente y poder así calcular todos los instantes y temperaturas a partir de la ecuación de las curvas suaves y no a partir de los registros discretos.

E) A partir de esta matriz, y para cada sensor se procedió a calcular:

- Hora y valor para las temperaturas extremas: máxima y mínima.
- Valor de la temperatura media diaria.
- Amplitud de la onda diaria.

F) El problema que a continuación se presenta, tiene relación con el formato de las horas utilizadas por los distintos software, Mathcad y Excel, y radica en que Excel interpreta los formatos Hora, como un valor entre 0 y 1, siendo 0 las 00:00 y 1 las 24:00, por lo que los coeficientes de las curvas de ajuste, al convertirse en ecuación en el paso de un software a otro, van a entregar como hora de las temperaturas extremas, un número entre 0 y 1.

Para solucionar este problema fue necesario programar (en Mathcad) una pequeña función que se encargara de convertir estos valores numéricos entre 0 y 1, en valores de tipo string que reflejaran una hora en un formato cómodo para la lectura, función f que se detalla más adelante.

G) Con los valores antes calculados, y como fue explicado en capítulos anteriores, en este punto fue posible calcular los factores de disminución de la temperatura FDT, el factor de reducción de la Onda FRO y el Desfase.

En particular para el cálculo de desfases, se consideraron dos tipos. Para entender la diferencia entre ambos, es necesario recordar que existen dos desfases por cada sensor: uno que corresponde a la diferencia horaria entre las temperaturas máximas y otro que corresponde a la diferencia entre las mínimas, y al tener dos sensores al interior de la caseta de prueba, se tendrán entonces cuatro distintos desfases. Sabido esto, se calcularán dos tipos de desfases: uno que corresponderá al promedio de los cuatro mencionados anteriormente, y se llamará desfase medio o ϕ medio y un segundo tipo que corresponderá al promedio solo de los desfases entre los peacks máximos, llamado desfase máximo, o ϕ máx, dejando de lado los mínimos. La decisión de calcular así los desfases se explicará mas adelante.

H) El siguiente paso fue regenerar las curvas discretas entregadas por los sensores, de manera analítica según sus curvas de ajuste. Por lo que se presenta un gráfico que contiene:

- Curva suavizada Sensor Interior Inferior.
- Curva suavizada Sensor Interior Superior.
- Curva suavizada Sensor Exterior.
- Curva suavizada Sensor Sumergido.
- Limites de Confort Térmico, fijados entre 18 y 23 °C.

I) En esta etapa, lo que corresponde es el análisis del sensor sumergido, y lo primero es definir los parámetros termodinámicos relevantes, que son densidades y calores específicos del agua y el aire, para luego determinar las temperaturas extremas y media registradas aquí, siguiendo el mismo procedimiento para los sensores anteriores.

Con los valores calculados en la etapa anterior, lo que se hará es calcular la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima, alcanzada por el agua en los tambores, para con este ΔT° calcular una energía absorbida por ésta. Si conocida la energía transferida se asume que fue íntegramente el volumen de aire al interior de la caseta quien cedió este calor, podemos calcular una variación total diaria de temperatura del aire generada por la presencia de agua al interior del recinto

Numéricamente la diferencia de temperatura en el aire es alta, y con ello se pierde de vista lo que realmente está pasando durante la transferencia, por lo que se calculó adicionalmente, la diferencia horaria entre la temperatura máxima y la mínima, registrada en los tambores, la que tiene un período de aproximadamente 12 horas, por lo que dividiendo el calor total cedido a los tambores, podemos estimar una tasa de transferencia en términos de Kcal /min, y por lo tanto calcular la tasa de disminución de la temperatura interior en $^\circ\text{C} / \text{min}$.

Si bien no conocemos la cantidad de calor absorbida por radiación, la variación calculada como $^\circ\text{C} \text{ aire}/\text{min}$, correspondería a una cota máxima, ya que si parte del calor absorbido por el agua, no provino del aire sino directamente de los muros, entonces la variación de temperatura del aire debiera ser menor, así, si el efecto de los muros fuese despreciable, entonces la tasa de variación de temperatura calculada correspondería efectivamente a la tasa experimentada por el aire dentro de la caseta.

EJEMPLO:

Para efectos de lograr una mejor comprensión del procedimiento se mostrará a continuación un caso cualquiera de ensayo, No ventilado, con agua.

El ensayo escogido es el numero V), Ventana descubierta y 925 lt de agua, durante el 15/2/08.

- Paso B) y C): Se muestra acá los gráficos tipo, obtenidos de los datos diarios y sus curvas de ajuste, polinómicas de orden 6.

Gráficos obtenidos:
Sensor Interior Inferior.
Sensor Interior Superior.
Sensor Exterior.
Sensor Interior Sumergido.

Grafico 4: Registro sensor Interior Inferior del 15/02/08

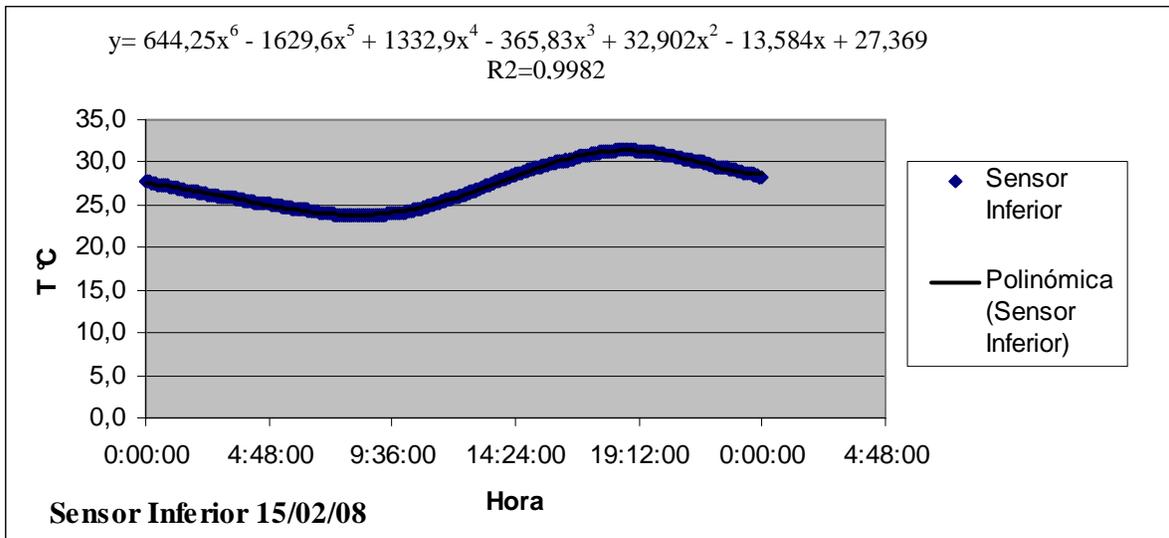


Grafico 5: Registro sensor Interior Superior del 15/02/08

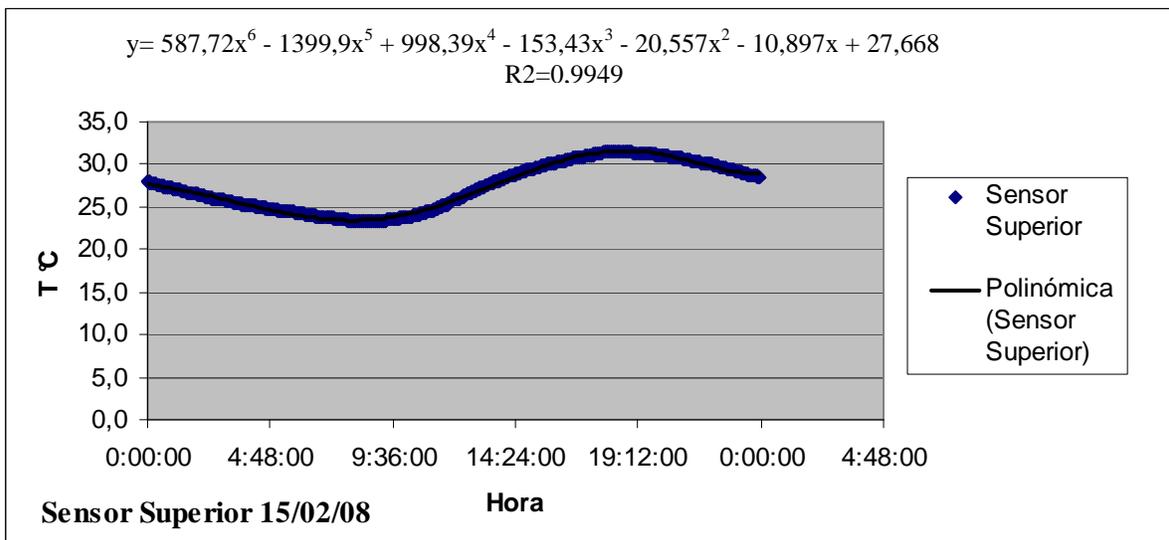


Grafico 6: Registro sensor Exterior del 15/02/08

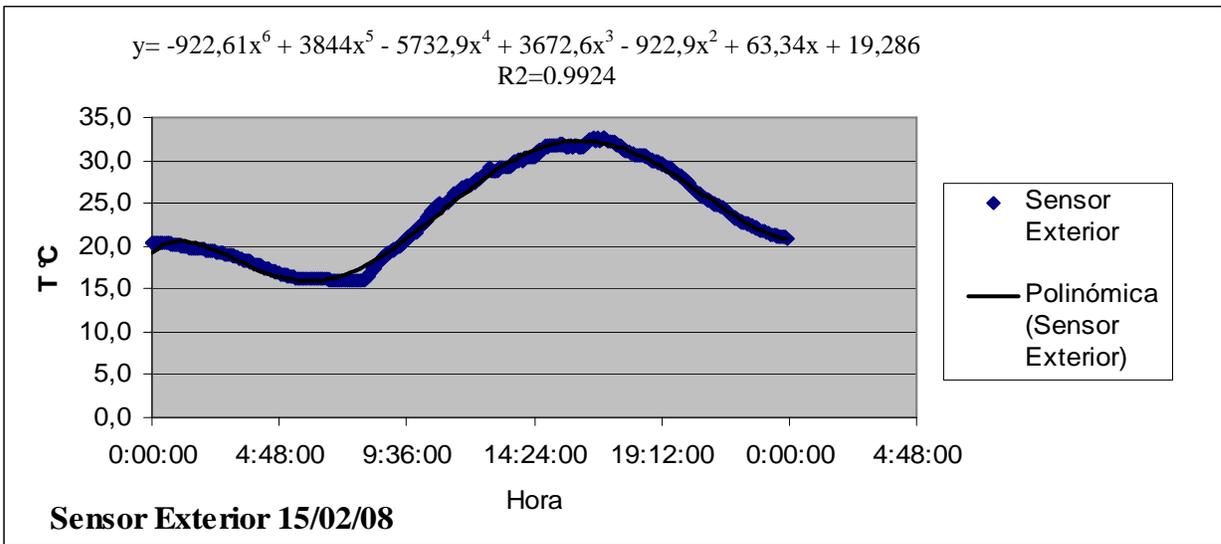
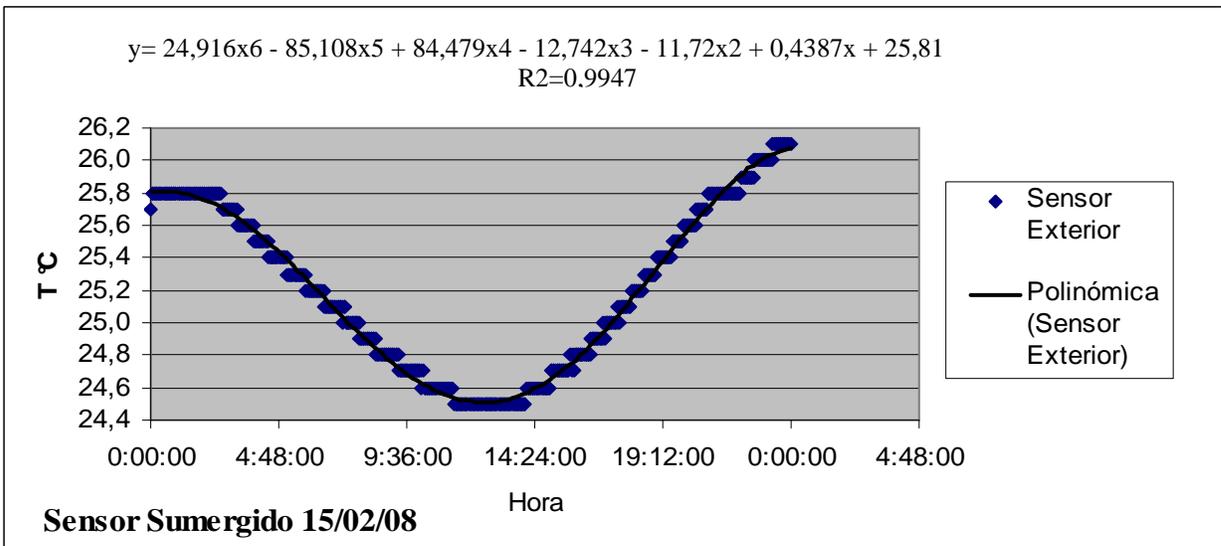


Grafico 7: Registro sensor Interior Sumergido del 15/02/08



- Paso D): Generación de la Matriz de coeficientes. Aquí puede verse que la primera fila corresponde a los coeficientes de la ecuación que representa al sensor interior inferior, la segunda fila al superior, la tercera al exterior y la cuarta y última, al sumergido.

15 de Febrero:

$$M := \begin{pmatrix} 644.25 & -1629.6 & 1332.9 & -365.83 & 32.902 & -13.582 & 27.639 \\ 587.72 & -1399.9 & 998.39 & -153.43 & -20.557 & -10.897 & 27.668 \\ -922.61 & 3844 & -5732.9 & 3672.6 & -922.9 & 63.34 & 19.286 \\ 24.916 & -85.108 & 84.479 & -12.742 & -11.72 & 0.4387 & 25.81 \end{pmatrix}$$

$$x := 0$$

$$\text{inf}(x) := (M^T)^{\langle 1 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{sup}(x) := (M^T)^{\langle 2 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{ext}(x) := (M^T)^{\langle 3 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{sum}(x) := (M^T)^{\langle 4 \rangle} \cdot v(x)$$

Esta matriz, por supuesto, para convertirse en ecuaciones de curvas, debe ser post multiplicada por el vector de las variables.

$$v(x) := \begin{pmatrix} 6 \\ x \\ 5 \\ x \\ 4 \\ x \\ 3 \\ x \\ 2 \\ x \\ x \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Paso E): Cálculo temperaturas máximas y mínimas, junto con las horas a las que éstas se manifiestan en cada sensor. Además de la temperatura media y amplitud diaria:

Sensor Inferior:

Given $x > 0.5$ $x < 0.9$

$h_inf_max := \text{Maximize}(inf, x)$

$h_inf_max = 0.781$ $f(h_inf_max) = "18:44:29"$

$h_inf_min := \text{Minimize}(inf, x)$

$h_inf_min = 0.339$ $f(h_inf_min) = "8:8:5"$

$T_inf_max := inf(h_inf_max)$

$T_inf_max = 31.4$

$T_inf_min := inf(h_inf_min)$

$T_inf_min = 23.8$

$T_media := \frac{1}{1001} \left(\sum_n inf(n) \right)$

$T_media = 27.4$

$Amax := T_inf_max - T_media$

$Amax = 4$

$Amin := T_media - T_inf_min$

$Amin = 3.5$

$Ainf := \max(Amax, Amin)$

$Ainf = 4$

Sensor Superior:

Given $x > 0.5$ $x < 0.9$

$h_sup_max := \text{Maximize}(sup, x)$

$h_sup_max = 0.777$ $f(h_sup_max) = "18:39:22"$

$h_sup_min := \text{Minimize}(sup, x)$

$h_sup_min = 0.332$ $f(h_sup_min) = "7:57:41"$

$T_sup_max := sup(h_sup_max)$

$T_sup_max = 31.6$

$T_sup_min := sup(h_sup_min)$

$T_sup_min = 23.4$

$T_media := \frac{1}{1001} \left(\sum_n sup(n) \right)$

$T_media = 27.3$

$Amax := T_sup_max - T_media$

$Amax = 4.3$

$Amin := T_media - T_sup_min$

$Amin = 3.9$

$Asup := \max(Amax, Amin)$

$Asup = 4.3$

Sensor Exterior:

Given $x > 0.3$ $x < 0.9$

$h_ext_max := \text{Maximize}(ext, x)$

$h_ext_max = 0.673$

$f(h_ext_max) = "16:9:1"$

Given $x > 0.1$ $x < 0.5$

$h_ext_min := \text{Minimize}(ext, x)$

$h_ext_min = 0.246$

$f(h_ext_min) = "5:54:5"$

$T_ext_max := ext(h_ext_max)$

$T_ext_max = 32.3$

$T_ext_min := ext(h_ext_min)$

$T_ext_min = 16$

$$T_media := \frac{1}{1001} \left(\sum_n ext(n) \right)$$

$T_media = 23.8$

$Amax := T_ext_max - T_media$

$Amax = 8.6$

$Amin := T_media - T_ext_min$

$Amin = 7.8$

$Aext := \max(Amax, Amin)$

$Aext = 8.6$

- Paso F) Generación de la función $f(x)$, adaptadora de formatos de hora. Esta función recibe un dato de tipo Integer con un valor entre 0 y 1, y devuelve un valor de tipo String, con el formato habitual de hora.

$f(x) :=$	$h \leftarrow \text{num2str}(\text{floor}(24 \cdot x))$
	$m \leftarrow \text{num2str}[\text{floor}[(24 \cdot x - \text{floor}(24 \cdot x)) \cdot 60]]$
	$s \leftarrow \text{num2str}[\text{floor}[(24 \cdot x - \text{floor}(24 \cdot x)) \cdot 60 - \text{floor}[(24 \cdot x - \text{floor}(24 \cdot x)) \cdot 60]] \cdot 60]]$
	$g \leftarrow \text{concat}(h, ":", m, ":", s)$
	g

- Paso G) Obtención de FDT, FRO y Desfase.

Factores y Desfases:

Factor de Reducción de Onda o Amortiguamiento:

$$\text{FRO}_{\text{inf}} := 1 - \frac{A_{\text{inf}}}{A_{\text{ext}}} \quad \text{FRO}_{\text{inf}} = 0.527$$

$$\text{FRO}_{\text{sup}} := 1 - \frac{A_{\text{sup}}}{A_{\text{ext}}} \quad \text{FRO}_{\text{sup}} = 0.503$$

$$\text{FRO} := \frac{\text{FRO}_{\text{inf}} + \text{FRO}_{\text{sup}}}{2} \quad \text{FRO} = 0.515$$

Factor de Disminución de la Temperatura:

$$\text{FDT}_{\text{inf}} := \frac{T_{\text{inf_max}}}{T_{\text{ext_max}}} \quad \text{FDT}_{\text{inf}} = 0.973$$

$$\text{FDT}_{\text{sup}} := \frac{T_{\text{sup_max}}}{T_{\text{ext_max}}} \quad \text{FDT}_{\text{sup}} = 0.978$$

$$\text{FDT} := \frac{\text{FDT}_{\text{inf}} + \text{FDT}_{\text{sup}}}{2} \quad \text{FDT} = 0.975$$

Desfases entre peaks:

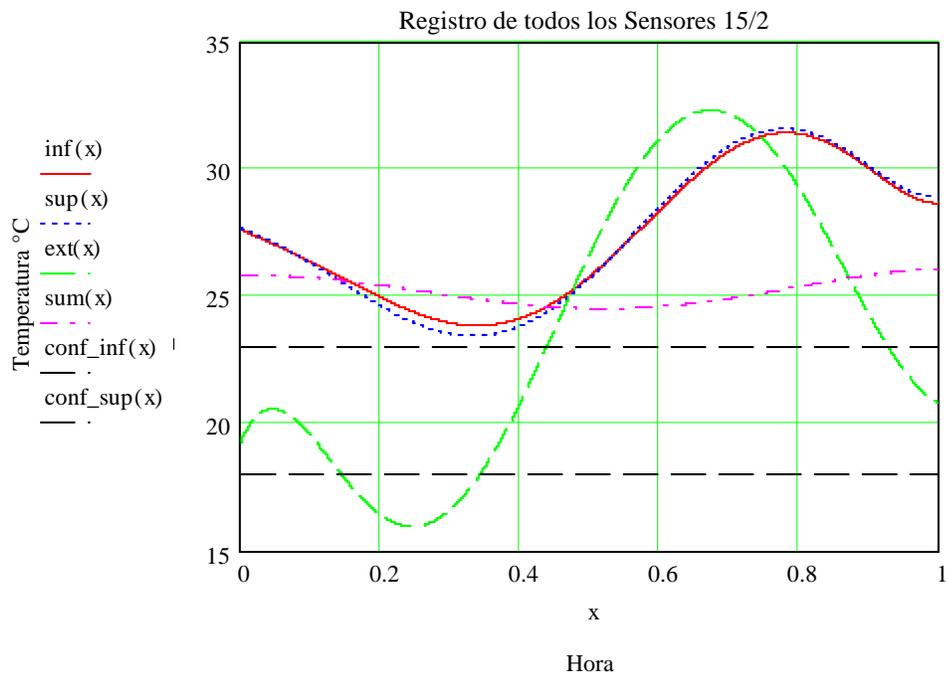
$\Delta_{\text{inf_max}} := h_{\text{inf_max}} - h_{\text{ext_max}}$	$\Delta_{\text{inf_max}} = 0.108$
$\Delta_{\text{inf_min}} := h_{\text{inf_min}} - h_{\text{ext_min}}$	$\Delta_{\text{inf_min}} = 0.093$
$\Delta_{\text{sup_max}} := h_{\text{sup_max}} - h_{\text{ext_max}}$	$\Delta_{\text{sup_max}} = 0.104$
$\Delta_{\text{sup_min}} := h_{\text{sup_min}} - h_{\text{ext_min}}$	$\Delta_{\text{sup_min}} = 0.086$
$\Delta := \frac{\Delta_{\text{inf_max}} + \Delta_{\text{inf_min}} + \Delta_{\text{sup_max}} + \Delta_{\text{sup_min}}}{4}$	$\Delta = 0.097809$

$f(\Delta) = "2:20:50"$

$$\Delta_{\text{max}} := \frac{\Delta_{\text{inf_max}} + \Delta_{\text{sup_max}}}{2}$$

$f(\Delta_{\text{max}}) = "2:32:53"$

- Paso H) Regeneración de curvas, ahora suavizadas.



- Paso I) Se definen los parámetros termodinámicos de importancia, se calculan horas y temperaturas extremas y media diaria.

$$C_{\text{agua}} := 1 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad C_{\text{aire}} := 0.243 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \rho_{\text{agua}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{aire}} := 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sensor Sumergido:

$$x := 0$$

Given $x > 0$ $x < 0.9$

$$h_{\text{sum_max}} := \text{Maximize}(\text{sum}, x) \quad h_{\text{sum_max}} = 0.018 \quad f(h_{\text{sum_max}}) = "0:26:17"$$

Given $x > 0.1$ $x < 0.8$

$$h_{\text{sum_min}} := \text{Minimize}(\text{sum}, x) \quad h_{\text{sum_min}} = 0.52 \quad f(h_{\text{sum_min}}) = "12:28:56"$$

$$T_{\text{sum_max}} := \text{sum}(h_{\text{sum_max}}) \quad T_{\text{sum_max}} = 25.8$$

$$T_{\text{sum_min}} := \text{sum}(h_{\text{sum_min}}) \quad T_{\text{sum_min}} = 24.5$$

$$T_{\text{media}} := \frac{1}{1001} \left(\sum_n \text{sum}(n) \right) \quad T_{\text{media}} = 25.2$$

- Paso J) Determinación de calor transferido y tasa de variación de temperatura del aire.

Variación de Temperatura del Agua:

$$\Delta T_{\text{agua}} := (T_{\text{sum_max}} - T_{\text{sum_min}}) \cdot 1^\circ\text{C} \quad \Delta T_{\text{agua}} = 1.303^\circ\text{C}$$

Energía absorbida por el agua:

$$V_{\text{agua}} := 125\text{liter} + 4 \cdot 200\text{liter} \quad V_{\text{agua}} = 0.925\text{m}^3$$

$$E_{\text{abs}} := \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{agua}} \cdot C_{\text{agua}} \cdot \Delta T_{\text{agua}} \quad E_{\text{abs}} = 1205.35\text{kcal}$$

Variación de Temperatura del aire:

$$V_{\text{aire}} := [(368 - 28)\text{cm} \cdot (245 - 28)\text{cm}] 220\text{cm} \quad V_{\text{aire}} = 16.232\text{m}^3$$

$$\Delta T_{\text{aire}} := \frac{E_{\text{abs}}}{\rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{aire}} \cdot C_{\text{aire}}} \quad \Delta T_{\text{aire}} = 254.7^\circ\text{C}$$

Variación del aire por minuto:

$$\Delta T_{\text{aire_min}} := \frac{\Delta T_{\text{aire}}}{[1 - (h_{\text{sum_min}} - h_{\text{sum_max}})] \cdot 24\text{hr}} \quad \Delta T_{\text{aire_min}} = 0.355 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$$

$$f[1 - (h_{\text{sum_min}} - h_{\text{sum_max}})] = "11:57:20"$$

COMENTARIO: Para el caso No Ventilado sin agua, el procedimiento es idéntico al anterior, pero, como es claro, se omite el análisis del sensor sumergido, ya que éste, por supuesto, no existe.

