



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil.

“Evaluación de la influencia de la aislación térmica de planchas de material reciclado en la condensación superficial de tabiques, en viviendas sociales de la Región de Valparaíso.”

Por:

Virgilio Hernán Gallardo Encina.

Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y al Título de Ingeniero Constructor

Profesor Guía: Sr Claudio Carrasco Aldunate.

Valparaíso, Diciembre de 2015.

*Dedicado con amor a
Roberto, Hilda, Gloria,
Mi mujer Joselyne y mi pequeña hija Monserrat Antonia.*

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer en primera instancia a Dios por haberme dado la sabiduría necesaria para enfrentar el reto de retomar los estudios después de un largo periodo y por no abandonarme en ningún momento de este largo pero hermoso camino.

A la Universidad de Valparaíso, por haberme brindado la oportunidad de forjarme en lo que siempre soñé, a sus profesores por haberme entregado los conocimientos los cuales aplico día a día.

A mi profesor Guía Claudio Carrasco, por toda la dedicación, paciencia, entrega y disposición para orientarme y corregir cuando fue necesario para así alcanzar los objetivos propuestos en la investigación.

Agradecer desde lo más profundo de mi corazón a mis abuelos maternos Roberto e Hilda, por la formación personal y valores entregados en mi vida, su amor inconmensurable y su apoyo incondicional mientras tuve la dicha de tenerlos conmigo.

A mi madre Gloria, por su sacrificio y apoyo durante todo este proceso de estudios, gran pilar en este camino, apoyo y amor de madre que me impulsó cada día.

A mis mujeres hermosas Joselyne y mi pequeña hija Monserrat, por su compañía y amor incondicional, por ser el pilar fundamental que sostiene mi vida, mi hermosa familia.

Finalmente agradecer a mis amigos de la vida, de la Universidad, complemento esencial, ya que sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

Gracias....

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I ANTECEDENTES PRELIMINARES	12
1.1 GENERALIDADES	13
1.1.1 La vivienda social en Chile.....	13
1.1.2 Planteamiento del problema.....	20
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo general de investigación	23
1.2.2 Objetivos específicos de investigación.....	23
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	24
1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS TEÓRICO DE LA CONDENSACIÓN EN VIVIENDAS SOCIALES	26
2.1 Generalidades	27
2.2 Humedad relativa y tipos de humedades.....	33
2.3 Condensación superficial	35
2.4 Riesgos de la condensación superficial.....	35
2.5 Modelo de cálculo de la condensación superficial según Nch 1973.	36
2.6 Efectos de la condensación superficial	39
2.7 Recomendaciones generales para evitar la condensación superficial	40
2.8 Condensación Intersticial	40
2.9 Efectos de la humedad de condensación sobre los materiales de construcción	42
2.9.1 Eflorescencias	42
2.9.2 Aparición de hongos y mohos.....	42
2.9.3 Decoloraciones.....	43
2.9.4 Aumento de la conductividad térmica	44
CAPITULO 3 DESARROLLO EXPERIMENTAL	46