ANÁLISIS CASOS VENTILADOS.

El análisis de estos casos, es bastante parecido al de los casos anteriores, no ventilados, la diferencia radica en la forma de las curvas suaves de los registros interiores.

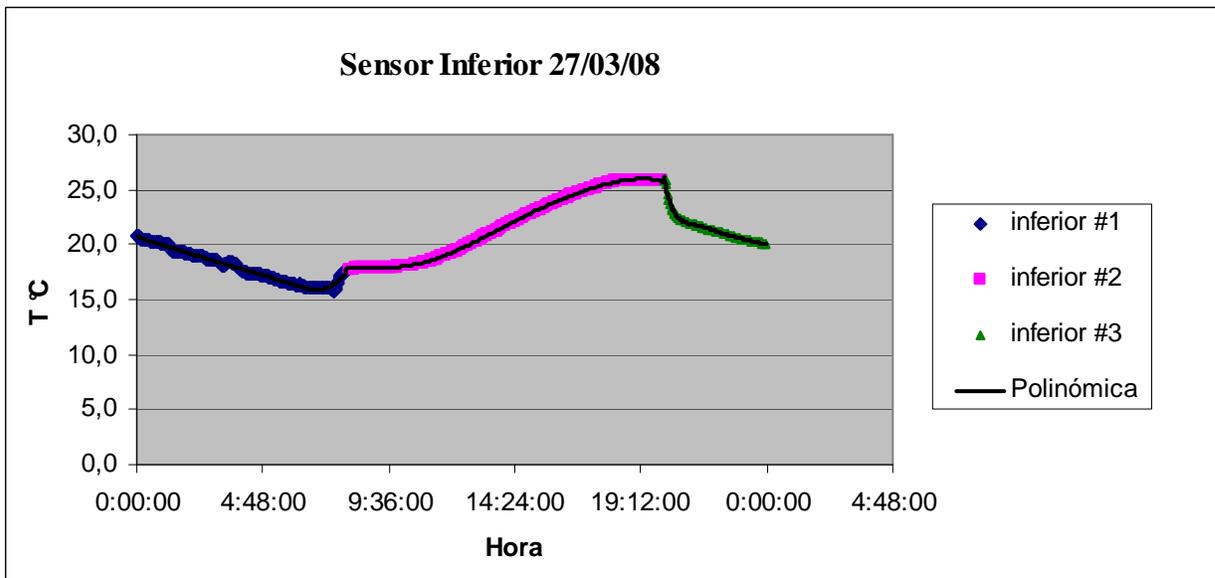
Se comenzará este análisis de idéntica forma al anterior que es mostrando los gráficos obtenidos para un ensayo ventilado con agua, y solo existe un ensayo que cumple con estas características.

EJEMPLO:

Se utilizó para este caso, el ensayo X), Ventilación Nocturna Forzada con 925 lt de agua.

Gráficos Obtenidos:

Gráfico 8: Registro sensor Interior Inferior del 27/03/08



$$y1 = 106419x^6 - 86658x^5 + 26667x^4 - 3870x^3 + 274,4x^2 - 26,54x + 20,776$$

$$R^2_1=0,9891$$

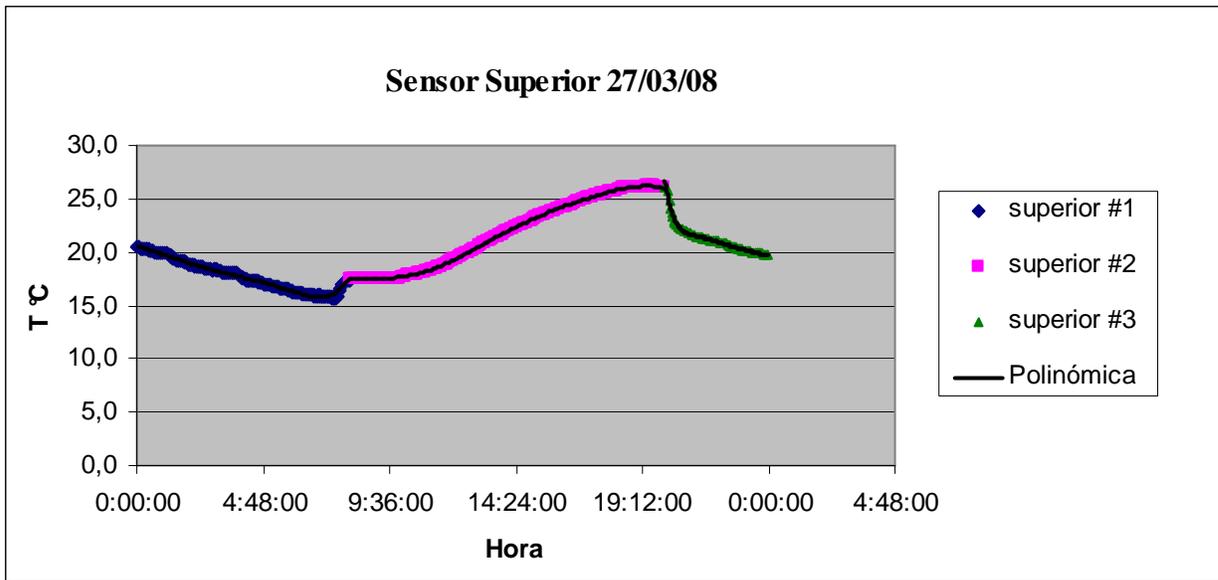
$$y2 = - 8885,1x^6 + 32165x^5 - 47720x^4 + 36878x^3 - 15530x^2 + 3370,3x + 276,96$$

$$R^2_2=0,9998$$

$$y3 = 9134299x^6 - 51270002x^5 + 119845221x^4 - 149332795x^3 + 104613699x^2 - 39065681x + 6075278$$

$$R^2_3=0,9917$$

Gráfico 9: Registro sensor Interior Superior del 27/03/08

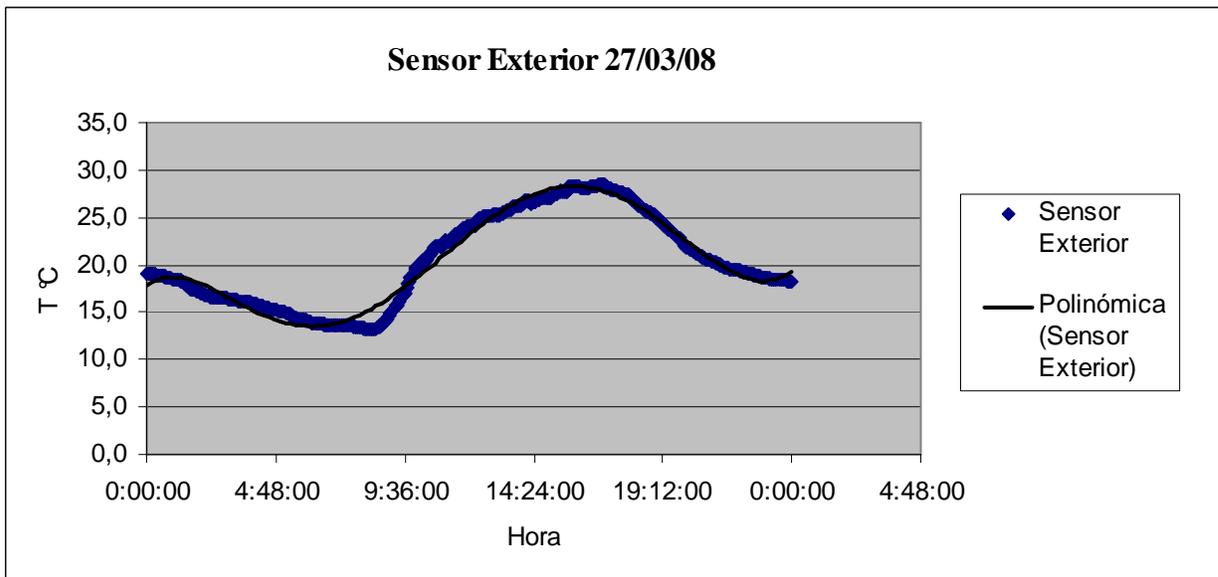


$$y_1 = 65884x^6 - 42814x^5 + 8369,8x^4 - 273,26x^3 - 46,84x^2 - 16,27x + 20,556 \quad R^2_1=0,9928$$

$$y_2 = -16242x^6 + 57543x^5 - 83323x^4 + 62826x^3 - 25876x^2 + 5510,5x - 456,88 \quad R^2_2=0,9998$$

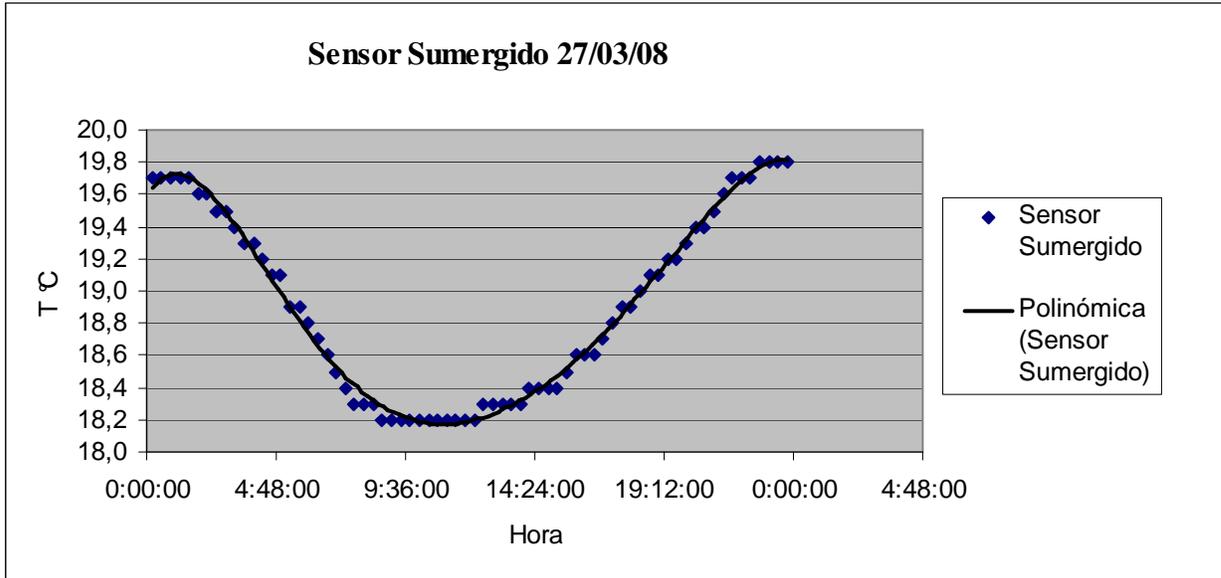
$$y_3 = 9596686x^6 - 53865684x^5 + 125922228x^4 - 156927667x^3 + 109957546x^2 - 41072691x + 6389602 \quad R^2_3=0,9907$$

Gráfico 10: Registro sensor Exterior del 27/03/08



$$y = -528,53x^6 + 2826,3x^5 - 4749,7x^4 + 3236,1x^3 - 835,99x^2 + 53,469x + 17,759 \quad R^2=0,9737$$

Grafico 11: Registro sensor Sumergido del 27/03/08



$$y = -90,43x^6 + 302,1x^5 - 410,16x^4 + 280,77x^3 - 88,57x^2 + 6,5178x + 19,588$$

$$R^2 = 0,9941$$

COMENTARIO:

Como se ha visto en el Grafico 8 y el Grafico 9, la consecuencia de la ventilación nocturna, es un quiebre violento de la curva a las horas en que la ventilación comienza o termina, como en capítulos anteriores fue mencionado, la ventilación nocturna comienza a las 20:00 hrs. y termina, o sea, se cierra la caseta, a las 7:30.

Es imprescindible notar que justo a esas dos horas se tienen cambios en la convexidad de la curva diaria. Por este motivo la suavización del registro no fue posible de realizar tan solo con una curva de orden 6 como en el resto de los casos, sino que para lograr ajustes de r^2 aceptables, fue necesario adaptar tres curvas del mismo orden, para que dos curvas distintas tomaran los quiebres respectivos a la ventilación.

Por esta razón, la matriz de coeficientes que antes se generó de 4 x 7, ahora será necesaria una de 8 x 7. Generando de esta manera que el cálculo de las temperaturas y horas peak, si bien siguen la misma lógica, se complica un poco, así como también el gráfico de las curvas regeneradas, ya que para cada curva habrá que hacer calzar tres partes.

Para terminar este ejemplo se muestra a continuación la matriz de coeficientes para el ensayo de ventilación nocturna Forzada con 925 lt de agua, que anteriormente se mencionaba.

27 de Marzo:

$$M := \begin{pmatrix} 106419 & -86658 & 26667 & -3870 & 274.4 & -26.54 & 20.776 \\ -8885.1 & 32165 & -47720 & 36878 & -15530 & 3370.3 & -276.96 \\ 9134299 & -51270002 & 119845221 & -149332795 & 104613699 & -39065681 & 6075278 \\ 65884 & -42814 & 8369.8 & -273.26 & -46.84 & -16.27 & 20.556 \\ -16242 & 57543 & -83323 & 62826 & -25876 & 5510.5 & -456.88 \\ 9596686 & -53865684 & 125922228 & -156927667 & 109957546 & -41072691 & 6389602 \\ -528.53 & 2826.3 & -4749.7 & 3236.1 & -835.99 & 53.469 & 17.759 \\ -90.43 & 302.1 & -410.16 & 280.77 & -88.57 & 6.5178 & 19.588 \end{pmatrix}$$

$$\text{inf}_1(x) := (M^T)^{\langle 1 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{inf}_2(x) := (M^T)^{\langle 2 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{inf}_3(x) := (M^T)^{\langle 3 \rangle} \cdot v(x)$$

$$\text{sup}_1(x) := (M^T)^{\langle 4 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{sup}_2(x) := (M^T)^{\langle 5 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{sup}_3(x) := (M^T)^{\langle 6 \rangle} \cdot v(x)$$

$$\text{ext}(x) := (M^T)^{\langle 7 \rangle} \cdot v(x) \quad \text{sum}(x) := (M^T)^{\langle 8 \rangle} \cdot v(x)$$

El cálculo de las temperaturas extremas, junto con las horas a las que estas se producen, se lleva a cabo de manera similar a la anteriormente descrita, pero con un número mas grande de curvas a considerar, cosa que complica un poco el problema.

Sensor Inferior:

Given $x > 0.5$ $x < 0.9$

$h_inf_max := \text{Maximize}(\text{inf}_2, x)$

$h_inf_max = 0.807$

$f(h_inf_max) = "19:22:12"$

$h_inf_min := \text{Minimize}(\text{inf}_1, x)$

$h_inf_min = 0.287$

$f(h_inf_min) = "6:53:28"$

$T_inf_max := \text{inf}_2(h_inf_max)$

$T_inf_max = 26.2$

$T_inf_min := \text{inf}_1(h_inf_min)$

$T_inf_min = 15.9$

$$T_media := \frac{1}{10003} \left(\sum_{x1} \text{inf}_1(x1) + \sum_{x2} \text{inf}_2(x2) + \sum_{x3} \text{inf}_3(x3) \right) \quad T_media = 20.3$$

$Amax := T_inf_max - T_media$

$Amax = 5.9$

$Amin := T_media - T_inf_min$

$Amin = 4.4$

$Ainf := \max(Amax, Amin)$

$Ainf = 5.9$

Sensor Superior:

Given $x > 0.5$ $x < 0.9$

$h_{sup_max} := \text{Maximize}(sup_2, x)$

$h_{sup_max} = 0.809$ $f(h_{sup_max}) = "19:24:24"$

$h_{sup_min} := \text{Minimize}(sup_1, x)$

$h_{sup_min} = 0.289$ $f(h_{sup_min}) = "6:56:16"$

$T_{sup_max} := sup_2(h_{sup_max})$

$T_{sup_max} = 26.7$

$T_{sup_min} := sup_1(h_{sup_min})$

$T_{sup_min} = 15.8$

$$T_{media} := \frac{1}{10003} \left(\sum_{x1} sup_1(x1) + \sum_{x2} sup_2(x2) + \sum_{x3} sup_3(x3) \right) \quad T_{media} = 20.5$$

$A_{max} := T_{sup_max} - T_{media}$

$A_{max} = 6.2$

$A_{min} := T_{media} - T_{sup_min}$

$A_{min} = 4.7$

$A_{sup} := \max(A_{max}, A_{min})$

$A_{sup} = 6.2$

Sensor Exterior:

Given $x > 0.3$ $x < 0.9$

$h_{ext_max} := \text{Maximize}(ext, x)$

$h_{ext_max} = 0.662$ $f(h_{ext_max}) = "15:53:58"$

Given $x > 0.1$ $x < 0.5$

$h_{ext_min} := \text{Minimize}(ext, x)$

$h_{ext_min} = 0.256$ $f(h_{ext_min}) = "6:8:9"$

$T_{ext_max} := ext(h_{ext_max})$

$T_{ext_max} = 28.3$

$T_{ext_min} := ext(h_{ext_min})$

$T_{ext_min} = 13.5$

$$T_{media} := \frac{1}{1001} \left(\sum_n ext(n) \right) \quad T_{media} = 20.5$$

$A_{max} := T_{ext_max} - T_{media}$

$A_{max} = 7.8$

$A_{min} := T_{media} - T_{ext_min}$

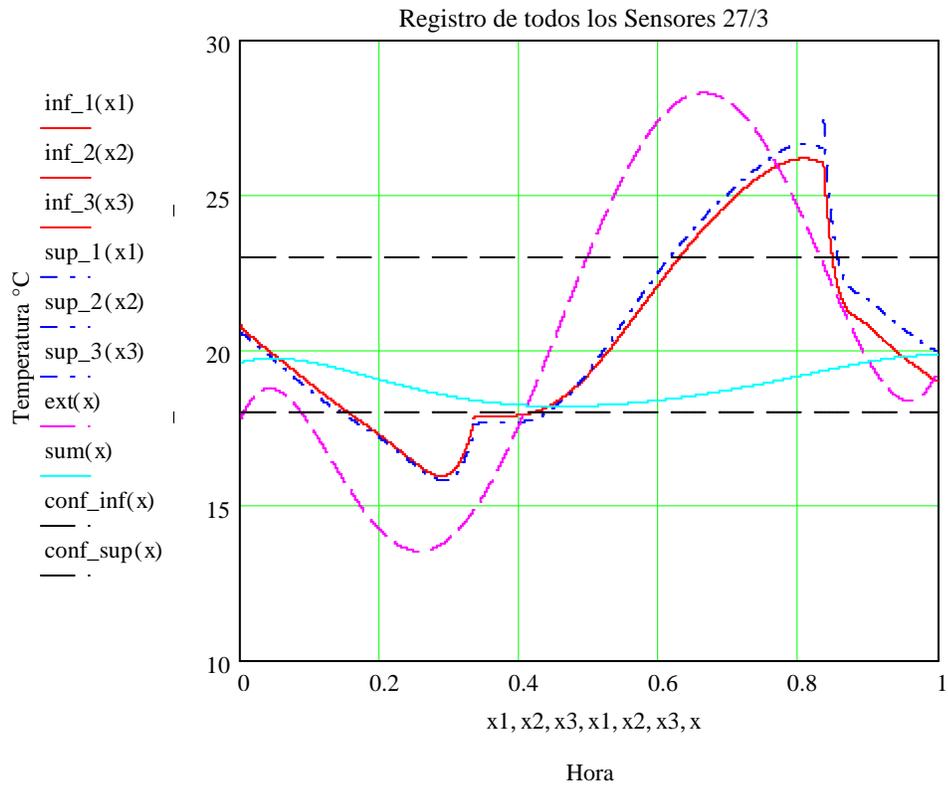
$A_{min} = 6.9$

$A_{ext} := \max(A_{max}, A_{min})$

$A_{ext} = 7.8$

Teniendo los valores de amplitudes, temperaturas extremas, medias, y momentos en las que éstas se producen, el cálculo de desfase, FRO (factor de reducción de la onda) y FDT (factor de disminución de la temperatura), es idéntico al caso no ventilado, por lo que no se mostrará dicho procedimiento nuevamente.

Para concluir con el ejemplo falta mostrar el gráfico de curvas regeneradas a partir de la matriz de coeficientes. En este gráfico, se observan las ocho secciones de curva, que finalmente forman las cuatro curvas correspondientes a los registros de los sensores, más los límites del rango de confort.



4.7 RESULTADOS OBTENIDOS.

Se considera innecesario mostrar la totalidad de las planillas de cálculo anteriormente ejemplificadas, pero, si un resumen semanal de los datos obtenidos para todos y cada uno de los ensayos.

Tabla 16: Resultados obtenidos para ensayo I.

I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
10-01-2008	Inferior	20:09:26	9:09:32	28,7	22,2	25,4	3,3	0,525	1,041	3:09:38	3:05:17
	Superior	20:10:23	8:50:29	28,5	21,6	25	3,5				
	Exterior	17:04:37	5:46:01	27,5	14	20,4	7,1				
11-01-2008	Inferior	20:21:52	9:05:47	30,3	22,2	26	4,4	0,519	0,943	3:16:40	3:40:44
	Superior	20:13:20	8:43:52	30,1	21,5	25,6	4,5				
	Exterior	16:36:52	6:03:32	32	13,7	22,8	9,2				
12-01-2008	Inferior	19:29:56	9:07:11	29,9	23,4	26,7	3,3	0,534	1,013	3:33:44	3:57:47
	Superior	19:27:04	8:44:30	29,7	22,8	26,4	3,6				
	Exterior	15:30:42	5:46:09	29,4	14,9	22,3	7,4				
13-01-2008	Inferior	20:10:02	8:56:24	31,4	23,1	27	4,4	0,487	0,965	3:33:45	3:56:29
	Superior	20:02:40	8:32:54	31,3	22,5	26,6	4,6				
	Exterior	16:09:51	5:33:38	32,5	14,9	23,6	8,8				
14-01-2008	Inferior	20:11:53	9:05:39	32,4	24,7	28,3	4	0,499	0,977	3:19:17	3:40:16
	Superior	20:05:35	8:41:27	32,2	24,1	28	4,2				
	Exterior	16:28:28	5:55:14	33	17	24,9	8,2				
15-01-2008	Inferior	20:16:05	9:06:13	33,4	25,7	29,4	4	0,484	0,969	3:18:18	3:31:09
	Superior	20:06:47	8:42:28	33,2	25,2	29,1	4,2				
	Exterior	16:40:17	5:48:53	34,4	18,6	26,5	8				
Promedio	INTERIOR	20:03:45	8:53:52	30,9	23,3	27,0	4,0	0,508	0,985	3:21:54	3:38:37
	EXTERIOR	16:25:08	5:48:55	31,5	15,5	23,4	8,1				

Tabla 17: Resultados obtenidos para ensayo II.

II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
18-01-2008	Inferior	19:20:13	8:44:23	30,1	22,6	26,2	3,9	0,53	1,036	1:34:16	2:40:12
	Superior	18:59:09	8:21:24	30	21,8	25,9	4,1				
	Exterior	16:29:29	6:04:23	29	12,7	20,5	8,5				
19-01-2008	Inferior	19:07:07	8:19:54	31,5	23,1	27,1	4,4	0,478	1,025	2:47:11	3:13:05
	Superior	18:44:38	7:49:47	31,4	22,3	26,8	4,6				
	Exterior	15:42:47	5:43:33	30,7	14,2	22	8,7				
20-01-2008	Inferior	18:51:42	8:40:44	30,7	23,7	27,2	3,5	0,500	1,054	2:27:39	2:41:56
	Superior	18:33:30	8:10:19	30,6	23,1	26,8	3,8				
	Exterior	16:00:40	6:12:09	29,1	14,7	21,8	7,3				
21-01-2008	Inferior	18:55:00	8:27:17	31,2	23,3	27,1	4,1	0,493	1,012	2:54:14	3:09:36
	Superior	18:20:51	8:09:40	29,7	21,9	25,8	3,9				
	Exterior	15:28:19	5:39:37	30,1	14,3	22,1	7,9				
22-01-2008	Inferior	18:48:16	8:25:19	30,8	23,7	27,2	3,6	0,466	1,071	2:37:00	2:57:02
	Superior	18:25:02	7:52:38	30,6	23	26,8	3,8				
	Exterior	15:39:36	5:51:59	28,6	15,3	21,7	6,9				
23-01-2008	Inferior	19:17:52	8:47:53	30,2	22,3	26,2	4	0,552	1,013	2:36:49	2:41:13
	Superior	18:51:27	8:15:23	30,1	21,6	25,8	4,3				
	Exterior	16:23:26	5:59:13	29,7	11,9	20,5	9,3				
Promedio	INTERIOR	18:51:14	8:20:23	30,6	22,7	26,6	4,0	0,503	1,035	2:29:32	2:53:51
	EXTERIOR	15:57:23	5:55:09	29,5	13,9	21,4	8,1				

Tabla 18: Resultados Obtenidos para ensayo III.

III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)															
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T° max	T° min	T° media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max	ΔT agua	E abs [Kcal]	ΔT aire	ΔT/min [°C/min]
26-01-2008	Inferior	20:40:10	9:51:03	28,2	21,7	24,6	3,5								
	Superior	20:37:29	9:48:18	28	20,9	24,2	3,8								
	Exterior	17:01:00	5:56:22	29,1	14	20,4	8,6	0,573	0,966	3:45:33	3:37:49	1,89	615,1	129,9	0,21
	Sumergido	0:58:55	14:33:09	24,7	22,8	23,6									
27-01-2008	Inferior	20:08:52	8:54:47	30,6	22,5	26,1	4,4								
	Superior	20:04:57	8:27:21	30,4	21,8	25,8	4,6	0,520	0,942	3:13:33	3:35:04				
	Exterior	16:31:50	5:49:02	32,4	15,2	23,1	9,3								
	Sumergido														
28-01-2008	Inferior	19:13:58	9:12:37	30,1	24,1	27,1	3,1								
	Superior	19:10:29	8:47:31	29,9	23,5	26,7	3,2	0,559	1,031	3:23:03	3:44:27				
	Exterior	15:27:46	5:58:26	29,2	16	22	7,1								
	Sumergido														
29-01-2008	Inferior	20:57:06	11:29:33	25,5	21,9	24	2,1								
	Superior	20:55:35	11:30:59	25	21,1	23,3	2,2	0,633	1,088	3:40:07	3:14:52				
	Exterior	17:41:28	7:24:54	23,2	13,7	17,3	5,9								
	Sumergido														
30-01-2008	Inferior	20:55:03	10:20:55	26,5	20,5	23,1	3,4								
	Superior	20:50:46	10:17:50	26,2	19,7	22,5	3,7	0,552	0,984	3:44:38	3:36:44				
	Exterior	17:16:09	6:26:50	26,8	14	18,8	8								
	Sumergido														
31-01-2008	Inferior	20:01:32	9:15:29	27,9	20,9	24,1	3,8								
	Superior	19:50:32	8:53:57	27,6	20,1	23,6	3,9	0,489	1,017	3:15:22	3:26:36				
	Exterior	16:29:25	6:00:35	27,3	13,5	19,7	7,6								
	Sumergido														
Promedio	INTERIOR	20:17:12	9:44:12	28,0	21,6	24,6	3,5	0,554	1,005	3:30:23	3:32:35	1,89	615,1	129,9	0,21
	EXTERIOR	16:44:36	6:16:02	28,0	14,4	20,2	7,8								
	SUMERGIDO	0:58:55	14:33:09	24,7	22,8	23,6									

Tabla 19: resultados obtenidos para ensayo IV.

IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)															
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max	ΔT agua	E abs [Kcal]	Δt aire	ΔT/min [C/min]
02-02-2008	Inferior	19:28:14	8:58:03	29,6	22,5	25,8	3,8								
	Superior	19:16:33	8:30:38	29,5	21,8	25,5	4	0,558	0,964	3:34:56	3:54:35	0,12	109,1	23,0	0,02
	Exterior	15:27:48	5:29:04	30,6	14,3	21,8	8,8								
	Sumergido	6:50:42	11:30:00	21,9	21,8	22,2									
03-02-2008	Inferior	19:51:55	9:22:09	29,2	23	25,9	3,3								
	Superior	19:42:22	8:50:23	29	22,3	25,5	3,6	0,579	0,997	3:10:52	3:13:36	1,00	928,3	196,1	0,23
	Exterior	16:33:32	5:58:07	29,2	14,7	21	8,1								
	Sumergido	3:04:41	13:07:23	24,2	23,2	23,9									
04-02-2008	Inferior	20:11:31	10:09:16	28,3	22,7	25,4	2,9								
	Superior	19:59:45	9:59:06	28	21,8	24,8	3,2	0,615	1,004	3:34:24	3:26:16	1,38	1271,6	268,7	0,38
	Exterior	16:39:22	6:21:39	28,1	13,6	20,1	8								
	Sumergido	2:07:58	14:23:19	24,9	23,5	24,2									
05-02-2008	Inferior	19:32:30	9:14:54	29	22,9	25,7	3,3								
	Superior	19:21:16	8:52:25	28,8	22,1	25,3	3,6	0,558	1,012	3:22:30	3:33:04	1,13	1041,0	219,9	0,29
	Exterior	15:53:48	5:53:44	28,6	14,7	20,8	7,8								
	Sumergido	1:49:52	13:18:19	24,7	23,5	24,1									
06-02-2008	Inferior	20:49:02	10:48:40	26,5	22,4	24,4	2								
	Superior	20:48:23	10:46:57	26,3	21,5	23,8	2,5								
	Exterior	17:28:07	6:48:21	25,5	14,6	19	6,5	0,649	1,035	3:40:02	3:20:36	2,00	1865,8	394,2	0,88
	Sumergido	0:56:26	17:27:54	24,7	22,7	23,5									
07-02-2008	Inferior	20:20:16	9:50:07	28,4	21,9	24,7	3,7								
	Superior	20:08:55	9:40:39	28,2	20,9	24,2	4,1	0,559	0,953	3:33:01	3:39:25	1,21	1115,3	135,6	0,40
	Exterior	16:35:10	6:18:45	29,7	13,9	20,9	8,8								
	Sumergido	0:00:00	14:11:21	23,7	22,5	23,1									
Promedio	INTERIOR	19:57:33	9:35:16	28,2	22,2	25,0	3,2								
	EXTERIOR	16:26:18	6:08:17	28,2	14,3	20,4	7,8	0,592	1,000	3:28:10	3:26:35	1,34	1244,4	242,9	0,44
	SUMERGIDO	2:28:16	13:59:43	24,4	23,1	23,8									

Tabla 20: Resultados obtenidos para ensayo V.

V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)															
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max	ΔT agua	E abs [Kcal]	Δt aire	ΔT/min [C/min]
12-02-2008	Inferior	18:40:47	8:18:38	31,3	24	27,4	3,9	0,553	0,986	2:28:41	2:40:31	1,56	1432,6	302,7	0,46
	Superior	18:31:07	8:00:58	31,5	23,6	27,4	4,1								
	Exterior	15:55:26	5:52:56	31,9	15,3	22,9	9								
	Sumergido	0:00:00	13:02:34	26,7	25,2	25,9									
13-02-2008	Inferior	18:32:01	8:19:42	29,9	23,6	26,7	3,3	0,576	1,028	2:21:56	2:30:11	1,76	1631,5	344,7	0,58
	Superior	18:27:15	8:17:50	30,2	23,1	26,6	3,6								
	Exterior	15:59:26	6:54:04	29,2	13,6	21,1	8,1								
	Sumergido	0:00:00	14:00:22	26,7	24,9	25,6									
14-02-2008	Inferior	18:55:58	8:10:23	30,6	23	26,6	4	0,535	0,977	3:14:58	3:31:11	1,67	1544,1	326,2	0,47
	Superior	18:50:09	8:00:34	30,8	22,6	26,5	4,3								
	Exterior	15:21:52	5:06:44	31,4	14	22,4	9								
	Sumergido	0:00:00	12:23:01	25,9	24,2	25									
15-02-2008	Inferior	18:44:29	8:08:05	31,4	23,8	27,4	4	0,515	0,975	2:20:50	2:32:53	1,30	1205,4	254,7	0,36
	Superior	18:39:22	7:57:41	31,6	23,4	27,3	4,3								
	Exterior	16:09:01	5:54:05	32,3	16	23,8	8,6								
	Sumergido	0:26:17	12:28:56	25,8	24,5	25,2									
16-02-2008	Inferior	18:34:27	8:11:40	30,9	24	27,3	3,5	0,524	1,017	2:14:14	2:28:22	1,53	1413,8	298,7	0,55
	Superior	18:30:08	7:59:36	31	23,6	27,3	3,7								
	Exterior	16:03:55	6:05:31	30,4	15,8	22,8	7,7								
	Sumergido	0:00:00	14:57:14	26,2	24,7	25,2									
17-02-2008	Inferior	17:55:08	7:42:31	30,6	23,9	27,1	3,5	0,500	1,037	2:03:55	2:12:19	0,96	885,9	187,2	0,23
	Superior	18:14:32	7:58:44	29,6	23,2	26,4	3,2								
	Exterior	15:52:31	5:55:06	29	15,9	22,4	6,7								
	Sumergido	3:12:26	13:53:00	25,4	24,5	24,9									
Promedio	INTERIOR	18:32:57	8:05:32	30,8	23,5	27,0	3,8	0,534	1,003	2:27:26	2:39:15	1,46	1352,2	285,7	0,44
	EXTERIOR	15:53:42	5:58:04	30,7	15,1	22,6	8,2								
	SUMERGIDO	0:36:27	13:27:31	26,1	24,7	25,3									

Tabla 21: Resultados obtenidos para ensayo VI.

VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
19-02-2008	Inferior	19:37:05	7:45:54	32,5	19,7	25,3	7,2	0,233	0,959	2:49:48	3:35:41
	Superior	19:35:58	8:04:01	31,8	20,4	25,6	6,2				
	Exterior	16:00:49	5:49:32	33,5	16,6	24,7	8,8				
20-02-2008	Inferior	19:37:15	7:43:46	29,8	19	24,6	5,5	0,222	1,038	3:11:13	4:29:36
	Superior	19:38:35	8:07:17	29,6	19,9	24,9	5				
	Exterior	15:08:18	6:02:41	28,6	16	21,8	6,8				
21-02-2008	Inferior	19:19:01	7:46:00	27,4	16,7	22	5,4	0,234	1,01	3:18:48	4:26:05
	Superior	19:44:21	8:06:19	28,3	17,3	22,4	5,9				
	Exterior	16:01:25	5:44:19	27,9	13	20	7,9				
22-02-2008	Inferior	18:50:56	7:49:45	28,3	16,6	22,1	6,1	0,282	0,976	2:37:08	3:00:15
	Superior	18:50:08	8:12:41	27,7	17,2	22,3	5,5				
	Exterior	15:50:17	5:47:11	28,7	13,2	20,6	8,1				
Promedio	INTERIOR	19:24:10	7:56:58	29,4	18,4	23,7	5,9	0,243	0,996	2:59:14	3:52:54
	EXTERIOR	15:45:12	5:50:56	29,7	14,7	21,8	7,9				

Tabla 22: Resultados obtenidos para ensayo VII.

VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
27-02-2008	Inferior	18:17:52	8:30:53	27,2	17,2	21,6	5,7	0,235	1,04	1:09:47	0:41:45
	Superior	18:21:56	9:00:55	27	17,3	21,8	5,2				
	Exterior	17:38:09	7:08:05	26,1	13,4	19	7,1				
28-02-2008	Inferior	17:21:31	7:04:23	31,3	17,9	23,8	7,5	0,161	1,004	1:26:54	1:25:19
	Superior	17:18:15	7:19:25	31,2	18,2	24,1	7,1				
	Exterior	15:54:34	5:43:24	31,2	14,9	22,4	8,7				
29-02-2008	Inferior	17:17:40	7:14:34	30,8	18,5	24	6,8	0,204	1,019	1:38:06	1:31:16
	Superior	17:18:22	7:32:06	30,6	19,1	24,5	6,1				
	Exterior	15:46:44	5:38:23	30,1	15	22	8,1				
01-03-2008	Inferior	17:28:02	7:14:33	30,2	18,2	23,7	6,5	0,213	1,018	1:39:00	1:37:06
	Superior	17:31:56	7:31:33	20	18,7	24,1	5,9				
	Exterior	15:52:52	5:42:08	29,5	14,4	21,7	7,9				
02-03-2008	Inferior	17:35:59	7:24:40	32,1	19,3	25,1	7	0,14	1,023	1:30:16	1:26:07
	Superior	17:37:41	7:35:48	31,9	19,7	25,4	6,5				
	Exterior	16:10:42	5:55:48	31,3	16,6	23,4	7,9				
Promedio	INTERIOR	17:36:55	7:38:53	29,2	18,4	23,8	6,4	0,191	1,021	1:28:49	1:20:19
	EXTERIOR	16:16:36	6:01:34	29,6	14,9	21,7	7,9				

Tabla 23: Resultados obtenidos para ensayo VIII.

VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
04-03-2008	Inferior	19:37:00	6:52:48	29,4	17,8	22,8	6,6	0,273	0,953	2:14:47	3:27:27
	Superior	19:32:27	7:06:30	29,2	18,6	23,1	6,1				
	Exterior	16:07:16	5:57:31	30,8	14,8	22	8,7				
05-03-2008	Inferior	19:34:50	7:02:58	28,2	16,2	21,8	6,4	0,2	0,983	2:21:11	3:25:50
	Superior	19:37:26	7:14:23	28,4	17,2	22,2	6,2				
	Exterior	16:10:17	5:52:09	28,8	13,5	20,9	7,9				
06-03-2008	Inferior	19:27:29	6:57:14	24,3	16,8	20,4	3,9	0,253	1,008	1:55:27	3:21:08
	Superior	19:28:23	7:02:41	24,1	17,6	20,6	3,5				
	Exterior	16:06:53	6:30:09	24	14,4	19,1	5				
07-03-2008	Inferior	19:01:00	6:46:05	21	16,2	18,5	2,4	0,373	1,023	2:09:58	3:35:18
	Superior	19:25:31	7:02:14	21,2	16,6	18,6	2,7				
	Exterior	15:37:57	6:09:31	20,6	14	16,6	4,1				
Promedio	INTERIOR	19:28:01	7:00:37	25,7	17,1	21,0	4,7	0,275	0,992	2:10:21	3:27:26
	EXTERIOR	16:00:36	6:07:20	26,1	14,2	19,7	6,4				

Tabla 24: Resultados obtenidos para ensayo IX.

IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)											
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T°max	T°min	T°media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max
19-03-2008	Inferior	19:14:29	6:57:40	28,6	17,8	22,3	6,3	0,212	0,972	2:22:00	3:34:48
	Superior	19:17:32	7:00:02	28,8	17,7	22,3	6,5				
	Exterior	15:41:12	5:49:38	29,5	15,5	21,4	8,1				
20-03-2008	Inferior	19:37:55	6:57:14	26,1	14,5	19,7	6,4	0,229	0,955	1:59:54	3:01:53
	Superior	19:37:57	7:00:57	26,4	14,6	19,7	6,7				
	Exterior	16:36:03	6:01:10	27,5	11,6	19	8,5				
21-03-2008	Inferior	19:44:15	7:04:34	27,9	15,4	20,9	6,9	0,264	0,908	2:16:34	3:17:59
	Superior	19:40:10	7:06:44	27,8	15,3	21	6,8				
	Exterior	16:24:13	5:50:30	30,7	12,9	21,3	9,4				
Promedio	INTERIOR	19:32:03	7:01:12	27,6	15,9	21,0	6,6	0,235	0,945	2:12:49	3:18:13
	EXTERIOR	16:13:49	5:53:46	29,2	13,3	20,6	8,7				

Tabla 25: Resultados obtenidos para ensayo X.

X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)															
Fecha	Sensor	Hora max	Hora min	T° max	T° min	T° media	A	FRO	FDT	φ medio	φ max	ΔT agua	E abs [Kcal]	Δt aire	ΔT/min [°C/min]
26-03-2008	Inferior	19:28:08	7:02:15	25,5	15	19,8	5,7								
	Superior	19:19:15	7:01:12	25,5	15	19,6	5,9								
	Exterior	16:19:51	5:54:22	28,3	12,5	20,2	8,1	0,282	0,901	2:05:36	3:03:50	1,75	1622,5	342,8	0,41
27-03-2008	Sumergido	1:00:01	11:03:45	19,5	17,8	18,6									
	Inferior	19:22:12	6:53:28	26,2	15,9	20,3	5,9								
	Superior	19:24:24	6:56:16	26,7	15,8	20,5	6,2								
28-03-2008	Exterior	15:53:58	6:08:09	28,3	13,5	20,5	7,8	0,232	0,934	2:08:01	3:29:20	1,55	1435,2	303,2	0,36
	Sumergido	1:06:13	11:00:32	19,7	18,2	18,9									
	Inferior	19:25:55	6:58:06	25,6	15,3	19,9	5,7								
Promedio	Superior	19:23:39	6:59:25	25,4	15,1	19,5	5,9								
	Exterior	16:05:43	6:01:38	27,7	12,6	19,7	8	0,282	0,920	2:08:06	3:19:04	1,98	1830,6	286,6	0,48
	Sumergido	0:36:29	11:15:27	19,8	17,8	18,6									
Promedio	INTERIOR	19:23:55	6:58:27	25,8	15,4	19,9	5,9								
	EXTERIOR	16:06:31	6:01:23	28,1	12,9	20,1	8,0	0,265	0,918	2:07:14	3:17:25	1,76	1629,4	310,9	0,42
	SUMERGIDO	0:54:14	11:06:35	19,7	17,9	18,7									

Tabla 26: Tabla resumen de promedios semanales.

CUADRO RESUMEN	Sensor	Hora max	Hora min	T° max	T° min	T° media	A	FR0	FDT	φ medio	φ max	ΔT agua	E abs [Kcal]	Δt aire	ΔT/min [°C/min]
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	INTERIOR	20:03:45	8:53:52	30,9	23,3	27,0	4,0	0,508	0,985	3:21:54	3:38:37				
	EXTERIOR	16:25:08	5:48:55	31,5	15,5	23,4	8,1								
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	INTERIOR	18:51:14	8:20:23	30,6	22,7	26,6	4,0	0,503	1,035	2:29:32	2:53:51				
	EXTERIOR	15:57:23	5:55:09	29,5	13,9	21,4	8,1								
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	INTERIOR	20:17:12	9:44:12	28,0	21,6	24,6	3,5	0,554	1,005	3:30:23	3:32:35	1,89	615,1	129,9	0,21
	EXTERIOR	16:44:36	6:16:02	28,0	14,4	20,2	7,8								
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	SUMERGIDO	0:58:55	14:33:09	24,7	22,8	23,6		0,592	1,000	3:28:10	3:26:35	1,34	1244,4	242,9	0,44
	INTERIOR	19:57:33	9:35:16	28,2	22,2	25,0	3,2								
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	EXTERIOR	16:26:18	6:08:17	28,2	14,3	20,4	7,8	0,534	1,003	2:27:26	2:39:15	1,46	1352,2	285,7	0,44
	SUMERGIDO	2:28:16	13:59:43	24,4	23,1	23,8									
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACION NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	INTERIOR	18:32:57	8:05:32	30,8	23,5	27,0	3,8	0,243	0,996	2:59:14	3:52:54				
	EXTERIOR	15:53:42	5:58:04	30,7	15,1	22,6	8,2								
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACION PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	SUMERGIDO	0:36:27	13:27:31	26,1	24,7	25,3		0,191	1,021	1:28:49	1:20:19				
	INTERIOR	19:24:10	7:56:58	29,4	18,4	23,7	5,9								
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACION NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	EXTERIOR	17:36:55	7:38:53	29,2	18,4	23,8	6,4	0,275	0,992	2:10:21	3:27:26				
	EXTERIOR	16:16:36	6:01:34	29,6	14,9	21,7	7,9								
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACION NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	INTERIOR	19:28:01	7:00:37	25,7	17,1	21,0	4,7	0,235	0,945	2:12:49	3:18:13				
	EXTERIOR	16:00:36	6:07:20	26,1	14,2	19,7	6,4								
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACION NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	INTERIOR	19:32:03	7:01:12	27,6	15,9	21,0	6,6	0,265	0,918	2:07:14	3:17:25	1,76	1629,4	310,9	0,42
	EXTERIOR	16:13:49	5:53:46	29,2	13,3	20,6	8,7								
	INTERIOR	19:23:55	6:58:27	25,8	15,4	19,9	5,9								
	EXTERIOR	16:06:31	6:01:23	28,1	12,9	20,1	8,0								
	SUMERGIDO	0:54:14	11:06:35	19,7	17,9	18,7									

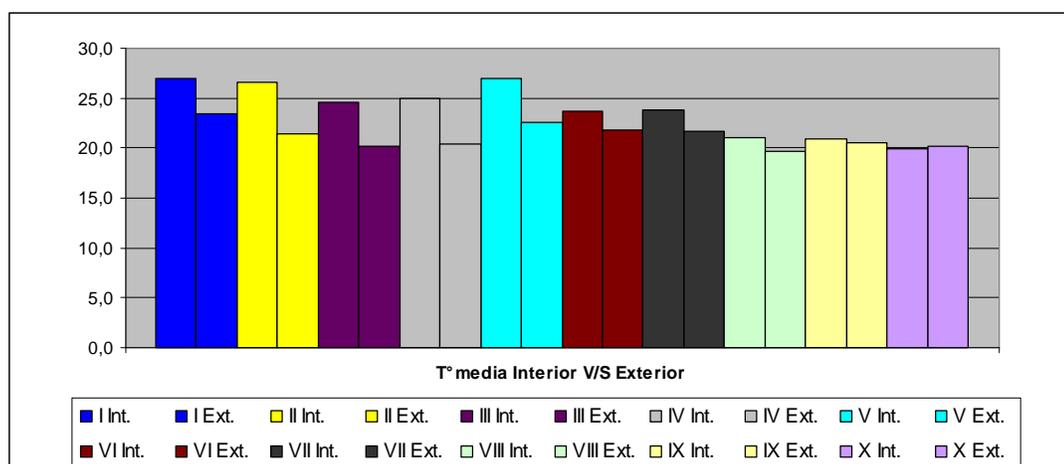
4.8 GRÁFICOS DE RESULTADOS.

- Análisis de temperaturas media Interiores v/s Exteriores.

Tabla 27: Resumen de Temperaturas Medias.

RESUMEN DE ENSAYOS	Tm Int	Tm Ext
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	27,0	23,4
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	26,6	21,4
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	24,6	20,2
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	25,0	20,4
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	27,0	22,6
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	23,7	21,8
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	23,8	21,7
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	21,0	19,7
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	21,0	20,6
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	19,9	20,1

Gráfico 12: Temperaturas Medias. Izquierda Interior v/s Derecha Exterior.



COMENTARIO:

Para este gráfico, es preciso comentar que las temperaturas medias interiores (Izq.) superan a las exteriores (Der.) en nueve de los diez casos ensayados.

Notar que los primeros cinco ensayos corresponden a los del tipo no ventilados, y los últimos cinco a los ventilados en cualquiera de sus formas, ventilación nocturna, permanente o nocturna forzada, junto con esto observar que las brechas entre las medias es notoriamente más pequeña en los casos ventilados, y esto tiene relación con las bajas temperaturas nocturnas que se alcanzan en estos casos, cosa que baja el promedio diario y consecuentemente, el semanal.

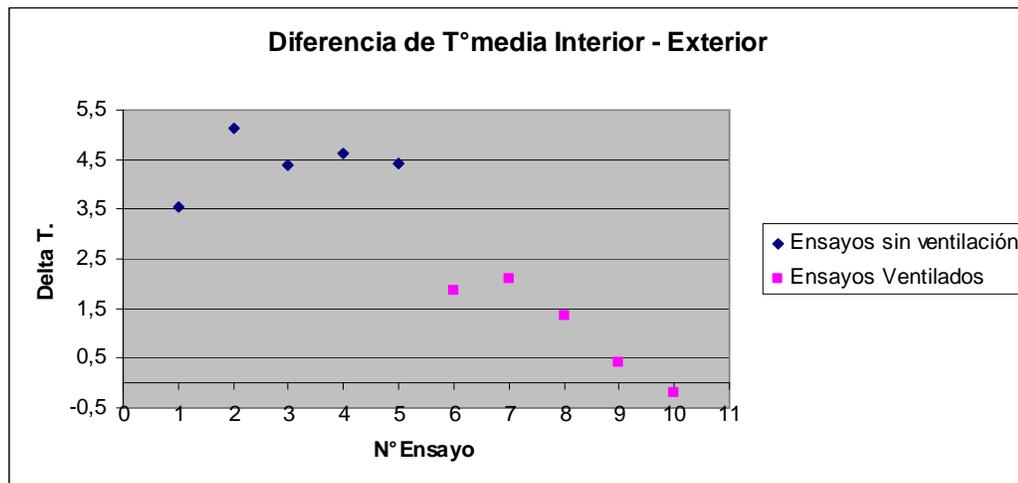
Como última cosa es necesario notar que el único ensayo que fue capaz de mantener la temperatura media interior por bajo la exterior, es el ensayo X, que corresponde al caso de ventilación nocturna forzada con 925 litros de agua en su interior.

- Análisis de la diferencia entre las temperaturas media Interiores v/s las exteriores.

Tabla 28: Diferencia entre temperaturas medias.

RESUMEN DE ENSAYOS	$\Delta T (T_m \text{ Int} - T_m \text{ Ext})$
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	3,5
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	5,1
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	4,4
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	4,6
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	4,4
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	1,9
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	2,1
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	1,4
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	0,4
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	-0,2

Gráfico 13: Diferencia entre temperaturas medias.



COMENTARIO:

Notar que los ensayos ventilados (los últimos cinco), tienen diferencias de temperaturas medias bastante mas bajas que los ensayos no ventilados.

Los ensayos con diferencias más bajas corresponden a los ensayos IX y X, que son aquellos con ventilación nocturna forzada y de entre ambos, la presencia de agua ayuda a reducir aun más esta diferencia, al punto de hacerla negativa.