3.1 Generalidades	47
3.2 Descripción del módulo de prueba.....	48
3.3 Equipo de medición.....	50
3.4 Descripción de la solución constructiva a utilizar.....	51
3.5 Proceso constructivo del sistema de aislación propuesto	52
3.6 Protocolo de medición.....	59
CAPÍTULO 4 RESULTADOS OBTENIDOS.....	63
4.1 Generalidades	64
4.1.1 Análisis de las variables involucradas en la investigación	65
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....	110
5.1 Conclusiones de la investigación	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Índice de hacinamiento	16
Tabla 1.2 Valores de trasmittancia y resistencia termica referidos al complejo de techumbre	17
Tabla 1.3 Exigencias de transmision termica a tarves de elementos perimetrales	18
Tabla 1.4 transmitancia termica de muros de ladrillo con espesor de 0,14 mts, en condiciones de sequedad y humedad, con y sin viento	19
Tabla 2.1 Conductividad ternica de algunos materiales	31
Tabla 3.1 Cantidad de material utilizado por plancha confeccionada.....	57
Tabla 3.2 Cantidad total de planchas para el módulo.....	57
Tabla 3.3 Configuracion cámara de aire entre tabique	58
Tabla 3.4 Configuracion de albañileria de ladrillo	58
Tabla 3.5 Cronograma de toma de datos en la vivienda	62
Tabla 4.1 Temperatura ambiente exterior primedio durante la investigacion en cada configuracion ...	65
Tabla 4.2 Humedad relativa exterior promedio durante la investigacion en cada configuracion	66
Tabla 4.3 Registro de resistencias termicas de los muros	82
Tabla 4.4 Registro de resistencias termicas de los muros con la aislacion de poliestireno expandido y bandejas de huevos	97
Tabla 4.5 Registro de resistencias termicas de los muros sin sistema de aislacion termica	108
Tabla 4.6 Resumen de datos registrados en la vivienda social.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama Bioclimático de Givonni	15
Figura 1.2 Evolución de la superficie de viviendas contratadas por Serviu a partir de los años noventa	16
Figura 2.1 Factores influyentes en el comportamiento térmico de las viviendas	27
Figura 2.2 Tipos de transferencia de calor en una vivienda	28
Figura 2.3 Transmisión de calor en un muro	29
Figura 2.4 Flujo de calor en un elemento compuesto por capas	30
Figura 2.5 Transmisión de calor por convección	32
Figura 2.6 Flujo de calor mediante la radiación	32
Figura 2.7 Humedad por condensación en pared de baño.....	34
Figura 2.8 Temperaturas registradas en Julio de 2014, faro Punta Ángeles, Valparaíso	37
Figura 2.9 Ejemplo de uso de Diagrama Psicrométrico.....	38
Figura 2.10 Barrera de vapor de tipo papel metalizado	39
Figura 2.11 Esquema de zona de saturación y riesgo de condensación intersticial	41
Figura 2.12 Eflorescencias en muros interiores de una vivienda	42
Figura 2.13 Aparición de hongos y mohos en una pared de una vivienda.....	43
Figura 2.14 Paredes de un baño con decoloraciones y mohos.....	43
Figura 2.15 Variación de la conductividad térmica de materiales aislantes en función de humedad ...	44
Figura 3.1 Disposición en planta de la instalación de sensores para la toma de datos	48
Figura 3.2 Módulo de prueba, vivienda social tipo.....	49
Figura 3.3 Glx Xplorer de Pasco	50
Figura 3.4 Sensores utilizados en la investigación	51
Figura 3.5 Materiales a emplear en la confección del sistema propuesto	52
Figura 3.6 Distribución de bandejas de huevos en la plancha de poliestireno	53
Figura 3.7 Dimensionado de bandejas en planchas	53
Figura 3.8 Secuencia pegado de las bandejas en la plancha	54
Figura 3.9 Segunda secuencia de pegado de las bandejas en la plancha	55
Figura 3.10 Proceso de pegado de la segunda plancha de poliestireno	55
Figura 3.11 Consolidación de las planchas de poliestireno al cuerpo intermedio de bandejas de huevo	56
Figura 3.12 Proceso de prensado de las planchas.....	56
Figura 3.13 Fuente generadora de vapor de agua	59
Figura 3.14 Sensor cuádruple de equipo Glx Xplorer de Pasco	60
Figura 3.15. Sensor para cada muro de la envolvente	60
Figura 3.16 Sensor de temperatura y humedad relativa conectado a equipo Glx Xplorer de Pasco....	61
Figura 3.17 Toma de datos con equipo conectado a computador.....	62
Figura 4.1 Cámara de aire entre tabiquería	67
Figura 4.2 Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura de punto de rocío, datos obtenidos en la semana del 13 de Septiembre de 2014.....	67
Figura 4.3 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior en muro Oriente	68
Figura 4.4. Resistencia térmica de cámaras de aire no ventiladas	71
Figura 4.5 Perfil de temperaturas en muro Oriente.....	72
Figura 4.6 Perfil de temperaturas en muro oriente según Nch 1973	73
Figura 4.7 Temperaturas máximas y mínimas registradas en muro Norte con aislamiento de cámara de aire.....	74
Figura 4.8 Perfil de temperaturas en muro Norte.....	74
Figura 4.9 Perfil de temperaturas en muro Norte.....	76
Figura 4.10 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior en muro Sur.....	77
Figura 4.11 Perfil de temperaturas en muro Sur	78

Figura 4.12 Perfil de temperaturas en muro Sur	79
Figura 4.13 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior en muro Poniente	80
Figura 4.14 Perfil de temperaturas según cálculo Nch 1973 of 1987	82
Figura 4.15 Sistema de aislacion propuesto	83
Figura 4.16 Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura de punto de rocío, datos obtenidos en la semana del 06 al 10 de Octubre de 2014.....	84
Figura 4.17 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro oriente.....	85
.....	
Figura 4.18 Perfil de temperaturas Muro Oriente según cálculo Nch 1973 of 1987	88
Figura 4.19 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior para el muro Norte.....	89
Figura 4.20 Perfil de temperaturas en muro Norte.....	90
Figura 4.21 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior para el muro Sur	91
Figura 4.22 Perfil de temperaturas en muro Sur	93
Figura 4.23 Temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior en muro Poniente	94
Figura 4.24 Perfil de temperaturas en muro Poniente	96
Figura 4.25 Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura de punto de rocío, sin sistema de aislacion termica, datos obtenidos en la semana del 10 al 14 de Noviembre de 2014. 98	
Figura 4.26 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro oriente.....	99
Figura 4.27 Perfil de temperaturas Muro Oriente.....	100
Figura 4.28 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior para el muro Norte	101
Figura 4.29 Perfil de temperaturas en muro Norte.....	103
Figura 4.30 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, t° de punto de rocío y t° superficial exterior para el muro Sur.....	103
Figura 4.31 Perfil de temperaturas en muro Sur	105
Figura 4.32 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Sur	106
.....	
Figura 4.33 Perfil de temperaturas Muro Poniente	108

RESUMEN.

La presente investigación pretende desarrollar e implementar un sistema de aislación térmica que reduzca la patología de condensación superficial presente en las viviendas, cuyo costo se encuentra bajo las 650 unidades de fomento, y que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo denomina como viviendas sociales. Es en éstas en donde se ha determinado que aparece este fenómeno dado diversos factores incidentes, entre los que se pueden enunciar los hábitos de los moradores, una renovación de aire deficiente y una aislación térmica inadecuada.

Esta investigación desarrolla una solución constructiva la cual pretende reducir dicho fenómeno en una vivienda social. Las soluciones constructivas se implementan en una tabiquería de madera de pino de 2x3", cubierta con placas de yeso cartón st de 12 mm, sin sistema de barrera de vapor entre envolvente y tabiquería. Es acá en donde se implementan los sistemas de aislación térmica cuyo orden es el siguiente. Una solución N° 1 compuesta por una aislación térmica en base a una cámara de aire entre la envolvente de albañilería y la tabiquería de yeso cartón, la solución N° 2 es la placa propuesta de poliestireno expandido, con un cuerpo intermedio de bandejas de huevos y una 3° configuración que será la envolvente en contacto directo con el ambiente interior; es decir, se desmonta la tabiquería y se prueba el comportamiento frente a condiciones de condensación generadas artificialmente en el interior de la vivienda.