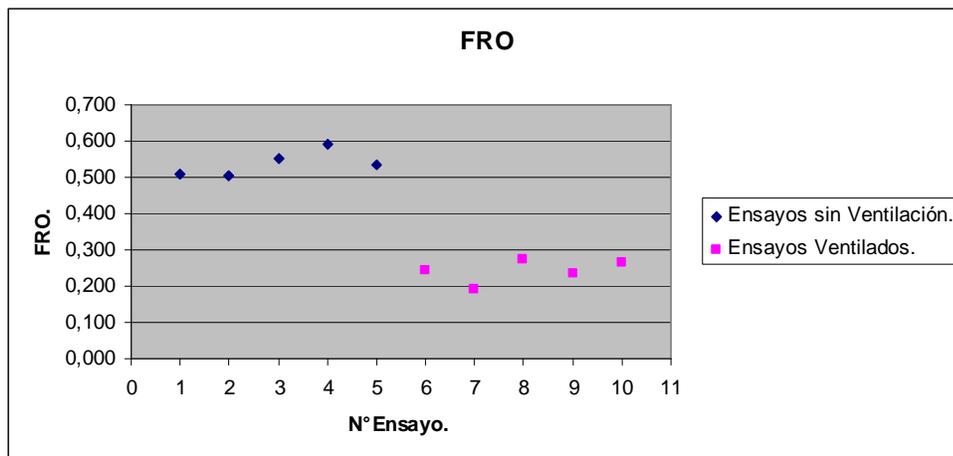
El ensayo ventilado peor evaluado en este caso, es el VII, que corresponde al de ventilación permanente, y el peor evaluado de los no ventilados, es el ensayo II, que corresponde al ensayo sin agua y ventana descubierta. En este punto empieza a parecer claro que los peores comportamientos se deben a la presencia de radiación, la ausencia de masa efusiva al interior de la caseta. La acción de la masa se hace evidente al comparar los ensayos II y V, ambos a ventana descubierta, la diferencia a favor del V, es exclusivamente a la presencia de agua en el interior.

- Análisis del factor de reducción de onda, FRO ($1 - (A_{int}/A_{ext})$).

Tabla 29: FRO obtenido para cada ensayo.

RESUMEN DE ENSAYOS	FRO
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	0,508
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	0,503
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	0,554
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,592
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,534
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	0,243
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	0,191
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	0,275
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	0,235
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,265

Grafico 14: FRO obtenido para cada ensayo.



COMENTARIO:

En este caso es claro ver que los primeros 5 ensayos, o no ventilados, reducen la oscilación diaria más que los ventilados, esto responde a que durante la ventilación nocturna, las temperaturas mínimas dentro de la caseta caen a valores más bajos que si ésta no se ventilara, por lo que la amplitud de la onda diaria aumenta, bajando con esto los valores del FRO.

Dentro de los ensayos no ventilados, el que más amortigua, es el ensayo IV, que justamente corresponde al ensayo con más agua y ventana tapada. Además al observar los ensayos III y V, se aprecia un comportamiento similar, el primero con 325 litros de agua pero con ventana tapada, y el V con 925 litros, pero con ventana descubierta, en este caso, pareciera que son los 600 litros extra de agua los que contrarrestan en el efecto de la radiación que ingresa por 1 m^2 de ventana.

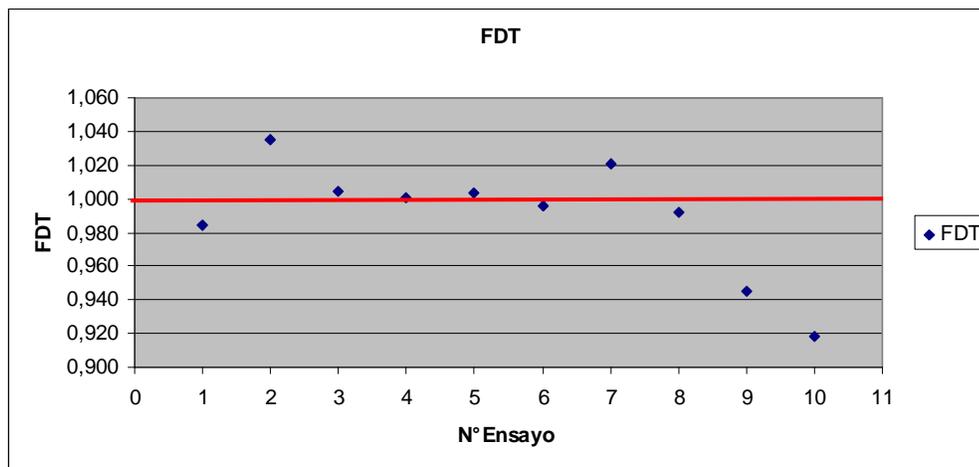
En los ensayos ventilados, nuevamente el peor evaluado de todos, es el ensayos VII, con ventilación permanente, reduciendo apenas un 19% de la onda exterior. Recordar que el FRO ideal bordea el 70%, y el ensayo que mas se asimila a esto, es precisamente el ensayo IV, con un valor del 59,2%, que corresponde al mejor resultado logrado.

- Análisis del factor de disminución de la temperatura FDT (T_{max_int}/T_{max_ext}).

Tabla 30: FDT obtenido para cada ensayo.

RESUMEN DE ENSAYOS	FDT
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	0,985
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	1,035
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	1,005
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	1,000
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	1,003
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	0,996
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	1,021
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	0,992
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	0,945
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,918

Grafico 15: FDT obtenido para cada ensayo.



COMENTARIO:

La línea roja corresponde a un FDT igual a 1, esto quiere decir que el peak interior es idéntico al peak exterior, por lo que todos los ensayos que están por sobre esta línea, en el peak, fueron más calientes que el registro exterior, por lo que se sobre entiende, que el ideal es estar por debajo de esta línea, según el caso ideal el FDT debiera bordear el 79%, cosa que en todos los ensayos está muy lejos de lograrse.

Es claro observar que los ensayos con mejor comportamiento, son los dos últimos, que corresponden a aquellos con ventilación nocturna forzada, entre los cuales, el mejor de los casos, la reducción de la temperatura máxima exterior llegó a ser de un 8,2%, en la experiencia X. El ensayo ventilado peor evaluado, es el de ventilación permanente, siendo un 2,1% mas caliente que el exterior.

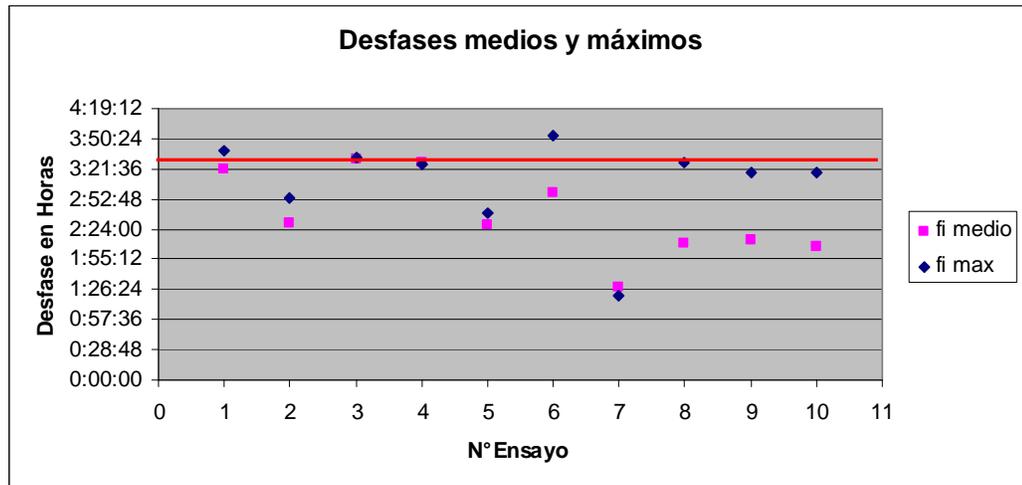
De los ensayos no ventilados, es evidente observar que el II, es aquel con peor comportamiento, ya que permite el paso de radiación y no tiene masa efusiva en su interior que impida el aumento de la temperatura, cosa que cambia en el ensayo V, que también permite el paso de radiación, pero, tiene 925 litros de agua, que impiden tener valores tan altos de FDT.

- Análisis de desfases medios y máximos.

Tabla 31: Desfases medios y máximos obtenidos para cada ensayo.

RESUMEN DE ENSAYOS	ϕ medio	ϕ máx.	Diferencia
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	3:21:54	3:38:37	0:16:43
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	2:29:32	2:53:51	0:24:19
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	3:30:23	3:32:35	0:02:13
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	3:28:10	3:26:35	0:01:34
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	2:27:26	2:39:15	0:11:49
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	2:59:14	3:52:54	0:53:40
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	1:28:49	1:20:19	0:08:30
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	2:10:21	3:27:26	1:17:05
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	2:12:49	3:18:13	1:05:24
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L)	2:07:14	3:17:25	1:10:11

Gráfico 16: Desfases medios y máximos obtenidos para cada ensayo.



COMENTARIO:

Fue necesario calcular estos dos tipos de desfases porque, como resultado de la ventilación, el enfriamiento nocturno es más acelerado que el calentamiento diurno, y por tanto, los desfases asociados a las temperaturas extremas mínimas, son notablemente más bajos que los asociados a las extremas máximas, que es finalmente el desfase que nos interesa. Es claro ver este efecto, ya que en los ensayos ventilados del gráfico las diferencias entre ambos puntos del ensayo difieren consistentemente en valores que bordean 1 hr, en cambio los no ventilados, con diferencias despreciables de tan solo minutos.

La línea roja, representa, una tendencia más o menos general de los desfases máximos de todos los ensayos, donde podemos apreciar que una vivienda de albañilería genera un desfase de aproximadamente 3,5 hrs.

Nuevamente la experiencia peor evaluada corresponde al ensayo VII, ventilación permanente, que tiene el más bajo de los desfases, con un valor de 1,3 hrs.

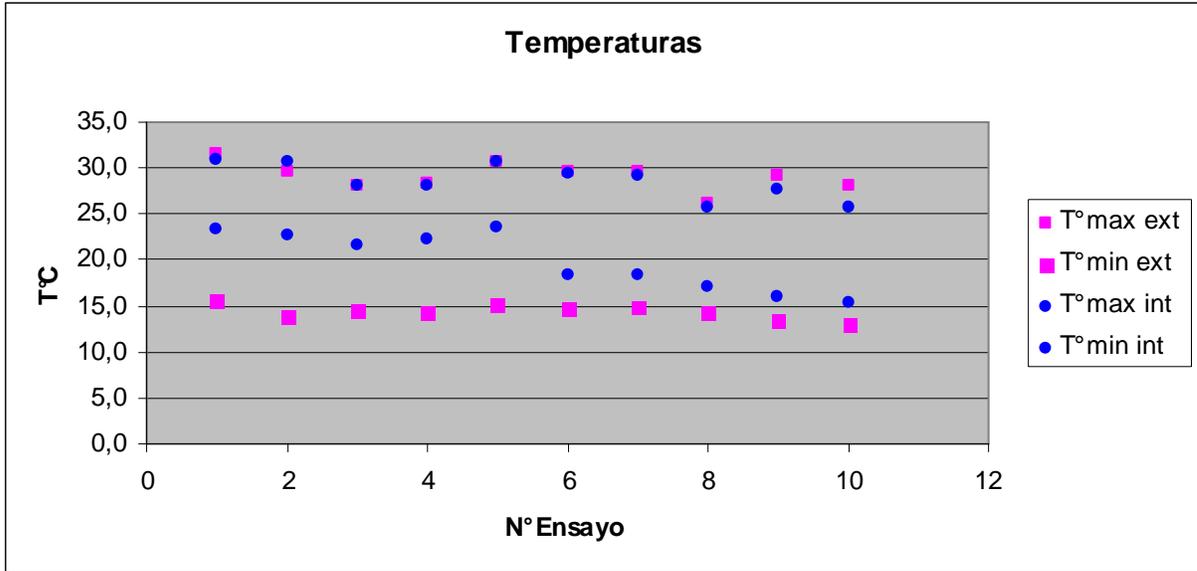
- Análisis de temperaturas extremas y amplitudes, exteriores e interiores.

Tabla 32: Resumen de temperaturas extremas y amplitudes.

RESUMEN DE ENSAYOS	T° max ext	T° min ext	Ae	Ai	T° max int	T° min int
I) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA TAPADA)	31,5	15,5	8,1	4,0	30,9	23,3
II) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA (VENTANA DESCUBIERTA)	29,5	13,9	8,1	4,0	30,6	22,7
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	28,0	14,4	7,8	3,5	28,0	21,6
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	28,2	14,3	7,8	3,2	28,2	22,2
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	30,7	15,1	8,2	3,8	30,8	23,5
VI) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 1 (VENTANA TAPADA)	29,7	14,7	7,9	5,9	29,4	18,4
VII) CASETA ABIERTA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN PERMANENTE (VENTANA TAPADA)	29,6	14,9	7,9	6,4	29,2	18,4
VIII) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA 2 (VENTANA TAPADA)	26,1	14,2	6,4	4,7	25,7	17,1
IX) CASETA CERRADA SIN TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (VENTANA TAPADA)	29,2	13,3	8,7	6,6	27,6	15,9
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	28,1	12,9	8,0	5,9	25,8	15,4

Para que los valores de esta tabla no parezcan extraños, hay que mencionar que el cálculo de la amplitud resultó del máximo de las amplitudes entre los sensores interiores, y las temperaturas extremas aquí mostradas corresponden al promedio de las temperaturas extremas para ambos sensores, por lo que las amplitudes aquí vistas, no necesariamente corresponden a la semi-oscilación térmica diaria, como es en teoría.

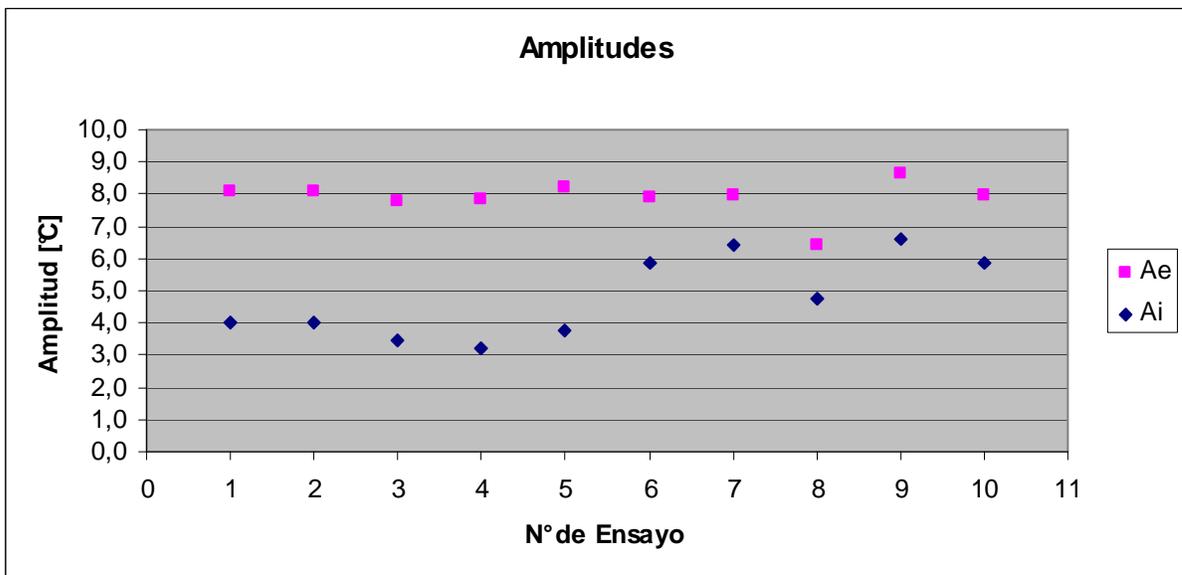
Grafico 17: Temperaturas extremas Interiores v/s Exteriores.



COMENTARIO:

Observando las temperaturas interiores, es claro notar que la diferencia entre las mínimas y las máximas son bastante más elevadas en los casos ventilados, cosa que parece estar mas clara aún, en el gráfico de amplitudes. Esto tiene relación con el hecho de que los ensayos ventilados generan mínimas más bajas que los no ventilados, no teniendo gran diferencia respecto de las temperaturas máximas alcanzadas.

Gráfico 18: Amplitudes Interiores y Exteriores para cada ensayo.



COMENTARIO FINAL:

Idealmente, como fue visto en capítulos introductorios, se quisiera una amplitud final interior de alrededor de 2,5 °C, esto para estar en todo momento dentro del rango de confort. El ensayo que mejor logra esta condición es el ensayo a ventana tapada y gran masa efusiva al interior, que logra una amplitud de 3,2 °C. El problema de este ensayo con buen amortiguamiento, es que las temperaturas mínimas logradas son muy elevadas, en general la mínima promedio de los ensayos no ventilados esta en la cercanía de los 23 °C, o sea, a las horas de temperaturas mínimas, las personas al interior están en el límite superior de temperatura aceptable. Por esta razón, las altas amplitudes logradas por los ensayos ventilados se consideran deseables, porque logran temperaturas mínimas, que concuerdas con las mínimas agradables, con valores cercanos a los 16 o 18°C. Por otra parte, esta condición de ventilación, como será graficada más adelante, logra que aumente significativamente el tiempo de permanencia dentro del rango de confort.

El problema con la caseta de prueba es que a pesar de tener un buen comportamiento al momento de ventilar, no logra evitar las altas temperaturas de la tarde, logrando como máximo valores de FDT de 0,918, es decir, la temperatura máxima interior no difiere de la exterior significativamente, esto podría deberse a que la masa de la envolvente, en este caso albañilería de 14 cm, se ve saturada de calor en todos los casos ensayados, por lo que el muro logra, en algún momento del día, entrar en un estado de régimen permanente y, por lo tanto, liberar hacia el interior de la caseta tanto calor como éste recibe. Soluciones para este problema, se sugieren dos:

- a) Aumentar la capacidad calórica del muro, esto puede lograrse, aumentando su espesor, o bien, construyendo con materiales más densos.
- b) O bien, intentar una disminución del calor que incide sobre el muro efusivo, esto podría lograrse colocando una segunda capa, esta vez de baja difusividad por la cara exterior del elemento efusivo de la envolvente.

En cuanto al comportamiento de los tambores de agua, podemos mostrar el resultado final.

Tabla 33: Variación de temperatura del aire debido a la presencia de tambores con agua.

RESUMEN DE ENSAYOS	°C Aire/min
III) CASETA CERRADA CON 2 TAMBORES DE AGUA (325 L, VENTANA TAPADA)	0,21
IV) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,44
V) CASETA ABIERTA CON 5 TAMBORES DE AGUA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,44
X) CASETA CERRADA CON 5 TAMBORES DE AGUA, VENTILACIÓN NOCTURNA FORZADA (925 L, VENTANA TAPADA)	0,42

Los datos obtenidos son bastante estables y se puede, a simple vista, ver que la tendencia no responde a un aumento del consumo calórico de los tambores proporcional a su volumen, es decir, no por agregar el doble de masa efusiva, se logran bajas en la temperatura doblemente intensas. Ahora bien, es claro que mientras más masa efusiva exista, mayor es el efecto reductor de la temperatura interior, pero la forma de la curva, o bien, la forma en que estos parámetros se relacionan, no es posible determinarla con los datos obtenidos de los ensayos realizados y podrá ser parte de estudios posteriores.

Es importante también en este punto, discutir o comentar el supuesto que hay detrás de estos valores. Como bien fue visto en el capítulo de tratamiento de datos, se asumió que el calor absorbido por el agua, calculado a partir de su diferencia de temperatura, es igual al calor cedido por el volumen de aire dentro de la caseta. Al decir esto se están asumiendo ciertas condiciones:

a) El calor transferido por la ventilación es despreciable: Si contamos con perfiles diarios de temperatura mas o menos estables, y con esto se quiere decir que las temperaturas medias y oscilaciones diarias no difieren significativamente de un día a otro, lo que estará sucediendo dentro de la caseta con los tambores, es que estos van a lograr una temperatura media en torno a la cual van a oscilar, con un periodo de 24 hrs, esto quiere decir, que durante la mitad del tiempo (12 hrs), el agua va estar experimentando un proceso de calentamiento, y la otra mitad otro de enfriamiento, por lo que podríamos decir que la ventilación estaría aportando calor tantas horas como el tiempo en que estaría quitando a lo largo del día, experimentando así un aporte más bien despreciable. De otra manera los tambores aumentarían infinitamente de temperatura o bien, disminuirían ésta de la misma forma.

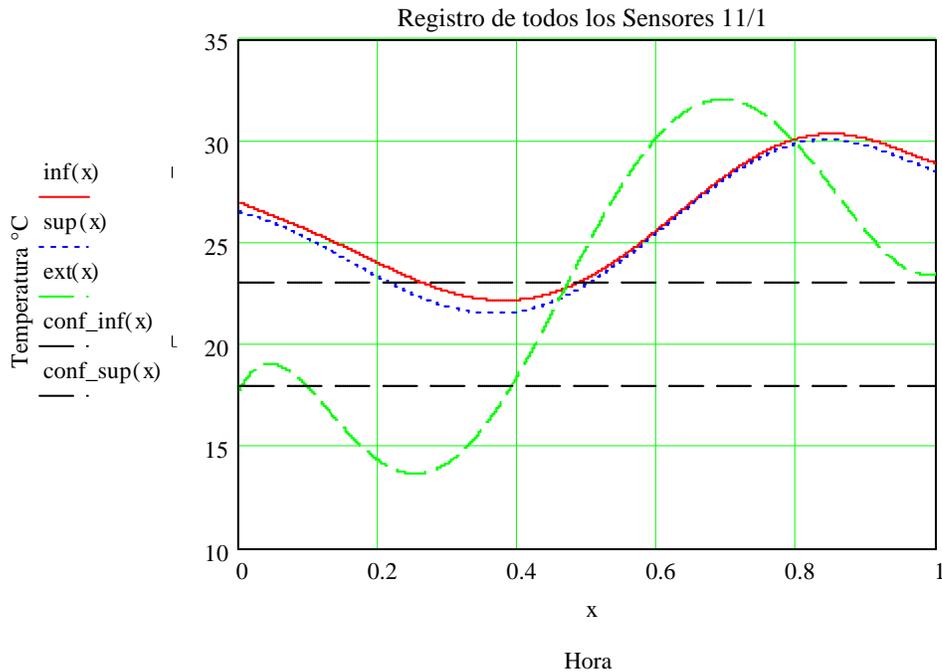
b) El otro punto en cuestión, tiene relación con el efecto radiativo de los muros sobre los tambores: Puede suceder, que parte del calor absorbido por los tambores, provenga no del aire circundante a éstos, sino que, directamente de los muros calientes que irradian sobre los tambores. Para intentar conocer el flujo de calor irradiado por los muros, se debería contar con un perfil continuo de la temperatura superficial de éstos, cosa que en este estudio no se abordó, y como segunda cosa sería necesario conocer la emisividad del material de los tambores, además del comportamiento entre una cara plana radiante y una cilíndrica absorbente. Dicho esto, es claro darse cuenta, que no es posible determinar con los datos con que se cuenta, la cantidad de calor absorbida por esta vía.

Entonces podemos concluir, que si bien no conocemos la cantidad de calor absorbida por radiación, y despreciando los efectos ventilativos, entonces, la variación calculada como °C aire/min, correspondería a una cota máxima, ya que si parte del calor absorbido por al agua, no provino del aire sino directamente de los muros, entonces la variación de temperatura del aire debiera ser menor, así, si el efecto de los muros fuese despreciable, entonces la tasa de variación de temperatura calculada correspondería efectivamente a la tasa experimentada por el aire dentro de la caseta.

4.9 COMPORTAMIENTO EN EL RANGO DE CONFORT.

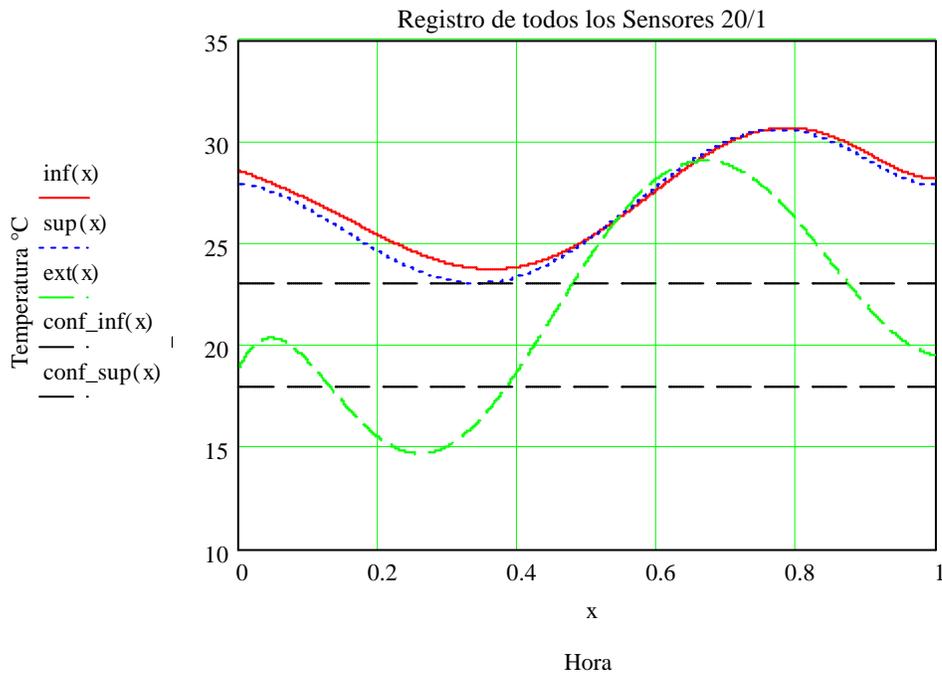
En este punto se realizará un análisis de gráficos representativos de cada ensayo para evaluar el comportamiento de cada caso en el rango de confort.

- Ensayo I. Ventana tapada sin agua.



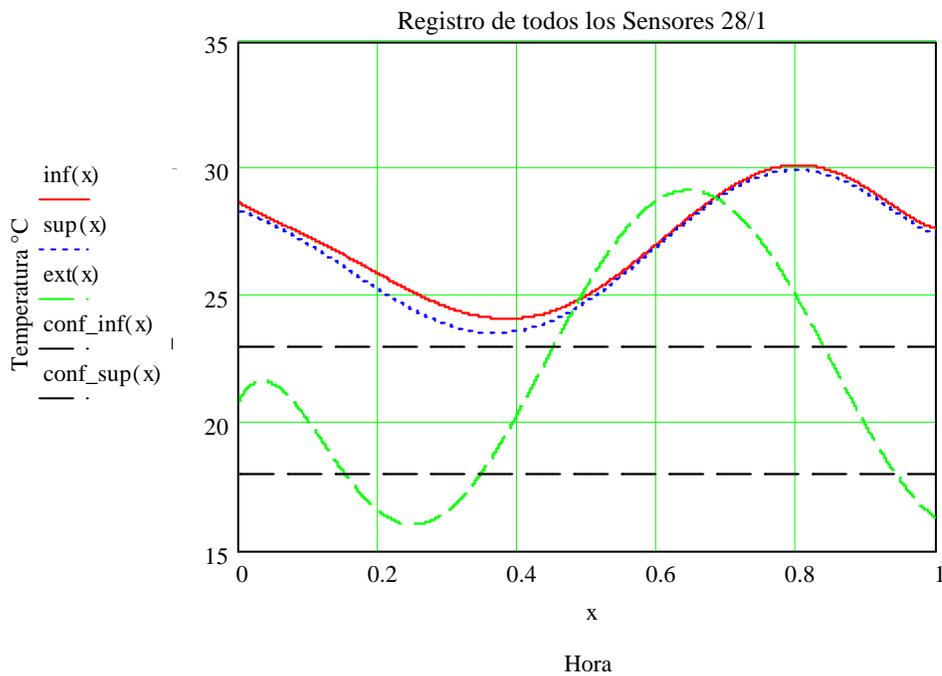
En este caso se observa un pobre acercamiento al rango de confort, solo pocas horas dentro de la mañana la caseta se encuentra en este rango, se experimenta sensación de disconfort la mayoría del tiempo.

- Ensayo II. Ventana descubierta sin agua.

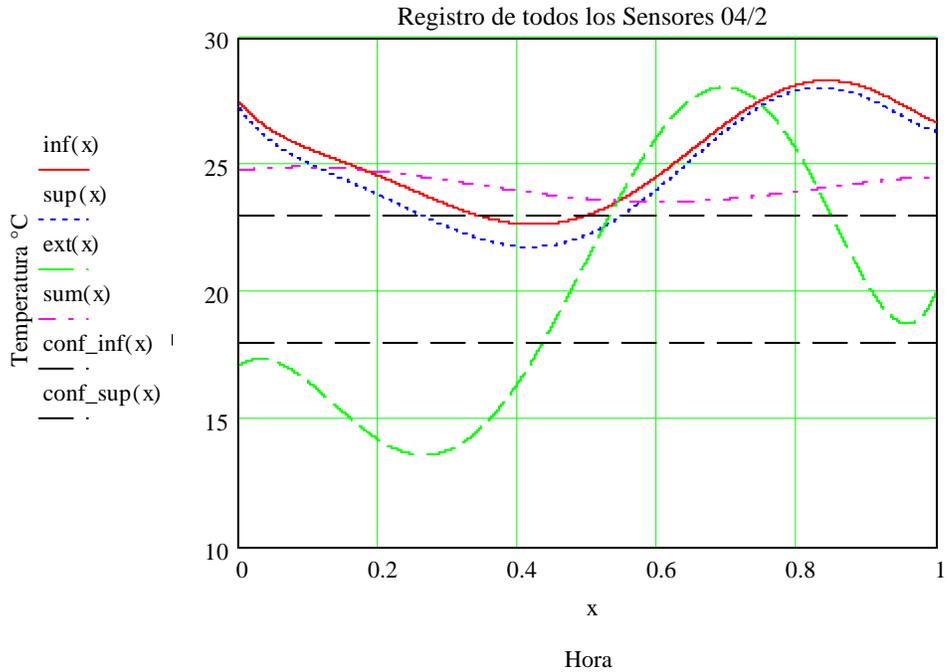


En este caso la pequeña incursión dentro del rango de confort ha desaparecido, y la diferencia está en que se ha permitido el paso de radiación al interior de la caseta.

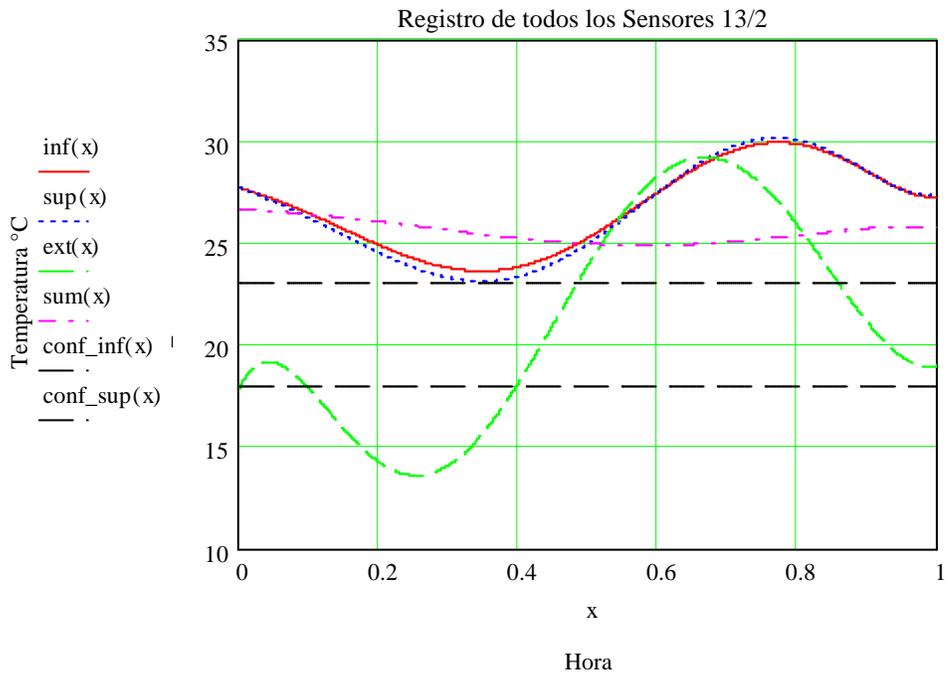
- Ensayo III. Ventana tapada, 325 lt.



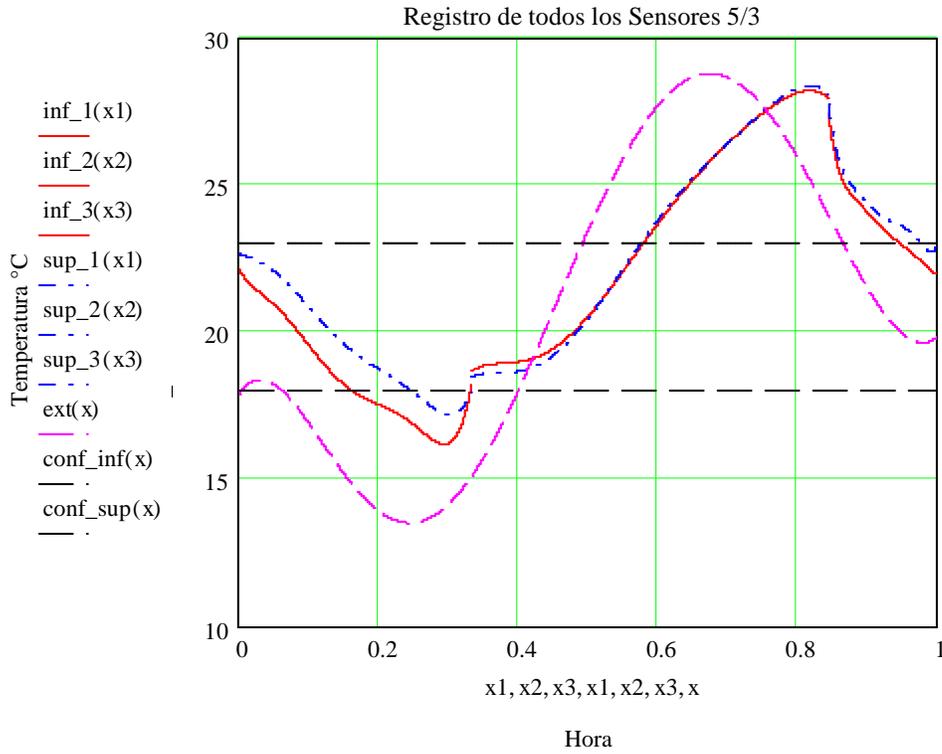
- Ensayo IV. Ventana tapada, 925 lt.



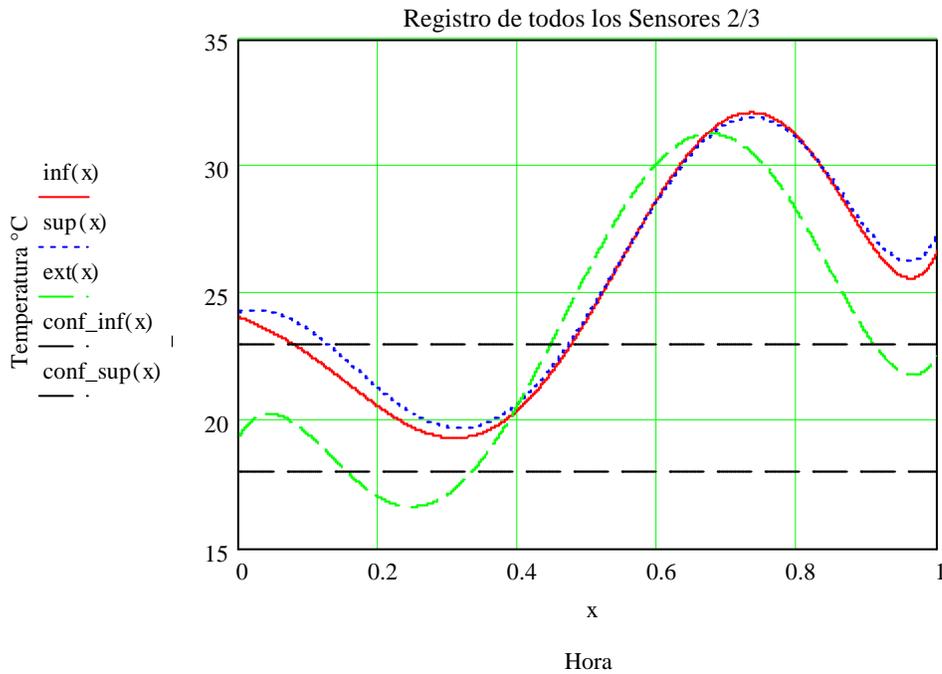
- Ensayo V. Ventana descubierta, 925 lt.



- Ensayo VI. Ventilación nocturna I.

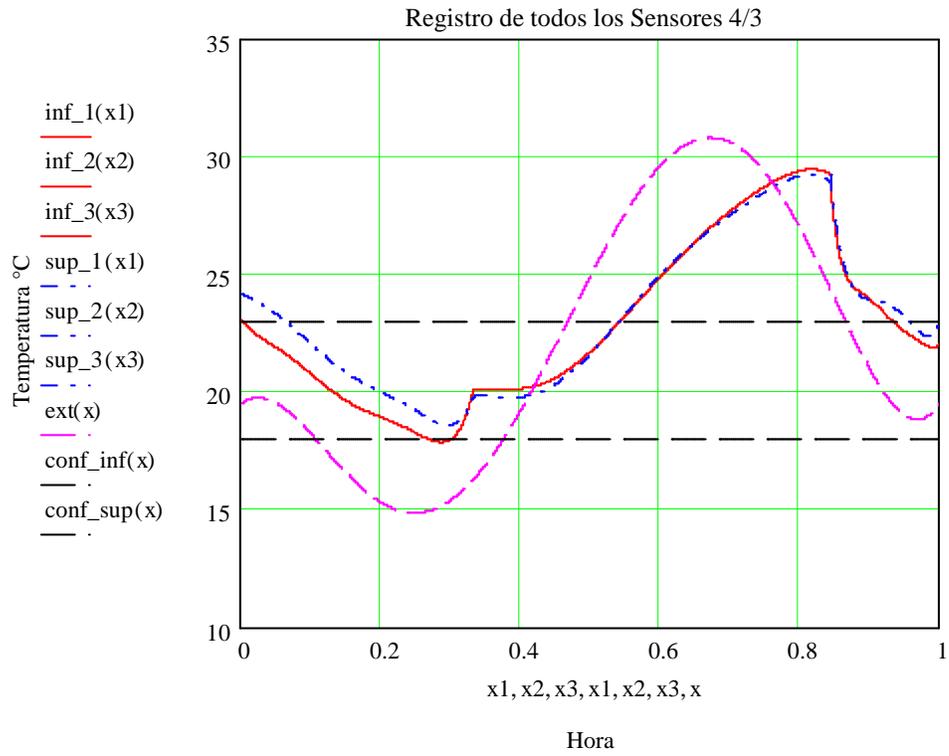


- Ensayo VII. Ventilación permanente.

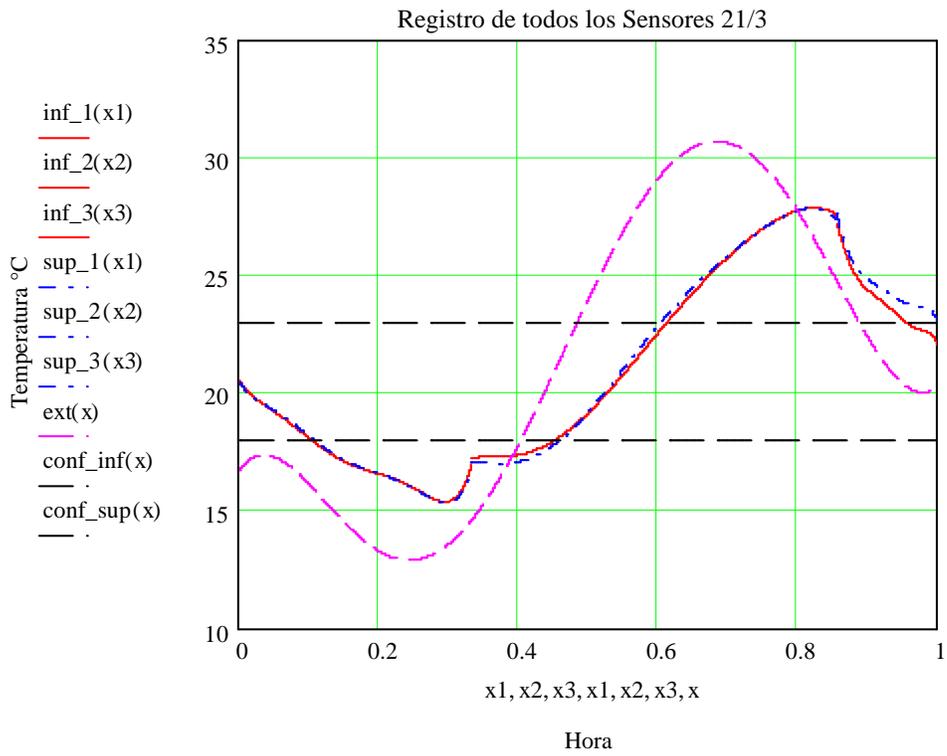


Es evidente e importante notar, que a partir de los ensayos ventilados, la incursión en el rango de confort por parte del registro interior, se hace importante, llegando a estar alrededor de un 50 y hasta un 60% del tiempo dentro de este rango, cosa altamente deseable.

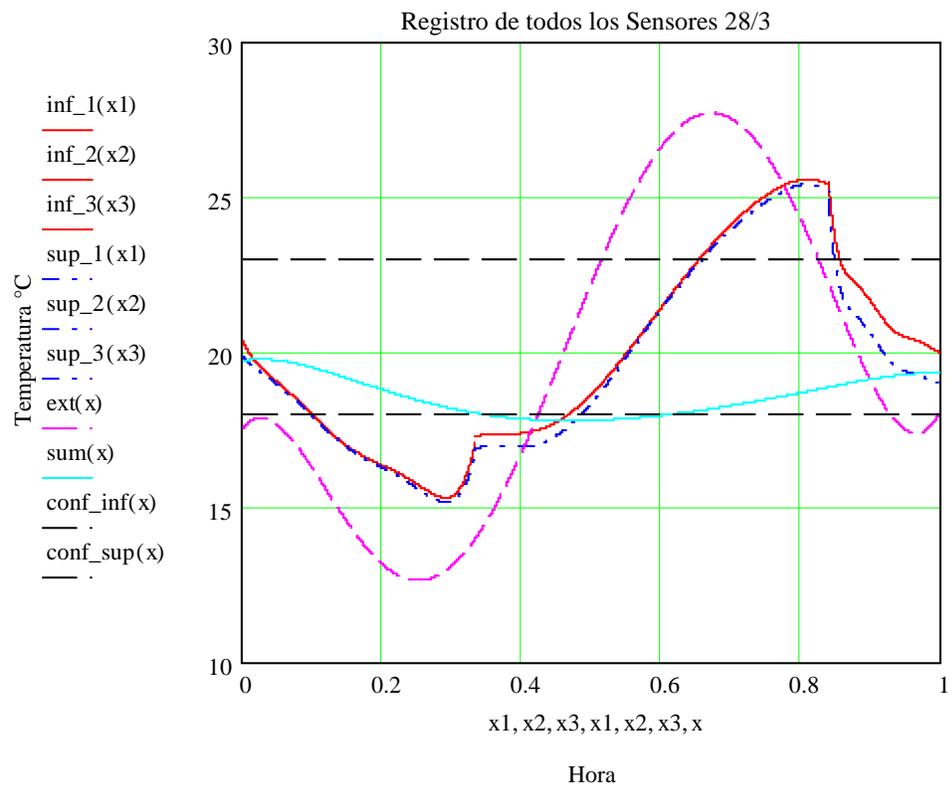
- Ensayo VIII. Ventilación nocturna II.



- Ensayo IX. Ventilación nocturna forzada sin agua.



- Ensayo X. Ventilación Nocturna Forzada y 925 lt.



Para todos los casos anteriores, es importante destacar que, es la ventilación nocturna el factor que logra hacer penetrar en el rango de confort al registro interior, estando en el mejor de los ensayos, con ventilación forzada y agua, una importante fracción del tiempo dentro del rango. A pesar de esto, hay que mencionar que este ensayo, fue realizado durante la última semana de Marzo, y los resultados pueden no ser directamente comparables con ensayos realizados durante la primera semana de Enero y, como antes fue mencionado ya, lo que falta es lograr una reducción de las temperaturas máximas interiores, para poder contar con una vivienda confortable.

CAPÍTULO V : CONCLUSIONES EXPERIMENTALES.

Para una caseta de albañilería como la ensayada, existe un desfase promedio de alrededor de 3,5 horas, éste es quizás el parámetro menos sensible de todos los estudiados, el que podríamos decir tiene una dependencia más directa de la materialidad de la vivienda, más que de las condiciones de uso que ésta tenga.

En los casos donde se aisló de radiación la caseta, es decir, se utilizó tapa de ventana, se experimentaron grandes amortiguamientos, en otras palabras, grandes FRO (factor de reducción de la onda), esto se debe principalmente a la incapacidad de la caseta de enfriarse durante la noche, por ésta razón se lograron ondas bastante amortiguadas, pero, donde los mínimos de temperatura diaria superaban los máximos tolerables según la banda de confort dada, entre 18 y 23 °C, teniendo incursiones en el rango de confort diminutas, o más bien nulas, esto por supuesto no es lo que se busca, y hubo que sacrificar amortiguamiento, con tal de incursionar en la banda de confort durante más horas al día. Para esto se intentó disminuir las temperaturas mínimas, mejorando la ventilación durante la noche, obteniendo con este sistema, resultados bastante favorables en términos de horas dentro del rango deseable, incluso llegando con esto a lograr una disminución de las temperaturas máximas de casi un 10%, esto porque se le permitió a la caseta comenzar cada nuevo día mas fresca que en los casos no ventilados.

Los tipos de ventilación considerados fueron esencialmente dos, natural y forzado, logrando resultados notoriamente mejores, en los eventos forzados. Podríamos entonces concluir de manera directa, que el comportamiento de la masa durante condición de verano, es bastante correcto, pero, se necesita un período de enfriamiento, para lo cual es necesaria la ventilación nocturna. Ahora, en cuanto a los peaks térmicos logrados al interior, en la mayoría de los casos, corresponden a valores muy similares a los exteriores, cosa que nos habla de un muro que durante el día alcanzó a saturar su capacidad calórica, es decir, si lo que se intentó fue controlar el peak interior disponiendo un cerramiento con masa, entonces, una masa de 14 cm de albañilería, es insuficiente.

También hubo un aporte de la masa incorporada, representada por los tambores de agua, donde se evidenciaron los aumentos en los amortiguamientos y en los desfases. Hay que decir, que la masa efusiva incorporada al interior de una vivienda, funciona esencialmente como un equalizador de la temperatura, absorbiendo calor durante las horas más calurosas, disminuyendo con esto la temperatura, y restituyendo este calor absorbido durante las horas más frías, es decir, disminuye las temperaturas máximas y aumenta las mínimas. Una observación importante, que nace del registro continuo de la temperatura del agua en los tambores, es que, despreciando el efecto de la ventilación, se pudo calcular una cota superior para la disminución de la temperatura del aire al interior de la caseta debido a la presencia de los tambores, y ésta, para 925 litros de agua incorporados llegó a 0.4 °C/min. Lo que este estudio no es capaz de discernir, es el aporte a esta tasa de la radiación directa de los muros, y el aporte convectivo del aire circundante a los tambores. Lo que si es claro, es que el aporte de los tambores pudo ser mucho más importante si la convección al interior de éstos hubiese sido forzada, por ejemplo, con un agitador, esto hubiese mejorado la transferencia de calor entre los tambores y el aire, disminuyendo de paso con esto la incidencia porcentual del aporte radiativo de los muros, validando así la hipótesis considerada, aquella que asume que el calor transferido a los tambores es íntegramente un aporte convectivo del aire circundante a estos.

Fue evidente en los diez ensayos realizados, que el peor comportamiento, en términos de desfase, amortiguamiento e incursión en la banda de confort, lo manifestó el ensayo de ventilación permanente. Este ensayo tal vez no tenga un peso teórico muy grande, pero en la práctica doméstica, es tal vez lo más utilizado

En la literatura, generalmente se desprecia, o mejor dicho, ni siquiera se menciona, el aporte de la masa efusiva, como parte de los factores que pueden ayudar al control térmico, mejorando el confort de los habitantes de una vivienda, este estudio demuestra, que sí existe un aporte al amortiguamiento y al desfase, por parte de grandes volúmenes efusivos incorporados al interior, y podrá ser parte de otro estudio posterior, estimar cual es la “cantidad de efusividad” necesaria para ecualizar una cierta onda térmica exterior, pero la evidencia de la influencia de esta propiedad queda claramente demostrada y como consecuencia directa podemos mencionar, que la totalidad de las tabiquerías interiores de cualquier vivienda, a diferencia de la tendencia nacional que apunta en la línea de tabiques livianos, debiesen ser construidos de material pesado, que constituyan un aporte a la efusividad interior.

CAPÍTULO VI : MODELO TEÓRICO 3D.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO.

El problema que se analizará en esta sección, es el de los distintos comportamientos que tienen viviendas construidas con distintos materiales, en distintas zonas climáticas, y en particular, se analizará el comportamiento, o más bien, la influencia de la masa en los muros perimetrales, para efectos del confort térmico interior. Así, las casetas digitales elaboradas, tienen las mismas dimensiones y éstas son las correspondientes a la caseta construida y ensayada en la sección experimental anterior, en la mayoría de los casos la misma aislación de techo, la misma puerta y por último la misma ventana, esto para comparar los distintos niveles de consumo anual, al variar únicamente las propiedades de los muros.

5.2 SOFTWARE Y REGISTROS CLIMÁTICOS UTILIZADOS.

El Software utilizado para estos efectos fue ECOTECT¹⁴, un programa de modelamiento energitético, desarrollado por el Dr. Andrew J. Marsh y “square one”, del que está disponible en la Internet, una versión de prueba, que se pudo utilizar para estos efectos.

Los registros climáticos de las ciudades utilizadas son datos pertenecientes a la IWEC (International Weather for Energy Calculations), que son datos simulados por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers).

Las ciudades simuladas, obteniendo sus respectivos registros climáticos, fueron:¹⁵

- Antofagasta.
- Santiago.
- Concepción.
- Punta Arenas.

Junto con correr los modelos de las casetas con cada registro climático, las condiciones internas consideradas para cada una fueron las siguientes:

- Ganancias internas nulas.
- Caseta desocupada durante las 24 hrs (no hay habitantes).
- La banda de confort utilizada fue de 18 – 23 °C.
- La tasa de ventilación fue de 0,5 renovaciones por hora, durante las 24 hrs.

¹⁴ <http://squil.com/products/ecotect>, Versión de prueba.

¹⁵ Registros climáticos obtenidos desde, U.S Department of Energy.