Se plantearon diferentes configuraciones de aislación térmica, las que se instalaron de manera consecutiva en el mes de Septiembre y Octubre en un módulo de prueba que representa la superficie tipo de una vivienda social y que está ubicada en los Laboratorios de la Universidad de Valparaíso. Es en esta vivienda en donde se crearon condiciones de alta humedad relativa durante el día, para así poner a prueba la vivienda con las configuraciones propuestas. La toma de datos se realizó utilizando un equipo digital de toma de datos, al cual se le conectaron sensores de humedad y temperatura para así ir recogiendo a tiempo real y a intervalos regulables, los diferentes datos según se requirieron para la experiencia. Los resultados obtenidos señalan que la mejora térmica incluyendo un material aislante normado mejora significativamente el comportamiento del sistema aislante. Al incluir una bandeja de huevos en un panel de aislación se adiciona la capacidad aislante tanto del cartón, como de una cámara de aire estanca, mejorando también las condiciones de térmica en el recinto.

La investigación concluye con datos tangibles de ciertas mejorías para la vivienda al implementar una solución con materiales que son parte de la gama de elementos de aislación propuestos por la Cámara Chilena de la Construcción, es decir, eventualmente se visualiza una alternativa de aislación térmica factible para una vivienda de tipo social y de bajo costo de implementación.

Palabras claves: Aislación térmica, Condensación, Vivienda Social, Material reciclado.

INTRODUCCIÓN.

En el año 1965, bajo el mandato del presidente Don Eduardo Frei Montalva, se publicó la ley 16.391, que establece la creación del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), cuya función es la de establecer una coordinación, regulación y mejora en el ámbito de la problemática habitacional en Chile. De esta forma la constitución de dicha cartera le otorgó la importancia que se merecía el problema de la vivienda.

A comienzo de los años 70 y en vista de la carencia de viviendas en los sectores más pobres de la periferia de Santiago, el gobierno impulsó programas cuya principal función fue la de otorgar viviendas a la gran parte de la población carente de todo servicio. Si bien es cierto se solucionó en parte la problemática, pero por otro lado se dejó entrever la fragilidad y poca importancia a la calidad del beneficio otorgado.

A partir de la crisis energética de los 70's se inició un proceso de introducir exigencias en el comportamiento térmico de las viviendas en distintos países. En Chile se incorporó la Política Habitacional que comenzó a hacer imperante el factor cualitativo, generando así evaluaciones ligadas al ámbito del diseño y efectiva producción de las viviendas. (Aguirre F, 2009). También se comienza a implementar la Normativa de Aislamiento Térmico, la cual complementa la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Girón y Cortés, 2004). Uno de los principales propósitos de la O.G.U.C es el de proveer de adecuadas, estables y permanentes condiciones de habitabilidad a sus moradores, con prioridad en el confort higrotérmico, requerimiento básico e imprescindible para la actividad humana, (López C, 2013).

En el año 1975 se crea al Servicio Regional de Vivienda Y Urbanismo (SERVIU), el cual actúa como ente representativo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en regiones, para así reforzar el compromiso del gobierno en la materia. Este organismo se encuentra activo hasta la actualidad en el país.

No fue hasta los años 80' cuando se sentaron las bases del sistema habitacional que conocemos hasta estos días, basado en un Estado subsidiario. En concreto, durante el Gobierno Militar se implementó un nuevo modelo de política habitacional, basado en el subsidio a la demanda y la complementación con el crédito y ahorro. (Chamorro C, 2010).

Hoy en día la limitada capacidad energética que dispone el país y el énfasis otorgado a políticas ambientalistas, nos sitúan en un contexto en el cual se busca un desarrollo sustentable y de eficiencia energética, para así poder obtener un ahorro energético y un bajo impacto sobre el medio ambiente. Es en este aspecto en donde Normativas como la Nch 853 y la Nch 1973 ofrecen estándares de calidad y condiciones de aislación térmica idóneos, los cuales deben ser establecidos e implementados a fin de otorgar mejoras en la calidad de vida en una vivienda.

Dentro de las variables que permiten obtener un ahorro energético y mejor confort higrotérmico en viviendas, se encuentra la aislación térmica, la cual se materializa en elementos constructivos de la envolvente tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general cualquier elemento que separe dos ambientes con temperaturas distintas. (Erazo R, 2007).

Chile es el primer país de Latinoamérica que ha incorporado en su reglamento de construcción exigencias de acondicionamiento térmico para absolutamente todas las viviendas, en el marco de una política de mejoramiento de la calidad de vida de la población y más allá de la actual distancia respecto de las condiciones de confort y de la baja demanda de energía alcanzada en los

países desarrollados, se puede asegurar que se está en el camino correcto y que avanzar en este ámbito permitirá cada vez vivir mejor y de manera sustentable.

Variadas investigaciones han ahondado en el tema de la condensación superficial al interior de una vivienda y su estrecha relación con la confortabilidad térmica. A lo largo de los años se ha buscado establecer condiciones y/o parámetros necesarios dentro de los cuales se mantengan las condiciones óptimas de confortabilidad térmica en una vivienda. Patricia Martínez, Pedro Sarmiento y Wadir Urquieta (2005) estudiaron una población de Viña del Mar para obtener datos e investigar en profundidad el fenómeno de la condensación superficial en las viviendas del sector, y de qué manera ésta afecta a sus moradores. Esta investigación arrojó como uno de los principales factores incidentes el comportamiento humano; conductas adoptadas como lavar ropa en el interior, secarla y mantener una gran cantidad de plantas al interior de la vivienda misma, son antecedentes que avalan la incidencia de condensación superficial presente al interior de un recinto determinado.