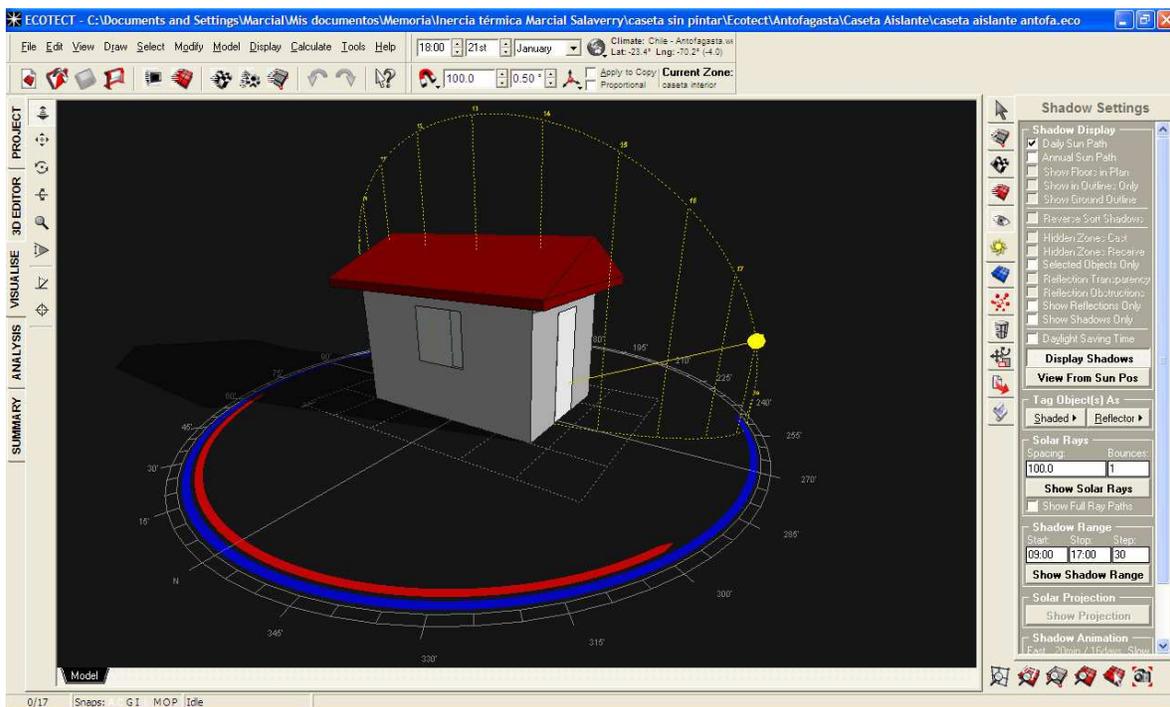
http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=CHL/cname=Chile

5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CASETAS TEÓRICAS.

Se realizaron distintos modelos de casetas de prueba, seis en total. Cinco de ellas fueron ensayadas sin diferencias en las cuatro ciudades escogidas a lo largo de Chile y otra que corresponde a una que exclusivamente cumple con la exigencia de la norma para cada ciudad y por lo tanto es distinta en cada caso.

La totalidad de las casetas cuentan con el mismo tamaño, tipo de puerta, ventana y orientación, y salvo la caseta generada por norma, todas tienen la misma aislación de techo. Por supuesto la caseta por norma tiene la aislación de techo que le corresponde según la OGUC.

Ilustración 7: Caseta modelada en ECOTECT.



IMPORTANTE:

Las casetas modeladas, corresponden a modelos teóricos, donde no ha sido considerada la problemática constructiva, por no considerarse realmente relevante para el análisis del consumo energético de una vivienda. Es por esta razón que, para los casos con aislación exterior, no se ha considerado en el modelo un revestimiento, ya que, como se verá más adelante, en las características de cada caseta, la menor aislación considerada es de 100 mm de espesor y por lo tanto, se consideró despreciable en términos de aporte a la resistencia térmica total, la existencia, de un revestimiento de madera de 10 mm o bien, de un estuco de entre 10 y 20 mm. El aporte de estos revestimientos, a la resistencia, así como a la efusividad del muro, se consideró menor, por lo que finalmente el modelo considera poliestireno expandido a la vista como revestimiento exterior. Lo mismo para el caso de los cielos, donde no se consideró la colocación de 10 mm de yeso-cartón, por considerar que su aporte era despreciable frente a 200 mm de polietileno.

Ahora se procede a describir cada caseta en particular:

5.3.1 CASETA SEGÚN LEGISLACIÓN (OGUC artículo 4.1.10).

Esta caseta fue modelada como si fuera únicamente de poliestireno, sin revestimientos de ningún tipo, esto para poder llevar la normativa vigente al límite de su tolerancia, ya que para espesores de aislación bajos, es posible que los revestimientos de terminaciones afecten el comportamiento térmico de la caseta, quedando en algunos casos por encima de los mínimos exigidos por la norma.

La exigencia de la norma existente (OGUC), es la siguiente:

Tabla 34: Resistencias mínimas para cada elemento de la envolvente.¹⁶

	Zona	Muros		Techumbres		Ventanas
		U max	R min	U max	R min	% max
Antofagasta	1	4	0,25	0,84	1,19	50%
Santiago	3	1,9	0,53	0,47	2,13	25%
Concepción	4	1,7	0,59	0,38	2,63	21%
Punta Arenas	7	0,6	1,67	0,25	4	12%

Para lograr estas resistencias mínimas, o bien, transmitancias máximas, según guste el lector, se utilizaron las resistencias superficiales asociadas a cada elemento, éstas son:

Tabla 35: Resistencias superficiales para cada elemento [m² K/W].¹⁷

	Zona	Muros		Techumbres		Rs Totales	
		Rsi	Rse	Rsi	Rse	Muros	Techumbre
Antofagasta	1	0,12	0,05	0,1	0,1	0,17	0,2
Santiago	3	0,12	0,05	0,1	0,1	0,17	0,2
Concepción	4	0,12	0,05	0,1	0,1	0,17	0,2
Punta Arenas	7	0,12	0	0,1	0,1	0,12	0,2

Con estos valores, y según lo expuesto en el capítulo de transferencia de calor, es posible calcular un espesor para muros y cielo, tal que cumplan con la exigencia de la norma. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 36: Espesores necesarios de aislapol en muros y cielo, para cumplir con la OGUC.

	Caseta Teórica solo de aislapol, según norma.				
	λ [w/m°C]	e Muro [m]	Rt Muros [m ² °C/w]	e Techumbre [m]	Rt Techumbre [m ² °C/w]
Antofagasta	0,043	0,0034	0,25	0,0426	1,19
Santiago	0,043	0,0155	0,53	0,0830	2,13
Concepción	0,043	0,0181	0,59	0,1045	2,63
Punta Arenas	0,043	0,0667	1,67	0,1634	4,00

5.3.2 CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD.

¹⁶ Datos obtenidos de la OGUC.

¹⁷ Datos obtenidos de la NCh 853.

Para el modelo de esta caseta se consideraron los siguientes parámetros:

- Cielo: Poliestireno expandido 200 mm.
- Puerta: Puerta 0,70 x 2 m
Espesor de 4,5 cm, de madera terciada de 3 mm rellena con lana mineral
Orientación Poniente.
- Ventana: 1 x 1 m, vidrio simple con marco de aluminio.
Orientación Norte.
- Base: Radier de hormigón de 2,45 x 3,68 m
Espesor de 7 cm sobre terreno.
- Muros: Ladrillo prensado a máquina 29 x 14 x 7, con cantería de 1,5 cm.

Esta caseta se considera la base del análisis, por dos razones: la primera de ellas, es que corresponde exactamente a la caseta construida para la parte experimental, con las mismas dimensiones y aislaciones, a diferencia que el modelo digital cuenta con 50 mm extra de aislación de techo, esto para poder cumplir con la normativa de aislación de techo en la zona 7. Pero, a pesar de esta diferencia otorga una visión bastante cercana al comportamiento anual de la caseta instrumentada. Y como segunda razón, es importante analizar este caso, porque, la albañilería de estas características es, tal vez, el tipo de construcción que se encuentra con mayor facilidad en una ciudad como Santiago, y por lo tanto es imperioso conocer su comportamiento anual, para así poder comparar esta solución típica con otras más eficientes.

El resto de las casetas tienen similares características, salvo por el espesor y la materialidad de los muros, así que, en los casos sucesivos, solo se describirá el tipo de muros considerados, ya que el resto permanece invariante.

5.3.3 CASETA AISLANTE.

Muros: Poliestireno expandido de 24 cm.

5.3.4 CASETA EFUSIVA

Muros: Albañilería de 24 cm.

5.3.5 CASETA MIXTA INTERIOR.

Muros: Albañilería de 14 cm.
Aislación Interior de Poliestireno expandido de 10 cm.

5.3.6 CASETA MIXTA EXTERIOR.

Muros: Albañilería de 14 cm.
Aislación Exterior de Poliestireno expandido de 10 cm.

5.4 RESULTADOS OBTENIDOS.

Para cada uno de los 24 casos posibles, es decir, seis casetas para cuatro ciudades, se calculó la demanda energética mensual para los casos de calefacción y refrigeración respectivamente. Hay que notar, que en este punto, se habla de demanda y no de consumo, ya que no se está considerando la eficiencia de los aparatos para llevar a cabo esta tarea, y se utilizó entonces una del 100% para ambos casos.

Luego, lo primero es analizar la demanda total anual y total anual por metro cuadrado para cada caseta en cada ciudad. Para estos efectos se muestra un resumen por ciudad con estos valores, junto con una gráfica donde se aprecian las diferencias en el comportamiento de cada modelo, para los distintos registros climáticos.

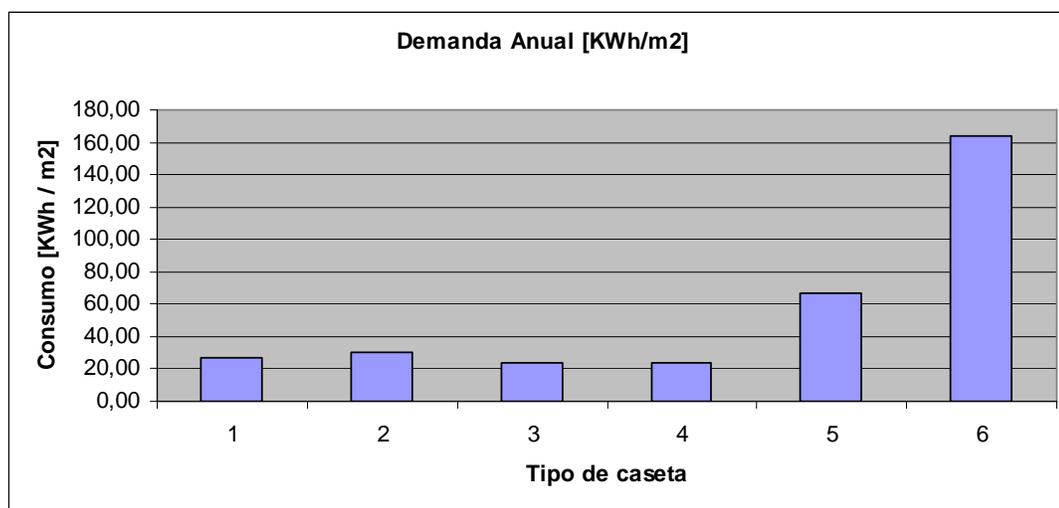
Se calculó también una demanda relativa a la máxima obtenida, sin considerar la caseta generada por norma, para así poder comparar comportamientos de casetas con igual aislación de techo, esto tiene por objeto eliminar los posibles errores de modelamiento, que pudiera generar dudas sobre los valores absolutos de la demanda. Al hacerlos relativos, asumimos los mismos errores para todos los casos, y por lo tanto las demandas se independizan del modelo y empiezan a ser más generales, además con esto pueden apreciarse las mejoras porcentuales, en la baja de la sollicitación energética.

ANTOFAGASTA:

Tabla 37: Demanda anual de las casetas en Antofagasta.

	ANTOFAGASTA	Demanda Anual [kwh]			Demanda Anual [kwh/m2]			DEMANDA RELATIVA A LA MÁXIMA OBTENIDA
	TIPO DE CASETA	TOTAL CALEFA.	TOTAL REFRIG.	TOTAL	CALEFA.	REFRIG.	TOTAL	
1	Aislante	243,09	0,00	243,09	26,96	0,00	26,96	40,1%
2	Masiva	276,08	0,00	276,08	30,62	0,00	30,62	45,6%
3	Mixta Exterior	216,38	0,00	216,38	24,00	0,00	24,00	35,7%
4	Mixta Interior	218,25	0,00	218,25	24,21	0,00	24,21	36,0%
5	Albañilería Standard	591,62	14,32	605,94	65,62	1,59	67,21	100,0%
6	Norma.	1419,01	60,14	1479,15	157,39	6,67	164,06	244,1%

Grafico 19: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Antofagasta.



COMENATARIO:

Se observa una clara baja en la demanda, al pasar de un muro de 14 cm a uno de 24, pero, es interesante darse cuenta que, con un aumento menor al 100% en el espesor, como es el paso de una caseta de albañilería Standard, a una masiva de 24 cm, se disminuyó la demanda a menos de la mitad, reduciéndose ésta a un 45,6%, es decir, la relación es mucho más beneficiosa que meramente “a doble espesor de muro, mitad de la demanda”.

Además se observa un comportamiento similar entre las casetas mixtas, la diferencia es pequeña y se debe a la condición litoral de Antofagasta, donde si se revisan los registros climáticos utilizados o bien la norma NCh 1079 Of. 77, pueden apreciarse bajas temperaturas medias, bajas oscilaciones diarias y altas velocidades de los vientos predominantes, incluso siendo menos extremo en condición de verano que Santiago, lo que hace poco notoria esta diferencia. Hubiese sido interesante analizar en este caso una ciudad de la zona norte con características no litorales, sino mas bien continentales como Calama, pero, lamentablemente, estos registros climáticos no están disponibles.

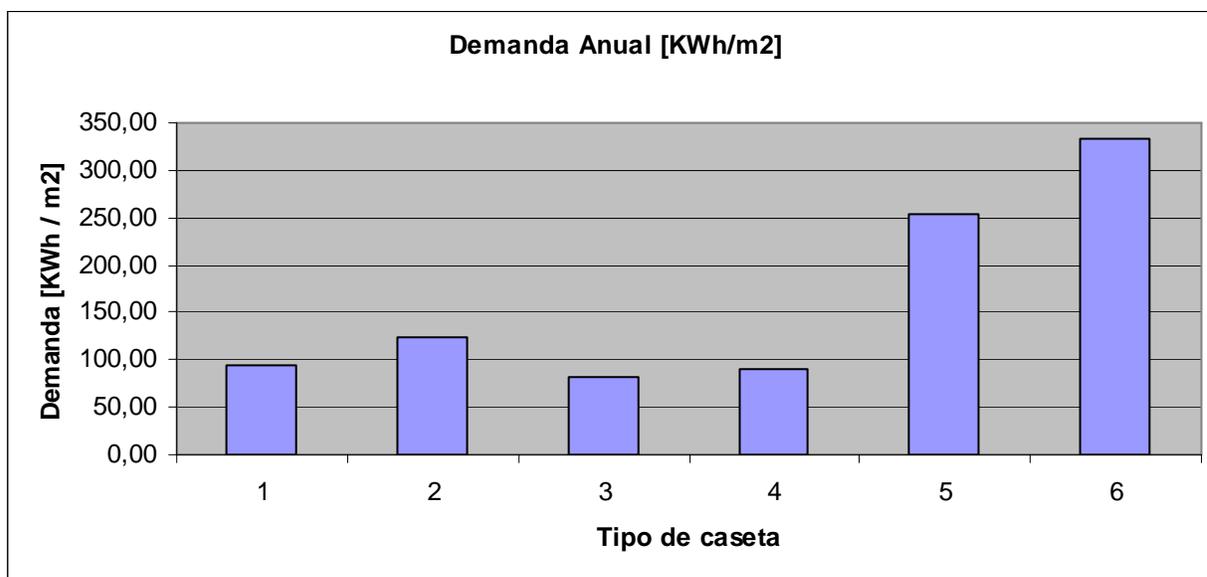
También es interesante darse cuenta que el uso combinado de masa y aislación es claramente más conveniente que el uso exclusivo de uno solo de estos materiales.

SANTIAGO:

Tabla 38: Demanda anual de las casetas en Santiago.

	SANTIAGO	Demanda Anual [kwh]			Demanda Anual [kwh/m ²]			DEMANDA RELATIVA A LA MÁXIMA OBTENIDA
		TIPO DE CASETA	TOTAL CALEFA.	TOTAL REFRIG.	TOTAL	CALEFA.	REFRIG.	
1	Aislante	822,45	31,23	853,68	91,22	3,46	94,69	37,3%
2	Masiva	1.093,82	16,20	1.110,02	121,32	1,80	123,12	48,5%
3	Mixta Exterior	734,13	6,81	740,93	81,43	0,76	82,18	32,4%
4	Mixta Interior	784,71	22,01	806,72	87,04	2,44	89,48	35,3%
5	Albañilería Standard	2.099,04	188,60	2.287,63	232,81	20,92	253,73	100,0%
6	Norma.	2.607,35	395,90	3.003,25	289,19	43,91	333,10	131,3%

Gráfico 20: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Santiago.



COMENTARIO:

Hay que notar para Santiago varias particularidades. La primera de ellas es que a diferencia de Antofagasta, la totalidad de las casetas empiezan a tener necesidad de refrigeración, esto tiene que ver con las duras condiciones de esta ciudad durante la temporada de verano.

Notar también que la demanda de la caseta por norma, en Santiago, aumentó más o menos al doble, no guardando ninguna relación con la demanda experimentada en Antofagasta. Cabe decir, que hubiese sido lo más lógico, tener una demanda relativamente similar para todas las casetas generadas por la norma, en todas las ciudades evaluadas.

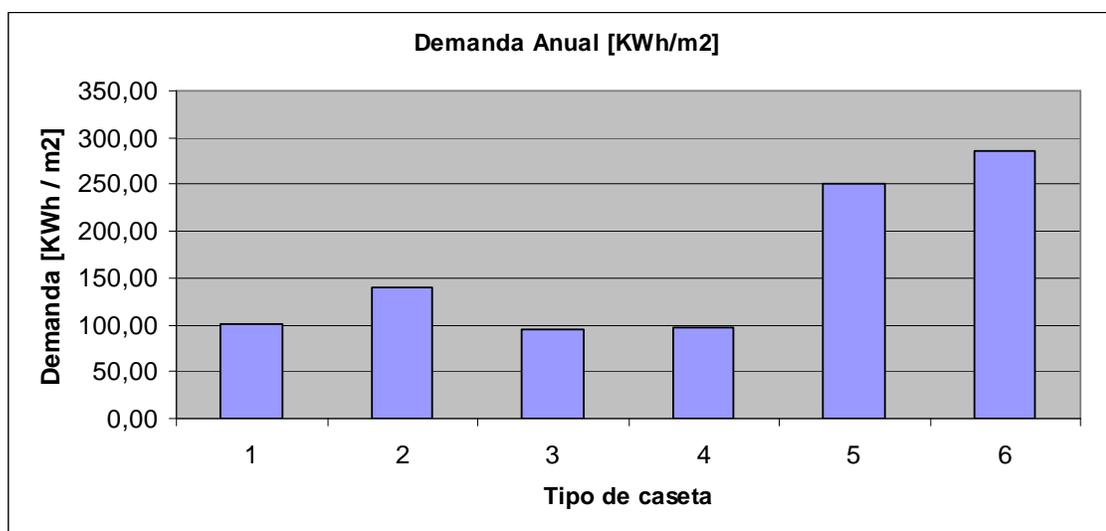
Además es interesante darse cuenta, de la notoria mejora en comportamiento relativo de la caseta mixta exterior por sobre la mixta interior, esto sin duda responde a la misma razón antes expuesta, y es la dura condición de verano de una ciudad con características continentales como Santiago.

CONCEPCIÓN:

Tabla 39: Demanda anual de las casetas en Concepción.

	CONCEPCIÓN	Demanda Anual [KWh]			Demanda Anual [KWh/m ²]			DEMANDA RELATIVA A LA MÁXIMA OBTENIDA
		TOTAL CALEFA.	TOTAL REFRIG.	TOTAL	CALEFA.	REFRIG.	TOTAL	
1	Aislante	911,94	0,00	911,94	101,15	0,00	101,15	40,2%
2	Masiva	1.253,75	0,00	1.253,75	139,06	0,00	139,06	55,2%
3	Mixta Exterior	857,84	0,00	857,84	95,15	0,00	95,15	37,8%
4	Mixta Interior	877,94	0,00	877,94	97,38	0,00	97,38	38,7%
5	Albañilería Standard	2.269,65	0,00	2.269,65	251,74	0,00	251,74	100,0%
6	Norma	2.571,08	5,27	2.576,34	285,17	0,58	285,75	113,5%

Grafico 21: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Concepción.



COMENTARIO:

Como primera cosa observamos que ya en Concepción, se vuelve a tener demandas de refrigeración nulas para las casetas con muros de 24 cm, esto deja a Santiago como la ciudad más crítica de las 4 evaluadas en condición de verano.

Es importante también notar que la mejora porcentual de la caseta Masiva, por sobre la de Albañilería Standard, es bastante menor que en los casos de Antofagasta y Santiago (disminuye en un 10% aprox), y esta diferencia debiera acrecentarse mientras más fría sea la ciudad en cuestión, mientras mayor sea el tiempo de exposición de la caseta a una condición que pudiéramos llamar, de invierno, esto porque la resistencia térmica de la caseta Masiva no es muy elevada, no como la correspondiente a la de la caseta Aislante, que empieza a tomar importancia a medida que nos acercamos a Pta. Arenas.

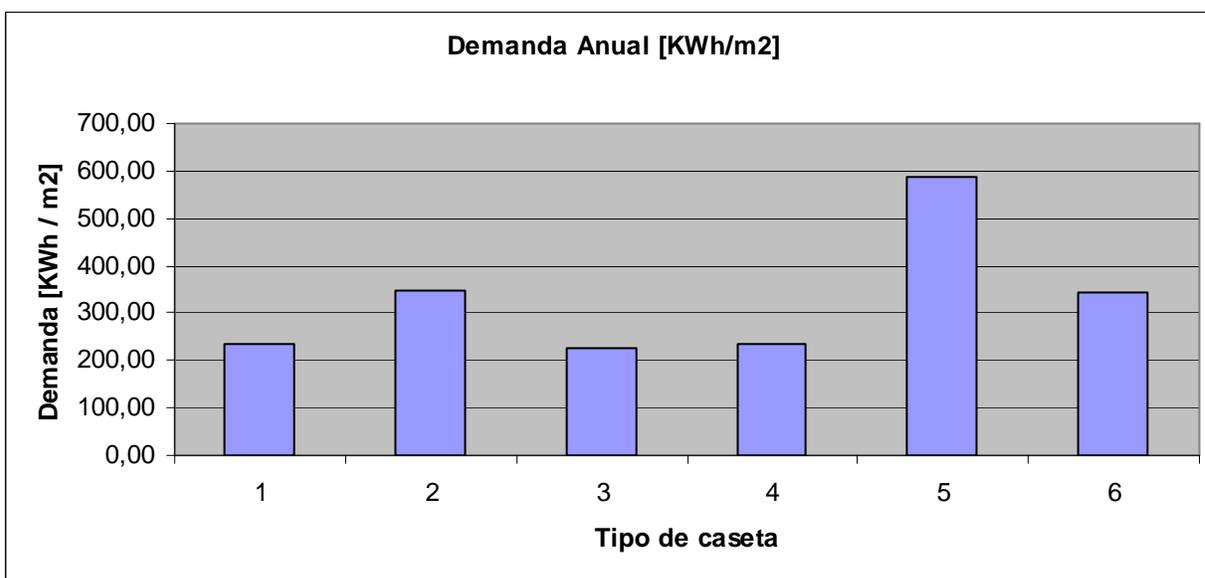
Aquí se hace evidente la importancia de la Efusividad en zonas cálidas de alta oscilación diaria, es decir en zonas con comportamiento dinámico o de verano. En regiones más frías, la resistencia toma más importancia. Es por esto que la mejora de la caseta mixta exterior vuelve a ser diminuta frente a la mixta interior.

PUNTA ARENAS:

Tabla 40: Demanda anual de las casetas en Pta. Arenas.

	Pta. ARENAS	Demanda Anual [KWh]			Demanda Anual [KWh/m2]			DEMANDA RELATIVA A LA MÁXIMA OBTENIDA
		TOTAL CALEFA.	TOTAL REFRIG.	TOTAL	CALEFA.	REFRIG.	TOTAL	
1	Aislante	2.124,11	0,00	2.124,11	235,59	0,00	235,59	40,1%
2	Masiva	3.152,72	0,00	3.152,72	349,68	0,00	349,68	59,6%
3	Mixta Exterior	2.057,36	0,00	2.057,36	228,19	0,00	228,19	38,9%
4	Mixta Interior	2.099,33	0,00	2.099,33	232,85	0,00	232,85	39,7%
5	Albañilería Standard	5.292,74	0,00	5.292,74	587,04	0,00	587,04	100,0%
6	Norma	3.085,93	0,00	3.085,93	342,27	0,00	342,27	58,3%

Grafico 22: Demanda anual por metro cuadrado para cada caseta en Pta. Arenas.



COMENTARIO:

Lo primero que hay que notar en esta ciudad, es que por primera vez, la demanda de la caseta por norma es más bajo que el de la albañilería Stanadard, y esto tiene que ver con que las aislaciones de techo son medianamente parecidas y la resistencia de muros de la albañilería es demasiado baja, para compararla con una caseta Aislante como la por norma en Punta Arenas. Junto con esto se ve la alta demanda de la caseta Masiva, que ya representa el 59% de la de Masa St, porque podemos decir que esta ciudad se comporta en condición de invierno la mayoría del tiempo, por lo tanto, la mejoría de la caseta Masiva, tiene directa relación con la resistencia y el aumento de espesor y no con el aumento en la efusividad y la capacidad calórica del muro.