Hernández (2009) al igual que los investigadores anteriores, postula que uno de los principales factores que deterioran la calidad de vida en lo que a condiciones de confort térmico se refiere es el hacinamiento que se produce en las viviendas, en conjunto con malas prácticas o costumbres adoptadas a lo largo de las generaciones como el secar la ropa en el interior del recinto mismo, no ventilar adecuadamente la vivienda, mantener mascotas y plantas en una cantidad desproporcionada al interior de una vivienda, van generando un deterioro progresivo de la vivienda, apareciendo agentes patógenos como hongos de humedad y en casos aislados la aparición de termitas.

En la actualidad el impacto ambiental ha generado nuevos modos de construir tomando en cuenta la eficiencia energética, aspecto directamente relacionado con la aislación térmica de una vivienda. La construcción actual no solo busca innovar en el diseño, sino también en el uso de estos materiales obtenidos, en la mayoría de las veces, de fuentes de reciclaje. De acuerdo a la anterior es que se han comenzado a utilizar en forma experimental materiales no convencionales y/o reciclados para la construcción de viviendas. Cuando el material utilizado es reciclado o podría reutilizarse, se habla de materiales de construcción más sostenibles.

Para estudiar y generar un aporte en el acondicionamiento térmico de las viviendas es que se planteó el presente estudio, el cual pretende determinar el grado de efectividad de una solución constructiva en base a dos planchas de poliestireno expandido, a las cuales se le adosa una bandeja de cartón (huevos); y ver de qué manera se comporta frente a condiciones forzadas de aparición de condensación en una vivienda.

Se espera que al comparar la solución propuesta, se obtengan resultados que permitan concluir de forma fehaciente como una alternativa real frente al fenómeno estudiado, y a su vez, poder tomar estos datos y/o resultados como base para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES PRELIMINARES.

1.1 GENERALIDADES.

1.1.1 La vivienda social en Chile.

En el transcurso del siglo pasado, el Estado chileno ejecutó una serie de acciones para dar solución al problema de la vivienda, el cual afecta con especial rigor a los grupos sociales de más escasos recursos. Desde el momento en que la solución de las condiciones habitacionales dejó de ser un asunto de caridad, las actuaciones oficiales en esa materia fueron dejando su herencia inconfundible en las ciudades chilenas. Tales acciones han abarcado desde la provisión de una vivienda terminada hasta la entrega de suelo semiurbanizado, pasando por soluciones intermedias consistentes en una unidad básica de tamaño mínimo, con los respectivos servicios de urbanización. Todas estas alternativas han ido construyendo una sección considerable de las áreas urbanas del país, y en especial de las grandes áreas metropolitanas como Santiago, y han contribuido a configurar los límites del espacio social de las ciudades. En ellas, además se han materializado los anhelos de gobernantes y pobladores por satisfacer una necesidad básica como es la vivienda. (Hidalgo R, 2009).

Hacia la mitad de los años sesenta, la política de vivienda experimentó un innovador impulso con la creación en 1965 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), institución que tuvo a su cargo la política habitacional de Chile y la coordinación de las instituciones involucradas con la acción del Estado en materia de vivienda. Cabe destacar también que por esos años se observó un incremento en la demanda de viviendas en las ciudades, debido, por una parte, al aumento del crecimiento vegetativo de la población; y, por otra parte, a la llegada de un mayor número de migrantes desde las áreas rurales.

El panorama descrito anteriormente en conjunto con la serie de reformas y ajustes en la política habitacional chilena dieron la entrada a la década de los noventa, en donde se realizaron algunas importantes acciones en el campo de los programas de vivienda: siguieron desarrollándose las alternativas puestas en marcha durante las décadas anteriores y se materializaron una serie de programas que dinamizaron y pusieron en el tapete nuevos desafíos en la gestión de las políticas habitacionales, relacionados directamente con el significativo aumento de las soluciones otorgadas. En resumen, los objetivos básicos de la política habitacional de la década de los noventa recaen en disminuir el déficit cuantitativo existente y mejorar la calidad de la vivienda otorgadas a los sectores más pobres del país. (Haramoto E, 1995).

Este impulso de crecimiento en oportunidades ha permitido a numerosas familias acceder a una vivienda con las condiciones mínimas de equipamiento y servicios, saliendo así de la marginalidad habitacional, mejorando considerablemente sus condiciones de salubridad y calidad de vida.

Pero así como se obtuvieron importantes logros, se produjeron diversos conflictos y problemas, sobre todo en lo que respecta a la mala calidad de las viviendas en algunos conjuntos residenciales, cuyo tema se hizo patente en el invierno de 1997, cuando numerosas viviendas recién entregadas se vieron afectadas por las inclemencias de la lluvia que se dejó caer en la zona central del país y en Santiago, en donde se vieron afectadas alrededor de nueve mil viviendas. Esta situación levantó una gran polémica sobre el tipo y la calidad de las viviendas que se estaban construyendo en Chile para las familias de ingresos medios y bajos. (Ducci M, 1997).

Este tipo de situaciones fueron las que llevaron al gobierno a generar una serie de iniciativas tendientes a revertir las dificultades producidas en ese campo. Esto condujo a la formulación de una Ley de Calidad de la Vivienda, que se promulgó a fines de 1997, y a la vez se tomaron en cuenta diversas medidas como elevar requerimientos técnicos en relación a la edificación de viviendas y aumentar las inspecciones técnicas con profesionales idóneos. (Hidalgo R, 2009).

En los últimos años se ha logrado absorber el déficit cuantitativo mediante la construcción de una mayor cantidad de viviendas en comparación al aumento de la población. La disminución cuantitativa del déficit habitacional se debe en gran medida a las políticas implementadas por el MINVU para la adquisición de viviendas, lo que ha llevado a que en la actualidad el 31,4 % de las viviendas habitadas por sus propietarios se hayan adquirido mediante algún programa político de vivienda (Encina y Tabilo, 2005).

De acuerdo a las necesidades observadas en el tema habitacional a través de los años, los programas habitacionales se han modificando creando programas que permitan mejorar las viviendas sociales y su entorno. Éstos llevan por nombre: Programa de Mejoramiento de la Vivienda Familiar y su Entorno (D.S n° 84 (V Y U), 2005) Y Programa de Mantenimiento de la Vivienda (D.S n° 149 (V Y U), 2005), ambos sufrieron cambios, pasando a llamarse: Programa de Protección al Patrimonio Familiar (D.S N° 225 (V Y U), 2007). Estos programas permiten que las viviendas sociales obtenidas de forma particular o por uno de estos beneficios habitacionales sean mejoradas, para evitar el excesivo deterioro y así producir un déficit habitacional a las personas que allí habitan; y para otros casos las viviendas puedan ser ampliadas para terminar con el hacinamiento de las familias. En estos programas también se incluye el mejoramiento del entorno de las viviendas, creando espacios de recreación y socialización para los habitantes del sector. Cabe destacar el aporte de la creación de la Reglamentación Térmica en el año 2000, ente regulador y que aumenta aún más las exigencias a la hora de implementar térmicamente una vivienda, sea cual sea su ejecución (Ñancucho R, 2008).

Mejorar cualitativamente la vivienda, se entiende como el proceso de optimizar la materialidad de la vivienda, es decir, perfeccionar ostensiblemente la calidad de los materiales a utilizar en la construcción de las viviendas y a la vez, incorporar nuevos e innovadores sistemas constructivos regidos a su vez por la Reglamentación Térmica, y que apunten directamente a la mejora en la calidad del ambiente interior y en la habitabilidad propiamente tal de una vivienda. Un hábitat se puede considerar confortable higrotérmicamente cuando su temperatura varía entre los 20 y 25° C y una humedad relativa comprendida entre un 40 y 75%, esto considerado del Diagrama desarrollado por el investigador Baruch Givoni.

Givoni establece en su Diagrama Bioclimático la zona de confort térmico a utilizar en una edificación. Este diagrama permite determinar la estrategia bioclimática a adoptar en función de las condiciones higrotermicas del edificio en una determinada época del año. En el diagrama se distinguen zonas asociadas a sus respectivas técnicas bioclimáticas que permiten alcanzar la zona de bienestar. Se presenta el Diagrama de Givoni en la figura 1.1

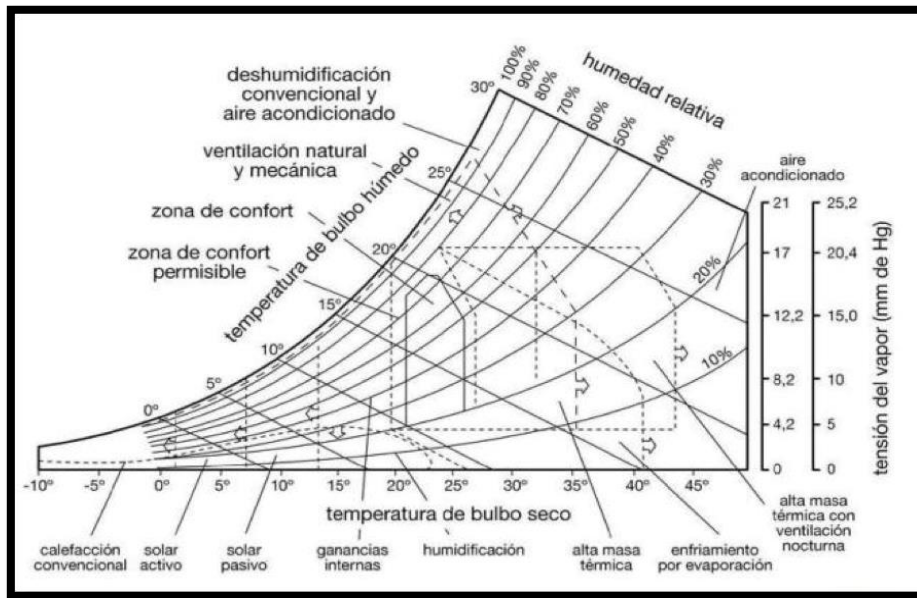


Fig. 1.1 Diagrama de Givoni.

Fuente: "Diagrama Bioclimático de Givoni", Hernández P, (2014).

Hacia la derecha la zona de bienestar puede ampliarse en función de la masa térmica del edificio, representada por los tipos de materiales de la construcción; el enfriamiento evaporativo, que se produce cuando una corriente de aire seco y cálido pasa por sobre una superficie de agua o una superficie húmeda, parte de la cual se evapora produciendo un doble efecto positivo; por una parte se produce el descenso de la temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de la humedad ambiental. Fuera de estos límites y hacia la derecha del gráfico, solo se pueden conseguir las condiciones adecuadas de ventilación.

Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort se extiende siempre que se produzca calentamiento, el cual puede ser pasivo, es decir, utilizando la radiación solar directa, durante el día, o mediante el uso de sistemas mecánicos de calefacción.

Dentro de la edificación, este anhelo de confort higrotérmico está relacionado a su vez con la superficie destinada a habitación, en donde ésta ha experimentado una evolución significativa desde los años noventa. Lo anterior se plasma en la siguiente figura 1.2.