Por la misma razón es que se hace pequeña la mejora de la Mixta Exterior por sobre la interior.

En cualquier caso analizado, es claro observar que la balanza se inclina hacia el lado de la aislación exterior por sobre la interior, esta situación se hace evidente cuanto más demanda de refrigeración se tenga en el clima registrado, es por esta razón que el siguiente análisis tiene relación con el comportamiento de las casetas de prueba exclusivamente en Santiago, que resultó ser la única ciudad con demandas de refrigeración en todas las casetas modeladas.

5.5 ANÁLISIS EXCLUSIVO PARA SANTIAGO.

Lo primero que es necesario observar para comenzar un análisis en este punto, son las demandas mensuales por metro cuadrado para cada caseta ensayada en Santiago. Para estos efectos, se dejará de lado la caseta generada a partir de la norma y solo se evaluará el comportamiento de las cinco restantes, esto para poder efectuar una comparación válida de la demanda de cada una respecto de la albañilería Standard.

Tabla 41: Demandas Anuales casetas Albañilería Standard y Masiva.

MES	Demanda Albañilería Standard.			Demanda Masiva		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN	TOTAL
	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]	[kwh]	[kwh]	[kwh]
Jan	0,98	7,83	8,81	0,09	1,10	1,19
Feb	3,78	5,08	8,86	0,44	0,27	0,70
Mar	6,70	2,28	8,99	2,54	0,00	2,54
Apr	16,08	0,74	16,81	7,99	0,00	7,99
May	28,20	0,00	28,20	15,38	0,00	15,38
Jun	39,58	0,00	39,58	22,40	0,00	22,40
Jul	42,64	0,00	42,64	23,67	0,00	23,67
Aug	34,27	0,00	34,27	18,65	0,00	18,65
Sep	27,22	0,00	27,22	14,76	0,00	14,76
Oct	18,08	0,49	18,57	9,43	0,00	9,43
Nov	10,27	0,54	10,81	4,72	0,00	4,72
Dec	5,01	3,96	8,97	1,24	0,43	1,67
PER M²	232,81	20,92	253,73	121,32	1,80	123,12

Tabla 42: Demandas Anuales casetas Aislante y Mixta Interior.

MES	Demanda Aislante			Demanda Mixta Interior		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL
	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]	[kwh]	[kwh]	[kwh]
Jan	0,44	1,94	2,38	0,33	1,42	1,75
Feb	1,60	0,69	2,29	1,23	0,42	1,65
Mar	3,18	0,30	3,49	2,70	0,21	2,91
Apr	6,77	0,00	6,77	6,17	0,00	6,17
May	10,91	0,00	10,91	10,51	0,00	10,51
Jun	14,69	0,00	14,69	14,63	0,00	14,63
Jul	15,67	0,00	15,67	15,52	0,00	15,52
Aug	13,00	0,00	13,00	12,63	0,00	12,63
Sep	10,60	0,00	10,60	10,26	0,00	10,26
Oct	7,49	0,00	7,49	7,08	0,00	7,08
Nov	4,65	0,00	4,65	4,12	0,00	4,12
Dec	2,23	0,53	2,76	1,85	0,39	2,24
PER M²	91,22	3,46	94,69	87,04	2,44	89,48

Tabla 43: Demandas Anuales caseta Mixta Exterior.

MES	Consumo Mixta Exterior		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL
	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]	[kwh/m ²]
Jan	0,05	0,53	0,58
Feb	0,33	0,20	0,53
Mar	2,02	0,00	2,02
Apr	6,09	0,00	6,09
May	10,19	0,00	10,19
Jun	14,01	0,00	14,01
Jul	14,89	0,00	14,89
Aug	12,22	0,00	12,22
Sep	9,94	0,00	9,94
Oct	6,88	0,00	6,88
Nov	3,68	0,00	3,68
Dec	1,10	0,02	1,13
PER M²	81,43	0,76	82,18

Es claro ver, la notoria baja en la demanda energética, que experimentan las casetas, al pasar de un modelo simple de albañilería Standard a uno con 10 cm de aislación exterior, la reducción de 253 KWh/m² año, a tan solo 82 es evidente e impresionante. El ahorro es notorio, pero, para ser aún más gráfico, se hará a continuación el ejercicio de pasar de un valor de demanda a uno de consumo, para lo que se supondrán los siguientes valores:

Tabla 44: Parámetros de Rendimiento y Valor del kwh de electricidad.

r refrigeracion	0,2
r calefacción	1
kwh	\$ 115

Estos valores responden a los siguientes supuestos: se asumirá en lo sucesivo que, las casetas estarán completamente climatizadas y la fuente de energía es completamente eléctrica, tanto para su calefacción como para su refrigeración. Para la calefacción se considerará el rendimiento de una estufa eléctrica normal, que debe tener valores cercanos al 100% considerado y para la refrigeración se considerará el rendimiento de un refrigerador normal también, cuyo valor está cerca del 20%.

Para determinar el valor del KWh, se tomó una cuenta de luz, de un departamento cualquiera de la zona centro de Santiago, obteniendo un valor de \$115. Con estos datos ahora es posible determinar el costo del consumo de la forma siguiente.

$$\text{Costo Consumo} = \$kwh \cdot \frac{\text{Demanda}}{r}$$

Sabido esto, el costo mensual del consumo energético para cada caseta en Santiago es el siguiente:

Tabla 45: Costos Anuales por consumo en casetas Albañilería Standard y Masiva.

MES	Costo Albañilería Standard.			Costo Masiva		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN	TOTAL
	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]
Jan	\$ 113	\$ 4.501	\$ 4.614	\$ 10	\$ 633	\$ 644
Feb	\$ 435	\$ 2.923	\$ 3.358	\$ 50	\$ 153	\$ 203
Mar	\$ 771	\$ 1.314	\$ 2.084	\$ 292	\$ 0	\$ 292
Apr	\$ 1.849	\$ 423	\$ 2.272	\$ 919	\$ 0	\$ 919
May	\$ 3.243	\$ 0	\$ 3.243	\$ 1.769	\$ 0	\$ 1.769
Jun	\$ 4.551	\$ 0	\$ 4.551	\$ 2.576	\$ 0	\$ 2.576
Jul	\$ 4.903	\$ 0	\$ 4.903	\$ 2.722	\$ 0	\$ 2.722
Aug	\$ 3.941	\$ 0	\$ 3.941	\$ 2.145	\$ 0	\$ 2.145
Sep	\$ 3.131	\$ 0	\$ 3.131	\$ 1.697	\$ 0	\$ 1.697
Oct	\$ 2.079	\$ 283	\$ 2.362	\$ 1.085	\$ 0	\$ 1.085
Nov	\$ 1.181	\$ 310	\$ 1.491	\$ 543	\$ 0	\$ 543
Dec	\$ 576	\$ 2.275	\$ 2.851	\$ 143	\$ 247	\$ 390
PER M²	\$ 26.773	\$ 12.028	\$ 38.801	\$ 13.952	\$ 1.033	\$ 14.985

Tabla 46: Costos Anuales por consumo en casetas Aislante y Mixta Interior.

MES	Costo Aislante			Costo Mixta Interior		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN	TOTAL
	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]	[\$]
Jan	\$ 51	\$ 1.118	\$ 1.168	\$ 38	\$ 818	\$ 856
Feb	\$ 184	\$ 397	\$ 581	\$ 142	\$ 239	\$ 381
Mar	\$ 366	\$ 175	\$ 541	\$ 310	\$ 122	\$ 432
Apr	\$ 779	\$ 0	\$ 779	\$ 710	\$ 0	\$ 710
May	\$ 1.255	\$ 0	\$ 1.255	\$ 1.208	\$ 0	\$ 1.208
Jun	\$ 1.689	\$ 0	\$ 1.689	\$ 1.682	\$ 0	\$ 1.682
Jul	\$ 1.802	\$ 0	\$ 1.802	\$ 1.785	\$ 0	\$ 1.785
Aug	\$ 1.495	\$ 0	\$ 1.495	\$ 1.453	\$ 0	\$ 1.453
Sep	\$ 1.219	\$ 0	\$ 1.219	\$ 1.180	\$ 0	\$ 1.180
Oct	\$ 861	\$ 0	\$ 861	\$ 814	\$ 0	\$ 814
Nov	\$ 534	\$ 0	\$ 534	\$ 474	\$ 0	\$ 474
Dec	\$ 257	\$ 302	\$ 559	\$ 213	\$ 224	\$ 437
PER M²	\$ 10.490	\$ 1.992	\$ 12.482	\$ 10.009	\$ 1.404	\$ 11.413

Tabla 47: Costos Anuales por consumo en caseta Mixta Exterior.

MES	Costo Mixta Exterior.		
	CALEFACCIÓN.	REFRIGERACIÓN.	TOTAL
	[\$]	[\$]	[\$]
Jan	\$ 6	\$ 305	\$ 311
Feb	\$ 38	\$ 117	\$ 155
Mar	\$ 232	\$ 0	\$ 232
Apr	\$ 701	\$ 0	\$ 701
May	\$ 1.172	\$ 0	\$ 1.172
Jun	\$ 1.611	\$ 0	\$ 1.611
Jul	\$ 1.713	\$ 0	\$ 1.713
Aug	\$ 1.406	\$ 0	\$ 1.406
Sep	\$ 1.144	\$ 0	\$ 1.144
Oct	\$ 792	\$ 0	\$ 792
Nov	\$ 423	\$ 0	\$ 423
Dec	\$ 127	\$ 12	\$ 139
PER M²	\$ 9.364	\$ 434	\$ 9.798

COMENTARIO:

Si bien, en términos de cantidad de energía, la refrigeración no representa una fracción tan importante de la demanda anual, al hablar de consumo las cosas cambian, ya que éste, producto del rendimiento de un refrigerador normal, es 5 veces mayor al valor de la demanda, lo que hace que cuando se habla de dinero, los aportes de refrigeración dejen de ser despreciables, llegando durante Enero a ser comparables con los valores de calefacción durante Julio.

La disminución de 38.000[\$/m²] (Costo anual, albañilería standard, página anterior) a 9.798[\$/m²] (Costo anual, mixta exterior, ésta página) equivale a un ahorro 29.300[\$/m²], si se piensa en una habitación de unos 100 m², cosa común en una casa de clase media en Santiago, podría llegar a hablarse de un ahorro de \$2.930.000 anuales para una vivienda perfectamente climatizada. Ahora bien, para todos los casos cabe mencionar, que una familia típica en Chile no climatiza en un 100% sus viviendas, y por lo tanto una familia típica no experimenta este tipo de ahorros, esto porque existe una predisposición a sufrir de frío durante el invierno y de calor en verano, con tal de no exceder el presupuesto familiar. Sería motivo de algún estudio posterior, una investigación de mercado, para saber cuanto es realmente lo que gasta una familia típica en calefacción y en refrigeración durante el año, y sus disposiciones a estar en un estado de discomfort, o bien determinar una banda de temperaturas aceptable para una familia chilena, siendo ésta no necesariamente igual a la banda considerada de entre 18 y 23 °C

Tabla 48: Ahorro por metro cuadrado debido a la aislación exterior.

Costo anual Caseta de albañilería Standard [\$/m ²]	38.000
Costo anual Caseta de Mixta exterior [\$/m ²]	9.700
Ahorro Estimado [\$/m²]	\$ 29.000

Por otra parte, es interesante a partir de estos valores, hacer un pequeño cálculo respecto a los ahorros en términos porcentuales y en términos absolutos en pesos, que se logran por pasar de una Albañilería Standard a otra solución cualquiera de las cuatro restantes, sobre todo a alguno de los casos mixtos, porque son estos casos los que se pueden implementar con mayor facilidad en Santiago, meramente instalando 10 cm de poliestireno, por dentro o por fuera según sea el caso.

A continuación se presentan los ahorros porcentuales y absolutos por pasar de la caseta de albañilería standard. a las otras cuatro soluciones.

Tabla 49: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Masiva.

AHORROS PORCENTUALES Y ABSOLUTOS (CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD ==> MASIVA)						
MES	AHORRO CALEFACCIÓN [%]	AHORRO CALEFACCIÓN [\$/m²]	AHORRO REFRIGERACIÓN [%]	AHORRO REFRIGERACIÓN [\$/m²]	AHORRO TOTAL [%]	AHORRO TOTAL [\$/m²]
Jan	90,7%	\$ 103	85,9%	\$ 3.867	86,0%	\$ 3.970
Feb	88,4%	\$ 384	94,8%	\$ 2.771	94,0%	\$ 3.155
Mar	62,1%	\$ 479	100,0%	\$ 1.314	86,0%	\$ 1.792
Apr	50,3%	\$ 930	100,0%	\$ 423	59,6%	\$ 1.353
May	45,4%	\$ 1.474	-	\$ 0	45,4%	\$ 1.474
Jun	43,4%	\$ 1.975	-	\$ 0	43,4%	\$ 1.975
Jul	44,5%	\$ 2.182	-	\$ 0	44,5%	\$ 2.182
Aug	45,6%	\$ 1.796	-	\$ 0	45,6%	\$ 1.796
Sep	45,8%	\$ 1.433	-	\$ 0	45,8%	\$ 1.433
Oct	47,8%	\$ 994	100,0%	\$ 283	54,1%	\$ 1.277
Nov	54,0%	\$ 638	100,0%	\$ 310	63,6%	\$ 948
Dec	75,2%	\$ 434	89,2%	\$ 2.028	86,3%	\$ 2.462
PER M²	47,9%	\$ 12.822	91,4%	\$ 10.995	61,4%	\$ 23.817

Tabla 50: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Aislante.

AHORROS ABSOLUTOS (CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD ==> AISLANTE)						
MES	AHORRO CALEFACCIÓN [%]	AHORRO CALEFACCIÓN [\$/m²]	AHORRO REFRIGERACIÓN [%]	AHORRO REFRIGERACIÓN [\$/m²]	AHORRO TOTAL [%]	AHORRO TOTAL [\$/m²]
Jan	55,3%	\$ 63	75,2%	\$ 3.383	74,7%	\$ 3.445
Feb	57,7%	\$ 251	86,4%	\$ 2.526	82,7%	\$ 2.777
Mar	52,5%	\$ 405	86,7%	\$ 1.139	74,1%	\$ 1.544
Apr	57,9%	\$ 1.070	100,0%	\$ 423	65,7%	\$ 1.493
May	61,3%	\$ 1.988	-	\$ 0	61,3%	\$ 1.988
Jun	62,9%	\$ 2.862	-	\$ 0	62,9%	\$ 2.862
Jul	63,3%	\$ 3.101	-	\$ 0	63,3%	\$ 3.101
Aug	62,1%	\$ 2.447	-	\$ 0	62,1%	\$ 2.447
Sep	61,1%	\$ 1.911	-	\$ 0	61,1%	\$ 1.911
Oct	58,6%	\$ 1.219	100,0%	\$ 283	63,6%	\$ 1.501
Nov	54,8%	\$ 647	100,0%	\$ 310	64,2%	\$ 957
Dec	55,4%	\$ 319	86,7%	\$ 1.973	80,4%	\$ 2.292
PER M²	60,8%	\$ 16.283	83,4%	\$ 10.036	67,8%	\$ 26.319

Tabla 51: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Mixta Interior.

AHORROS ABSOLUTOS POR AISLACIÓN (CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD ==> MIXTA Int)						
MES	AHORRO CALEFACCIÓN [%]	AHORRO CALEFACCIÓN [\$/m²]	AHORRO REFRIGERACIÓN [%]	AHORRO REFRIGERACIÓN [\$/m²]	AHORRO TOTAL [%]	AHORRO TOTAL [\$/m²]
Jan	66,7%	\$ 75	81,8%	\$ 3.683	81,5%	\$ 3.758
Feb	67,3%	\$ 293	91,8%	\$ 2.684	88,6%	\$ 2.976
Mar	59,7%	\$ 460	90,7%	\$ 1.192	79,3%	\$ 1.652
Apr	61,6%	\$ 1.139	100,0%	\$ 423	68,8%	\$ 1.562
May	62,7%	\$ 2.034	-	\$ 0	62,7%	\$ 2.034
Jun	63,0%	\$ 2.869	-	\$ 0	63,0%	\$ 2.869
Jul	63,6%	\$ 3.118	-	\$ 0	63,6%	\$ 3.118
Aug	63,1%	\$ 2.488	-	\$ 0	63,1%	\$ 2.488
Sep	62,3%	\$ 1.951	-	\$ 0	62,3%	\$ 1.951
Oct	60,8%	\$ 1.265	100,0%	\$ 283	65,5%	\$ 1.548
Nov	59,9%	\$ 707	100,0%	\$ 310	68,2%	\$ 1.017
Dec	63,1%	\$ 364	90,1%	\$ 2.050	84,7%	\$ 2.414
PER M²	62,6%	\$ 16.764	88,3%	\$ 10.624	70,6%	\$ 27.389

Tabla 52: Ahorros por cambio de caseta Albañilería Standard a Mixta Exterior.

AHORROS ABSOLUTOS POR AISLACIÓN (CASETA DE ALBAÑILERÍA STANDARD ==> MIXTA Ext)						
MES	AHORRO CALEFACCIÓN [%]	AHORRO CALEFACCIÓN [\$/m²]	AHORRO REFRIGERACIÓN [%]	AHORRO REFRIGERACIÓN [\$/m²]	AHORRO TOTAL [%]	AHORRO TOTAL [\$/m²]
Jan	94,7%	\$ 107	93,2%	\$ 4.195	93,3%	\$ 4.302
Feb	91,3%	\$ 397	96,0%	\$ 2.807	95,4%	\$ 3.203
Mar	69,8%	\$ 538	100,0%	\$ 1.314	88,8%	\$ 1.852
Apr	62,1%	\$ 1.148	100,0%	\$ 423	69,2%	\$ 1.571
May	63,9%	\$ 2.071	-	\$ 0	63,9%	\$ 2.071
Jun	64,6%	\$ 2.940	-	\$ 0	64,6%	\$ 2.940
Jul	65,1%	\$ 3.191	-	\$ 0	65,1%	\$ 3.191
Aug	64,3%	\$ 2.535	-	\$ 0	64,3%	\$ 2.535
Sep	63,5%	\$ 1.987	-	\$ 0	63,5%	\$ 1.987
Oct	61,9%	\$ 1.288	100,0%	\$ 283	66,5%	\$ 1.570
Nov	64,2%	\$ 758	100,0%	\$ 310	71,6%	\$ 1.068
Dec	78,0%	\$ 449	99,5%	\$ 2.263	95,1%	\$ 2.712
PER M²	65,0%	\$ 17.410	96,4%	\$ 11.594	74,7%	\$ 29.003

COMENTARIO:

Respecto de la caseta Masiva: Si la relación entre espesor y ahorro fuese directa, como una regla de tres, querría decir que la transferencia anual se produciría en condición de invierno, en cuyo caso, el ahorro podría calcularse como sigue.

El aumento porcentual de espesor fue de 140 mm / 240 mm, vale decir 58,3 %.

Entonces para un aumento al doble de espesor se tendría: aumento del 100% implica un ahorro de 50%, esto responde a la idea, de que el doble de espesor, disminuye a la mitad el consumo. Por lo tanto, el ahorro que se debiera experimentar es el siguiente.

$$\frac{100\%}{58,3\%} = \frac{50\%}{x} \Rightarrow x = 29,2\%$$

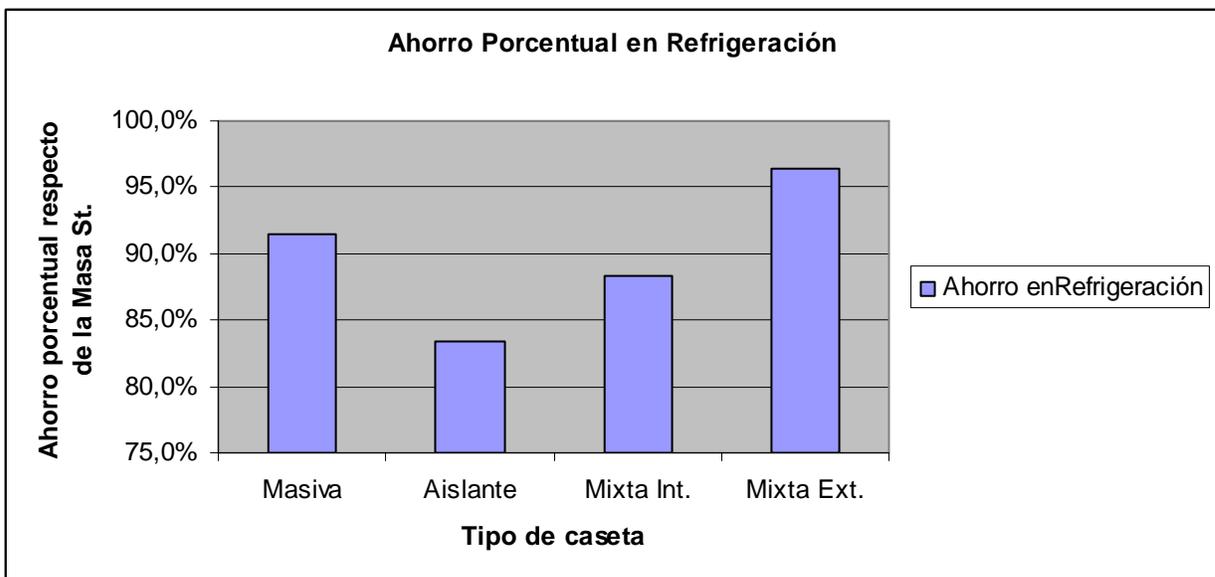
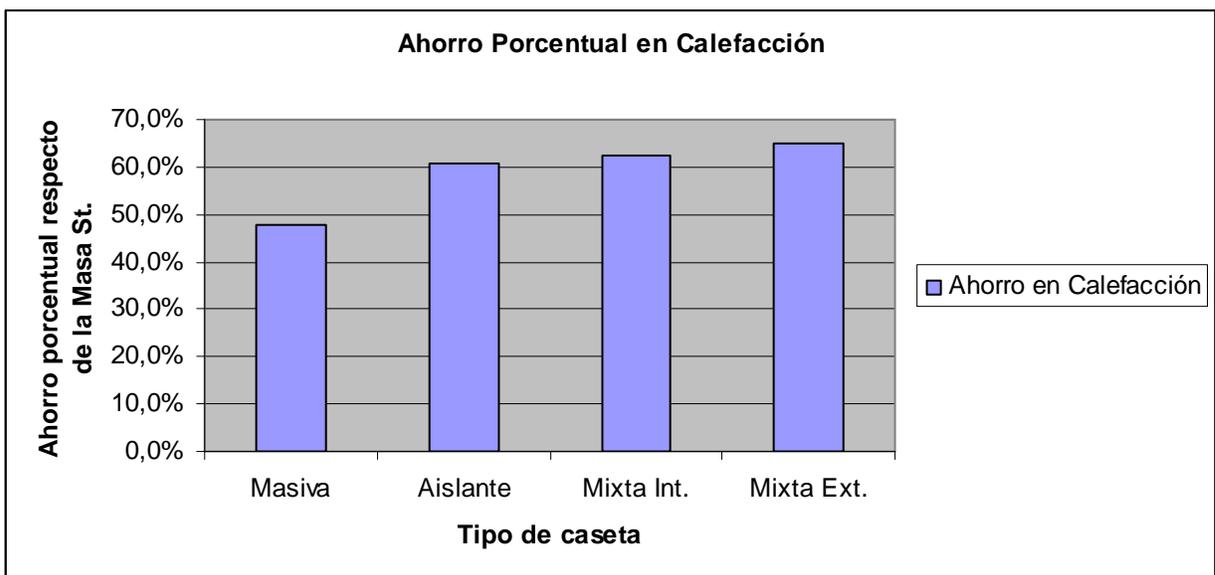
Pero resulta que el ahorro anual de esta caseta respecto de la de albañilería standard, es de 61,4%, es decir, el beneficio es mucho mas grande, y esto tiene que ver, con que la principal responsable del ahorro no es el aumento de la resistencia térmica que disminuye el consumo durante el invierno, sino la efusividad, que reduce de manera mas eficiente el consumo durante el verano. Es precisamente este hecho lo que motiva esta memoria y es la prueba fehaciente de que el proceso durante el verano no estático sino dinámico.

Respecto de los ahorros generales: Es necesario mencionar, que no cabe duda, después de eso que, el mejor comportamiento térmico es aquel experimentado por la caseta Mixta Exterior, mientras que el ahorro medio durante el invierno es del 65%, durante el verano supera el 95%, esto dice relación con la alta eficiencia de la aislación exterior durante condición de verano, no así tanto durante el invierno, donde podemos decir que el ahorro se debe en gran parte al aumento de la resistencia.

Para ver con mayor claridad, los distintos comportamientos durante invierno y verano, se generaron dos gráficos de ahorro, uno para cada condición, y se muestran a continuación.

Tabla 53: Ahorros porcentuales anuales. Albañilería Standard v/s Otras.

Caseta	Ahorro	
	Calefacción	Refrigeración
Masiva	47,9%	91,4%
Aislante	60,8%	83,4%
Mixta Int.	62,6%	88,3%
Mixta Ext.	65,0%	96,4%



COMENTARIO:

Es observable que los ahorros manifestados por la caseta Masiva son mucho más elevados en el caso de refrigeración. Si se elabora un ranking, en términos de ahorro en calefacción esta caseta se ubica en 4° lugar, pero en relación a la refrigeración se ubica en 2° lugar, esto responde al concepto de efusividad en condición de verano. Por otra parte, pero, respondiendo al mismo efecto, se tiene que los menores ahorros de refrigeración se experimentan en la caseta menos efusiva de todas, que corresponde a la Aislante.