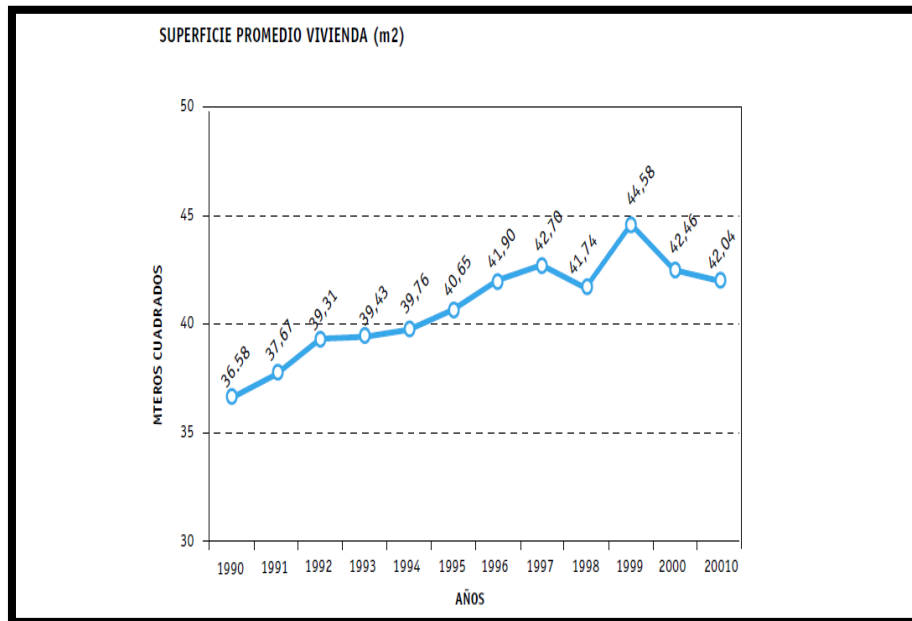


Fig. 1.2 Evolución de la superficie de viviendas contratadas por Serviu a partir de los años noventa.

Fuente: MINVU, viviendas básicas contratadas 1990-2001.

Según estudios realizados en relación a estándares de superficie, se recomienda una superficie de 10,5 m² por persona. Debido a que si una vivienda presenta una superficie menor a 8 m² por persona produce conductas patológicas en los habitantes; con una superficie entre los 8 y los 12 m² por persona, se dispone de una cantidad mínima necesaria de superficie por habitante; siendo una superficie superior a los 12 m² considerada como óptima en cuanto a superficie por persona en una vivienda. (Aguirre F, 2009).

El hacinamiento en Chile es clasificado en tres tipos, de acuerdo a la relación persona/habitación, la relación anterior se indica en la tabla 1.2:

Tabla 1.1
Índice de hacinamiento

Habitante por habitación en la vivienda	Condición de hacinamiento
2,4 y menos	Sin hacinamiento
2,5 a 4,9	Hacinamiento medio
5 y más	Hacinamiento crítico

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2002.

Otro de los tópicos relevantes en materia de vivienda social es la materialidad de la envolvente de éstas, siendo los muros de albañilería uno de los más utilizados. Este material, si bien es cierto, es resistente frente a diferentes solicitaciones de carácter estructural, pero presenta la falencia de no poder por sí solo cumplir con las exigencias de la nueva Reglamentación térmica. Según el Instituto Nacional de Estadísticas, entre 1994 y 1998 el 41% de las construcciones de viviendas sociales en Chile se materializó en base a ladrillo cerámico. (Bustamante et al, 2005).

La Nueva Reglamentación Térmica presenta exigencias mínimas que deben cumplir los elementos envolventes de una vivienda, rigiéndose en los planos de zonificación térmica aprobados por el MINVU, donde señala que todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico, dentro de las que se destacan:

El complejo de techumbre de la vivienda, entendido éste como el conjunto de elementos que la conforman, deberá tener valores de transmitancia térmica "U" igual o menor, o una resistencia térmica total "Rt" igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda a la localidad de la comuna en que se ubique el proyecto, de acuerdo a los planos aprobados por resoluciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Valores de transmitancia y resistencia referidos al complejo de techumbre.

Zonas	Transmitancia Térmica "U" W/(m ² K)	Resistencia Térmica Total "RT" M ² *K/W
1	0,84	1,19
2	0,60	1,66
3	0,47	2,13
4	0,38	2,60
5	0,33	3,07
6	0,28	3,54
7	0,25	4,01

Fuente: "Reglamentación térmica para techumbres". O.G.U.C art 4.1.10.

Referente a lo anterior comentado y que respecta a la clasificación por zonas climáticas, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción estableció parámetros de diseño para edificaciones en las diferentes geografías y condiciones climáticas que posee el territorio chileno. Por lo que divido al país en siete zonas térmicas. Dicha división se basó en los grados-día que posee cada sector o zona determinada con el objeto de regular la transmisión de calor a través de la envolvente de los edificios.

El concepto de Grados-día se define como el indicador del grado de rigurosidad climática de un sitio. Relaciona la temperatura horaria de una localidad con una temperatura base. Se define como la suma anual de las diferencias horarias entre la temperatura del aire exterior, y una temperatura base de calefacción, para todos los días del año.

La zonificación térmica entrega una serie de parámetros para el diseño y construir la construcción de los elementos perimetrales de una edificación dependiendo en la zona donde se quiera emplazar. A continuación en la tabla 1.3 se especifican las exigencias de transición térmica para cada elemento de la envolvente.

Tabla 1.3 Exigencias de transmisión térmica a través de elementos perimetrales.

Zona	Techumbre		Muros		Pisos ventilados	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	w/m ²	m ² /w	w/m ²	m ² /w	w/m ²	m ² /w
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,0	0,6	1,67	0,32	3,13

Fuente: CITEC UBB, 2013.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior, la Comuna de Valparaíso se encuentra ubicada en la zona n°2, por lo que el complejo de muros debe tener una resistencia térmica mínima de 0,33 m²c/w y una transmitancia térmica de 3,0 w/m²c

Los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en un proyecto, deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros, tales como cadenas, vigas, soleras, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales.

En el complejo de muros, los materiales aislantes deberán cumplir con el espesor determinado por la zona térmica en la cual se encuentre el proyecto.

Es en este aspecto en donde el ladrillo denominado presenta falencias en la transmitancia térmica, definida como la cantidad de calor que pasa a través de un material determinado. Según estudios realizados en la Universidad del Biobío en el año 2013, para un muro de albañilería este valor comprende desde los 2,0 y los 2,5 W/m²C, claro que son incidentes los factores climáticos dejando paso a la interrogante de si es efectiva la resistencia térmica presentada por el ladrillo en la construcción de viviendas. Estos parámetros se aprecian en la tabla 1.3, en donde se evidencia lo postulado anteriormente.

Tabla 1.4
Transmitancia térmica de muros de ladrillo con espesor de 0,14 metros, en condiciones de sequedad y humedad, con y sin viento.

Material de muro	condición	Conductividad térmica (W/m°C)	Transmitancia Térmica U(W/m ² °C)
Ladrillo artesanal	Seco sin viento	0,47	2,1
Ladrillo artesanal	Seco con viento	-	2,4
Ladrillo artesanal	Húmedo sin viento	0,78	2,9
Ladrillo artesanal	Húmedo con viento	-	3,3
Ladrillo de maquina	Seco sin viento	0,41	2,0
Ladrillo de maquina	Seco con viento	-	2,2
Ladrillo de maquina	Húmedo sin viento	0,67	2,6
Ladrillo de maquina	Húmedo con viento	-	3,0

Fuente: Revista Bit, Volumen n° 58, paginas 40-43, Enero de 2008, Santiago, Chile.

Al ver estos valores de transmitancia térmica, se puede postular que son estándares considerados precarios, dado que al comparar con las exigencias propuestas por el MINVU, solo cumplen en las zonas 1 y 2, las que según la RT comprenden desde el litoral norte hasta la zona centro litoral e interior (Olmué, San Felipe, Quillota, Valparaíso, Viña del Mar, Quintero, San Antonio.). Es por esto que toma aún más relevancia el desarrollo de nuevas soluciones para mejorar y ser un aporte en la aislación térmica de la envolvente de albañilería, u otra solución constructiva que permita optar por un sistema de baja conductividad térmica.

1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La aislación térmica de viviendas ha sido para el hombre motivo de múltiples interrogantes a través de la historia. Desde un principio inició sus investigaciones basado en experiencias cotidianas y de a poco fue formulando teorías y metodologías para determinar el mejor sistema de aislamiento térmico a utilizar (*Arrau G, 1988*).

La crisis energética es una realidad indiscutible, y donde la eficiencia energética definida básicamente como la cantidad mínima de energía necesaria para dotar condiciones de habitabilidad y confort tanto a la vivienda como a sus moradores, se relaciona directamente con las demandas necesarias, sean estas de calefacción, refrigeración, ventilación o de aislación del calor en una vivienda. Si los sistemas de aislación, los cuales precisamente deben dotar de condiciones adecuadas, son deficientes, se estará en un escenario de malgasto de energía y recursos, repercutiendo directamente con la calidad de vida de las personas (*Jauregui E, 2009*). Esta problemática se ha visto mejorada paulatinamente a través del tiempo, gracias a las investigaciones realizadas con el fin de aportar con nuevos conocimientos, y a su vez, han permitido desarrollar mejores elementos aislantes, así como también la toma de conciencia e importancia del tema por parte de la ciudadanía. De esta manera se ha logrado mejorar las condiciones de habitabilidad y por ende la calidad de vida de las personas. (*Cabrera F, 2006*). Estos requerimientos de confort térmico hacen que al momento de diseñar una vivienda se deba considerar que ésta brinde un ambiente confortable para sus ocupantes, a través de sistemas constructivos, materiales innovadores, cumplimiento de normativas y el uso de buenas prácticas. En estos aspectos la construcción tiene mucho que decir y aportar. (*Palma R, 2007*).

Desde la crisis del petróleo a fines de los años 70, y como consecuencia del calentamiento global, el mundo entero ha diversificado y buscado nuevas estrategias para hacer un uso adecuado de la energía en construcciones y viviendas. Actualmente existen claras evidencias científicas sobre la existencia del cambio climático, debido al efecto invernadero generado por las emisiones indiscriminadas de CO₂. Este fenómeno también se asocia directamente con los consumos energéticos, sean estos provenientes de energías fósiles, tales como el carbón o el gas. Este fenómeno ha ido en aumento produciendo en el mundo un calentamiento a nivel global, trayendo consigo un incremento del nivel de los mares, los deshielos en los polos, deterioro de los suelos (sequías) y aparición de ciertas epidemias infecciosas. (*Bustamante W, 2009*).

El aplicar criterios de eficiencia energética a las viviendas se traduce en incorporar parámetros de calidad y sustentabilidad, esto porque implican una mayor calidad de vida y un compromiso con el medio ambiente. (*Bustamante W, 2009*). Debido a esto último es que se hace fundamental tener en cuenta lo indispensable que es el uso del aislamiento térmico en las viviendas

La aislación térmica se define como la capacidad de oposición al paso del calor de un material o conjunto de materiales, y que en el ámbito de la construcción se refiere principalmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior. (*Guichaquelen D, 2010*).