Ya sea si se mira el grafico de ahorro en invierno o el ahorro en verano, es notable, que a igualdad de espesor de muro, los mayores valores de ahorro siempre se logren, con el caso mixto, con aislación exterior.

Ahora, para esclarecer el confuso dilema entre la aislación exterior e interior, y sus diferentes comportamientos durante invierno y verano, es necesario generar un último cuadro de ahorro, esta vez de ahorro relativo, por convertir una caseta mixta interior en una mixta exterior.

Tabla 54: Ahorros por cambio de caseta Mixta Interior a Mixta Exterior.

AHORROS RELATIVOS (AISLACIÓN INTERIOR ==> AISLACIÓN EXTERIOR)						
MES	AHORRO CALEFACCIÓN [%]	AHORRO CALEFACCIÓN [\$/m²]	AHORRO REFRIGERACIÓN [%]	AHORRO REFRIGERACIÓN [\$/m²]	AHORRO TOTAL [%]	AHORRO TOTAL [\$/m²]
Jan	84,0%	\$ 32	62,7%	\$ 513	63,6%	\$ 544
Feb	73,3%	\$ 104	51,2%	\$ 123	59,4%	\$ 227
Mar	25,1%	\$ 78	100,0%	\$ 122	46,2%	\$ 200
Apr	1,3%	\$ 9	-	\$ 0	1,3%	\$ 9
May	3,0%	\$ 37	-	\$ 0	3,0%	\$ 37
Jun	4,2%	\$ 71	-	\$ 0	4,2%	\$ 71
Jul	4,0%	\$ 72	-	\$ 0	4,0%	\$ 72
Aug	3,3%	\$ 47	-	\$ 0	3,3%	\$ 47
Sep	3,1%	\$ 36	-	\$ 0	3,1%	\$ 36
Oct	2,8%	\$ 23	-	\$ 0	2,8%	\$ 23
Nov	10,7%	\$ 51	-	\$ 0	10,7%	\$ 51
Dec	40,3%	\$ 86	94,7%	\$ 213	68,2%	\$ 299
PER M²	6,4%	\$ 645	69,1%	\$ 970	14,1%	\$ 1.615

COMETARIO:

El cuadro anterior es el que mejor refleja la importancia de la inercia térmica. La diferencia entre aislar por dentro o por fuera, es precisamente el aprovechamiento o no de la inercia, y si nos fijamos en los ahorros porcentuales, el ahorro promedio mensual en calefacción es solo de un 6,4%, por otra parte el ahorro en refrigeración llega casi al 70%, esta es la importancia primera de la aislación exterior, donde el ahorro en meses calurosos como Diciembre, supera el 90%.

Otra observación importante de este cuadro es que el ahorro medio durante un mes de invierno como Julio es del 4%, ésta es la diferencia entre considerar la condición de invierno como dinámica y no como estática. Si la condición de invierno fuese perfectamente estática, el ahorro durante Julio sería 0%, ya que, el único parámetro controlante de la transferencia sería la resistencia, que sea este ahorro mayor a 0, nos dice que existe cierto dinamismo en el proceso durante el invierno, aún así, podemos considerarlo despreciable para efectos ingenieriles.

Si bien los ahorros en calefacción son pequeños mensualmente, tienen una incidencia anual importante, esto porque se producen durante los 12 meses del año, a diferencia del ahorro en refrigeración, que si bien es mas importante en sus valores mensuales, se manifiestan solo en 4 de los 12 meses del año, por lo tanto, para graficar esto, se presenta un porcentaje de ahorro anual en la siguiente tabla.

Tabla 55: Ahorro total anual.

	Costo [\$]	Incidencia [%]
Ahorro en calefacción	645	39,9
Ahorro en refrigeración	970	60,1
Total	1.615	100

Queda claro con esto, que la importancia de instalar aislación exterior no solo mejora el comportamiento de una vivienda en condición de verano, sino que también en condición de invierno tiene se tiene una mejora sustanciosa.

El ahorro por metro cuadrado, es \$1.615. Si imaginamos una vivienda media de 100 m², tenemos que el ahorro anual en pesos supera los \$160.000, cosa nada menor si consideramos que lo único que se hizo fue colocar por el exterior la aislación. Ahora, hay que decir que este ahorro puede ser notablemente mayor es zonas con climas más extremos, cosa que no se pudo corroborar en este trabajo de título.

A continuación se grafican las demandas por metro cuadrado, tanto en calefacción como en refrigeración.

Grafico 23: Demanda mensual en calefacción.

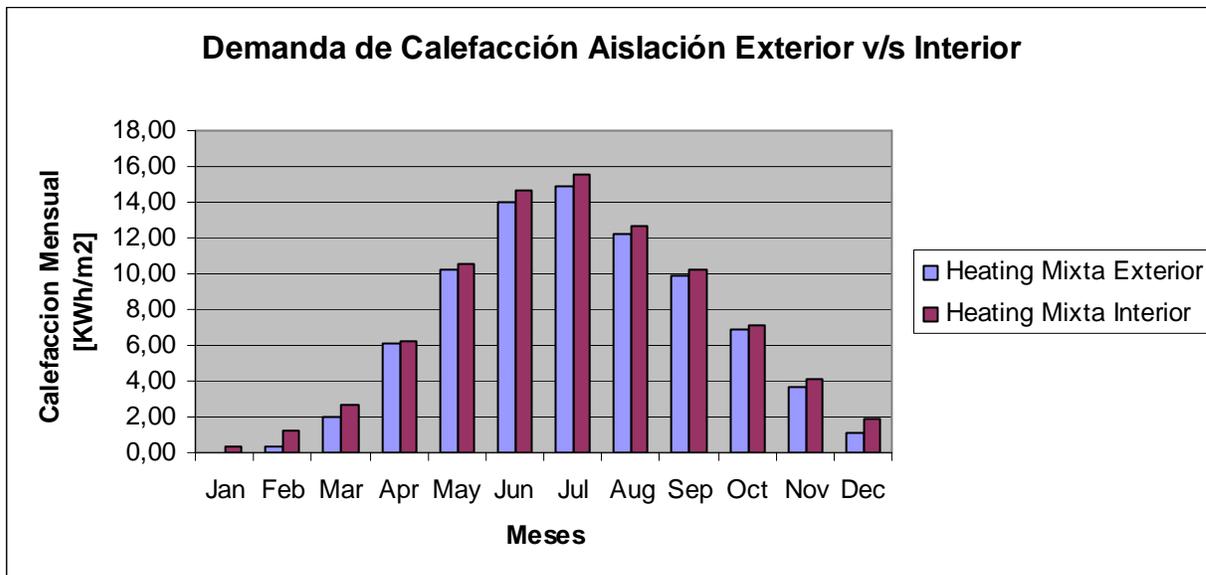
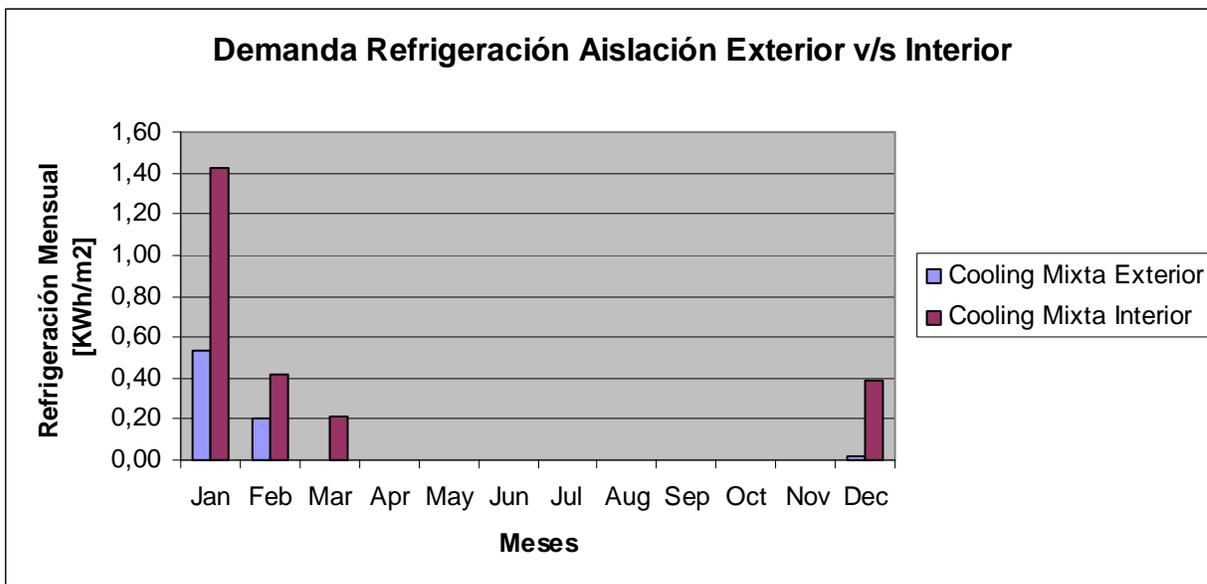


Grafico 24: Demanda mensual en refrigeración.



COMENTARIO:

Al observar el gráfico de calefacción es interesante notar que las barras de la izquierda (mixta exterior), son permanentemente más bajas que las de la derecha (Mixta Interior), pero, dichas diferencias son relativamente pequeñas, esto como fue explicado con anterioridad, tiene relación con la transferencia no totalmente estática durante condición de invierno. Ahora, esta situación se revierte totalmente en la gráfica de refrigeración, donde las barras de la izquierda (Mixta Exterior) son notoriamente más bajas que las correspondientes a la aislación interior, es decir, la aislación exterior se comporta más eficientemente durante el verano, cosa que demuestra la hipótesis primera, que es que la inercia térmica es un factor relevante durante condición de verano, aunque, un 6,4% no deja de ser despreciable en términos monetarios.

5.6 SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

Considerando que el ahorro por aislar exteriormente una vivienda de albañilería Standard es de \$29.000 por metro cuadrado (ver tabla 19), analizaremos la factibilidad de la instalación de una aislación exterior de poliestireno expandido de 100 mm de espesor.

El sistema constructivo propuesto consta de 100 mm de Poliestireno, colocado con adhesivo, y sistema de sujeción consistente en pernos metálicos, revestido con malla de alambre tipo ACMA y estuco de 25 mm.

Para esto, se presenta a continuación un pequeño análisis de costos de esta solución.

Tabla 56: Análisis de costo solución constructiva.

Solución Total	\$/m ²
Poliestireno 100 mm	3.300
Malla tipo Acma	1.000
Estuco	6.213
Sistema de Fijación	5.000
Total	15.513

Ahora se muestran los detalles de los costos del sistema de fijación y la colocación del estuco.

Tabla 57: Análisis del estuco.

Precio por m ² de estuco.			
Vol estuco 0,025 m ³ /m ²			Total \$/m ²
Arena	1000 lt/m ³	8000 \$/m ³	200
Cemento	9 sc/m ³	4500 \$/sc	1.013
M. Obra.			5.000
Total			6.213

Tabla 58: Análisis del sistema de fijación.

m ² de Fijación.	Total \$/m ²
Adhesivo y Pernos	2.000
M. Obra	3.000
Total	5.000

Para hacer realmente comparables el precio de aislación recién expuesto y el ahorro obtenido como resultado de su colocación, es necesario, convertir el precio de la aislación, que viene dado por metro cuadrado de muro, a uno expresado en metros cuadrados de superficie en planta, para ello es necesario tener la relación m² de muro/ m² de superficie en planta, a esta relación la llamaremos beta y se calcula a continuación.

$$\beta = \frac{\text{Superficie de muros}}{\text{Superficie en Planta}} = \frac{2 \cdot (2.45 + 3.68) \cdot 2.29}{2.45 \cdot 3.68} = 3.11 \left[\frac{m^2_{\text{muro}}}{m^2_{\text{superficie_Planta}}} \right]$$

Y por lo tanto, la relación de costos por metro cuadrado de superficie queda como sigue.

Para el sistema constructivo propuesto:

$$15.513 \left[\frac{\$}{m^2_{\text{muro}}} \right] \cdot 3.11 \left[\frac{m^2_{\text{muro}}}{m^2_{\text{superficie_Planta}}} \right] = 48.245 \left[\frac{\$}{m^2_{\text{superficie_Planta}}} \right]$$

Y el ahorro experimentado por el aislamiento exterior, si recordamos fue de:

$$29.000 \left[\frac{\$}{m^2_{\text{superficie_Planta}} \cdot \text{Año}} \right]$$

Y por tanto el periodo de recuperación de la inversión será de:

$$T = \frac{48.245}{29.000} = 1.66 \text{ [años]}$$

Es decir, la inversión se recupera en 1 año y 8 meses.
--

CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES MODELAMIENTO 3D.

Las demandas de las casetas generadas a partir de la OGUC artículo 4.1.10, son bastante dispersas, partiendo con 160 kwh / m² año en Antofagasta, y terminando en Punta Arenas con 340 KWh/ m² año. A modo de opinión personal, se puede decir, que lo que debiera hacer una norma es fijar una demanda deseable, o bien, una banda de demanda deseable para una vivienda típica para cada zona, y según eso proponer los distintos diseños para cada zona térmica. Esta lógica involucra una decisión política importante acerca de cual es la demanda que queremos, o bien, cual es la demanda que una economía como la nuestra puede manejar. En Europa una vivienda considerada como eficiente consume alrededor de 50 KWh / m² año, es decir, una vivienda en Punta Arenas, generada a partir de normativa nacional, consume 7 veces más que una vivienda tipo europea. Podemos concluir entonces que, en Chile se privilegia el ahorro constructivo por sobre el ahorro en mantención u operación de la vivienda.

“Alemania ha ido disminuyendo desde el año 1960, en la cual poseían un consumo anual de alrededor de 220 KWh/año/m². En el año 2000 el consumo bajo a 70 KWh/año/m² y ahora están por la certificación de viviendas con el sello Passiv Hause en donde la vivienda tiene un consumo anual de 15 KWh/año/m². Es decir esas viviendas casi no necesitan calefacción.”¹⁸

Según estos datos, Chile posee una demanda media que supera la exhibida por Alemania hace 50 años, estadísticas preocupantes para un país que pretende ser desarrollado.

En cuanto al comportamiento del resto de las casetas, podemos decir, que la influencia, de construir con materiales pesados, o bien, efusivos, tal como se presumía, resulta relevante en zonas cálidas, donde se tienen altas solicitaciones por radiación y se experimentan altas oscilaciones térmicas diarias. Así mismo, las envolventes meramente resistentes, tienen un buen comportamiento solo en condición de invierno.

Relativo a las experiencias 3D con las restante 5 casetas en el software mencionado, en lo que tiene relación con la demanda energética anual, la primera y más importante de las conclusiones posibles, es que la aislación, debe colocarse por la cara exterior de los muros perimetrales de cualquier edificación, salvo excepciones tales como salas de clases, auditoriums, y otros donde la climatización deba ser rápida.

En cuanto a la demanda experimentada por las distintas soluciones propuestas, resulta claro reconocer una supremacía en el comportamiento de la masa aislada por el exterior, tanto en condición de verano como en condición de invierno. Sin duda el comportamiento en condición de verano fue el más eficiente y exitoso, llegando a ahorros relativos a la aislación interior, de casi un 70% en promedio anual. Junto con esto hay que mencionar que de tenerse un comportamiento perfectamente permanente durante los meses fríos, el ahorro relativo de aislar por el exterior o por el interior hubiese sido cero, ya que ello solo hubiese dependido de la resistencia térmica, pero esto no resultó así, dando cuenta con esto, de una influencia pequeña pero no 0, de la inercia térmica en condición de invierno.

¹⁸ Arquitectura de la Innovación, Rolf Thiele: <http://duranarquitectos.cl/2006/07/31/seminario-edificios-y-vivendas-de-bajo-consumo/>

Además, habiendo realizado un pequeño análisis de costo para una vivienda típica en Santiago, como es una de albañilería de 140 mm sin aislación, relativo a la colocación de aislación exterior consistente en 100 mm de espesor de poliestireno expandido, quedó de manifiesto, que existe la factibilidad técnica y económica para llevar a cabo esta mejora. Teniendo esta inversión un tiempo de recuperación realmente bajo, de 1 año y ocho meses, para casos de climatización absoluta, como fue el caso supuesto.

Durante la experiencia realizada en terreno, se comprobó la incidencia que tiene la disposición de masa extra al interior de una vivienda, esta mejora en el comportamiento se debe a la absorción de calor por parte de la masa durante las horas de alta temperatura, y su posterior liberación en las horas de baja temperatura. Ahora bien, hay que tener en cuenta que la masa dispuesta al interior de ésta consistió en tambores de agua, cosa que es muy eficiente, dado el alto calor específico de este material, pero hay que decir que la geometría de su disposición, en tambores repartidos por el interior del espacio habitable, no corresponde a la forma natural de hacerlo, pudiendo mejorar esta condición con su disposición en el contorno de la habitación, por la cara interior del muro perimetral.

Por tanto la masa aislada por el exterior corresponde al caso extremo y más eficiente de disposición de masa extra al interior de una vivienda.

Esta disposición de la masa, no solo maximiza el espacio interior habitable, sino que obliga a que el calor transferido al interior de la vivienda proveniente del muro perimetral, sea conducido íntegramente a través de la masa del muro pesado interior, situación que no acontecía con los tambores de agua, mejorando la condición geométrica evaluada experimentalmente.

CAPÍTULO VIII : IMPLICANCIAS EN LA INGENIERÍA.

Como primera cosa se tiene que existe un gran número de viviendas construidas en Santiago, del tipo albañilería Standard de 14 cm. de espesor, que presentan serios problemas de habitabilidad tanto en verano como en invierno, este estudio demuestra la necesidad y la factibilidad de solucionar estos problemas incorporando aislación térmica y considerando el efecto de inercia térmica, para el diseño de dichas viviendas. En los casos de viviendas ya construidas de albañilería u hormigón, la incorporación de inercia puede efectuarse a posteriori, adicionando una capa de material aislante por el exterior de éstas, dejando el muro masivo al interior del cerramiento, tal como se vio en el prototipo con tambores de agua y en el modelo 3D. Junto con la eficiencia de hacer esta mejora en el diseño, hay que mencionar la facilidad constructiva de hacerlo, ya que al instalar aislación por el exterior no se interviene en el normal funcionamiento de la vivienda.

Junto con el gran número de viviendas de albañilería u hormigón, hay que mencionar también, el sin número de edificios de hormigón, en su mayoría construidos con espesores de muro de entre 15 y 20 cm de espesor sin aislación exterior, para éstos casos también es posible generar sistemas de aislación exterior, para soluciones a posteriori, en edificios ya construidos o bien para implementación de nuevos diseños donde el concepto de inercia térmica está presente y solo de be considerarse.

No solo es importante la incorporación de la inercia para disminuir los costos de operación de las viviendas en general, sino para aumentar de manera sustanciosa el confort de los habitantes de éstas.

Dicho lo anterior, si nos proyectamos al futuro a un momento donde la consideración de la inercia térmica fuera parte de la legislación nacional, entonces la producción de los materiales pesados de construcción (ladrillos y hormigón), debiese cambiar de foco y pasar de intentar de generar materiales aislantes, para cumplir con la normativa actual, a generar materiales que aporten grandes inercias, dejando la aislación a los materiales livianos como poliestireno expandido o lana mineral, dicho coloquialmente, “pastelero a tus pasteles”. Esto por supuesto en zonas de alta oscilación térmica, donde la alta inercia es importante. En Chile estas zonas corresponden a las cordilleras y precordilleras, ya que los sectores costeros presentan climas mas estables y por tanto manda la resistencia térmica.

CAPÍTULO IX : BIBLIOGRAFÍA.

Textos:

Lavigne, Pierre – Brejón, Paul – Fernández, Pierre

”Arquitectura climática –Una contribución al desarrollo sustentable” Tomos 1 y 2

Monardez, Héctor.

”Inercia Térmica – Influencia de la masa en viviendas”

MINVU

”Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones – Artículo 4.1.10”

NCh853.Of1991

“Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”

NCh1079.Of1977

“Arquitectura y Construcción – Zonificación Climático Habitacional para Chile y Recomendaciones para el Diseño Arquitectónico”

NCh1971.Of1986

“Aislación térmica - Cálculo de temperaturas en elementos de construcción”

Artículos de Revista y otros:

Rodríguez Jaque, Gabriel.

Apuntes curso CI-57A: “Física de la Construcción”

Universidad de Chile, semestre primavera 2007.

Ramírez F., Claudia & Casares, Marcelo

“Eficiencia energética en viviendas: Más por menos”

Revista Bit, Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la cámara chilena de la construcción

<http://www.cchc.cl/cendoc/databank/17993.pdf>

López Santiago, Jorge

“Análisis de la capa límite térmica sobre una placa horizontal, en convección natural”

Universidad de las Américas Puebla, México 2003.

Roca Suárez, Manuel & Carratalá Fuentes, Juan

“Calefacción: conceptos básicos”

http://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/3_calefaccion/calefaccion%20tema%201.pdf

Sitios Web:

“Ordenanza general de urbanismo y construcción”

<http://www.minvu.cl/>

”Conceptos y técnicas de Arquitectura Bioclimática”

http://www.emagister.com/cursos-gratis/curso-gratis-arquitectura-kwes-2792_5.htm

Square One, Compañía de desarrollo de softwares.

“Ecotect”

“Cymap”

<http://www.squ1.com>

U.S Department of Energy.

“Heat transfer measurements in non-stationary conditions for building structures”

http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=CHL/cname=Chile

CAPÍTULO X : ANEXOS.

8.1 ANEXO 1: MACRO DE DATOS.

```
Sub preparar()  
  
Dim hora As String  
Dim dia As Date  
Dim temp, i, caso As Single  
Dim sumergido As Boolean  
  
Hoja3.Range("a1", "l3969").ClearContents  
  
Select Case UserForm1.ComboBox1.ListIndex  
    Case 0  
        Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis  
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS  
LOS REGISTROS\cerrada sin tambores.xls").Activate  
        ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana  
Cerrada y sin Tambores"  
        sumergido = False  
        caso = 2  
    Case 1  
        Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis  
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS  
LOS REGISTROS\abierta sin tambores.xls").Activate  
        ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana  
Abierta y sin Tambores"  
        sumergido = False  
        caso = 2  
    Case 2  
        Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis  
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS  
LOS REGISTROS\cerrada 2 tambores.xls").Activate  
        ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana  
Cerrada y 2 Tambores"  
        sumergido = True  
        caso = 2  
    Case 3  
        Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis  
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS  
LOS REGISTROS\cerrada 5 tambores.xls").Activate  
        ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana  
Cerrada y 5 Tambores"  
        sumergido = True  
        caso = 2  
    Case 4  
        Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis  
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS  
LOS REGISTROS\abierta 5 tambores.xls").Activate  
        ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana  
Abierta y 5 Tambores"  
        sumergido = True  
        caso = 2  
    Case 5
```

```

Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS
LOS REGISTROS\cerrada ventilacion nocturna.xls").Activate
    ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana
Cerrada y Ventilación Nocturna"
    sumergido = False
    caso = 4
    Case 6
    Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS
LOS REGISTROS\cerrada ventilacion permanente.xls").Activate
    ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo con Ventana
Cerrada y Ventilación Permanente"
    sumergido = False
    caso = 3
    Case 7
    Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS
LOS REGISTROS\ventilacion nocturna 2 sin tapa.xls").Activate
    ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo Ventilación
Nocturna 2 sin Tapa de Ventana"
    sumergido = False
    caso = 3
    Case 8
    Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS
LOS REGISTROS\ventilacion nocturna forzada.xls").Activate
    ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo Ventilación
Nocturna Forzada"
    sumergido = False
    caso = 3
    Case 9
    Workbooks.Open("C:\Documents and Settings\Marcial\Mis
documentos\Memoria\Inercia térmica Marcial Salaverry\caseta sin pintar\TODOS
LOS REGISTROS\ventilacion nocturna forzada con 5 T.xls").Activate
    ThisWorkbook.Worksheets(1).Cells(10, 6).Value = "Ensayo Ventilación
Nocturna Forzada con 5 Tambores"
    sumergido = True
    caso = 3

End Select

For t = 1 To 4
    If Worksheets(t).Cells(1, 1).Value <> "none" Then

For i = 6 To 3973

    If Worksheets(t).Cells(i, 1).Value <> "" Then

dia = CDate(Mid(Worksheets(t).Cells(i, 1).Value, 1, 8))
temp = Round(CSng(Replace(Mid(Worksheets(t).Cells(i, 1).Value, 24, 4), ".",
",")), 1)
hora = Mid(Worksheets(t).Cells(i, 1).Value, 10, 12)

' corrojo el valor de hora por un tipo 24 hrs
If Mid(hora, 10, 3) = "a.m" Then
hora = Mid(Worksheets(t).Cells(i, 1).Value, 10, 8) & " " & "am"

```

```
End If
If Mid(hora, 10, 3) = "p.m" Then
hora = Mid(Worksheets(t).Cells(i, 1).Value, 10, 8) & " " & "pm"
End If

ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(i - 4, 3 * t - 2).Value = dia
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(i - 4, 3 * t - 1).Value = hora
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(i - 4, 3 * t - 0).Value = temp
    End If

Next i
End If
Next t
ActiveWorkbook.Close (False)
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(1, 1).Value = "Sensor Inferior"
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(1, 4).Value = "Sensor Superior"
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(1, 7).Value = "Sensor Exterior"
ThisWorkbook.Worksheets(3).Cells(1, 10).Value = "Sensor Sumergido"
```