El cuestionamiento al aislamiento térmico ha estado presente sobretodo en el aspecto de la vivienda social, ya que es en éstas en donde el aislamiento térmico es nulo y casi no existe. Una de los principales agentes causantes de esto es la visión cuantitativa de la política habitacional chilena, es decir, a lo largo de estos últimos 30 años se ha tomado como punto de partida principal el satisfacer necesidades de techo, más que de dotar una vivienda con condiciones adecuadas de ventilación y aislación térmica. Esto se ratifica considerando que hoy en la actualidad hay más de 4 millones de chilenos que viven en casas que fueron construidas entre 1990 y 1999 y que no cuentan con una aislación térmica adecuada. (*Chamorro C, 2013*).

Debido a esto el Gobierno de Chile ha decidido poner exigencias mínimas de calidad en las viviendas. Esto se refleja con la incorporación de la Reglamentación Térmica en 1994, la cual se

plantea como objetivos principales mejorar la calidad de vida de la población a un costo mínimo, reducir el consumo de energía y la contaminación que ésta genera tanto en el interior como en el exterior de la vivienda, reducir el deterioro de los materiales, esto por la exposición a cambios bruscos de temperatura y humedades excesivas. (*Blender M, 2012*).

Esta Reglamentación se ha ido complementando en el tiempo, principalmente en tres etapas:

- En Marzo de 2000 entró en vigencia la primera etapa de la Reglamentación Térmica de Edificios en Chile. Esta iniciativa fue impulsada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. En esta etapa se establecen disposiciones para los complejos de techumbres y fija valores de pérdida de calor unitaria. (*Bustamante W et al, 2005*).

- En Enero de 2007 se hace vigente la segunda etapa de la Reglamentación Térmica, la cual regula las exigencias de aislación térmica de muros, ventanas y pisos habitacionales. (*Ortiz R, 2007*).

- La tercera etapa se lanzó en 2011 y contempla la clasificación térmica de las viviendas. Esta obligación determinó dividir el país en siete zonas térmicas. Así el lugar físico en donde se ubique la edificación, determinará la cantidad y espesor de material aislante a utilizar. (*Pavéz A, 2011*).

Chile es pionero en Latinoamérica en incorporar a su reglamentación de construcción exigencias de acondicionamiento para la totalidad de las viviendas. (*Rivera L, 2012*). Esto en el marco de una política de mejoramiento que va más allá de satisfacer estándares de confortabilidad y baja demanda de energía, ya que lo que se pretende es entregar una mejor y óptima calidad de vida.

Junto con implementar una Reglamentación Térmica, el Gobierno de Chile ha propuesto nuevas políticas habitacionales orientadas a tres tópicos fundamentales.

- Disminuir el déficit habitacional, focalizándose en los sectores más vulnerables.
- Garantizar la calidad de las viviendas, mejorando su estándar y los procesos de diseño y construcción.
- Promover la integración social, procurando soluciones habitacionales insertas en barrios y ciudades.

Dentro de estas políticas habitacionales destacan diversos subsidios, entre los que se pueden mencionar los de mejoramiento de la vivienda, el cual entrega desde 50 hasta 65 UF, éste según el sector/comuna en la que se encuentre la vivienda. También se encuentra el de la ampliación de la vivienda, orientado principalmente a familias vulnerables de sectores emergentes, este subsidio va desde las 90 hasta las 270 UF en casas, y de 90 a 350 UF en departamentos. (*MINVU, 2009*). También se destaca el subsidio a la vivienda usada, en el cual no solo se consideran casas y departamentos usados y/o habitados, sino también aquellos que no han sido habitados (estando ya construidos). Con este subsidio se tiene la opción de elegir una buena ubicación a la hora de adquirir una propiedad. “la ciudad va creciendo y los nuevos proyectos son cada vez mas periféricos. Este subsidio apunta a que las personas puedan optar a una mayor oferta, con una mejor conexión. (*Portal Inmobiliario, 2008*).

Gracias a estas mejoras impulsadas por el Gobierno se ha logrado establecer condiciones confortables, sean éstas: rangos de temperaturas, humedad relativa y renovación de aire. Permitiendo

de esta forma evitar la condensación, entre otros fenómenos, que pueden desequilibrar los factores antes mencionados. (*Urquieta W, 2004*)

Las patologías con origen en las humedades son uno de los problemas más frecuentes en las viviendas, tanto por lo que se refiere al diseño como a los materiales utilizados y a la ejecución de los elementos constructivos (*Cuervo y Ferreres, 2010*). En climas fríos y templados, durante los meses de invierno se presenta una diferencia importante entre la temperatura interior de la vivienda y la temperatura exterior. "A mayor temperatura, mayor es la porción de agua que puede contener el ambiente sin llegar a saturarse. Sin embargo, si la temperatura baja, o la presión de vapor de agua aumenta, la humedad ambiental condensará, pasando de un estado gaseoso, a un estado líquido. (*Caro C, 2010*). Este fenómeno se produce debido a que la humedad que se encuentra en el aire condensa en las paredes frías del elemento. Esta condición aumenta considerablemente en la época de invierno debido a que la aislación térmica no es la adecuada, y asimismo la ventilación del aire es deficiente (*Aguirre F, 2009*). Así también aportan a la aparición de humedad en el interior de la vivienda los malos hábitos de las personas (*Martinez et al, 2005*). Dentro de estos malos hábitos se encuentran el lavado y secado de ropa al interior de las viviendas, uso de calefacción de combustión abierta sin evacuación exterior, entre otros. (*EMB, Dic 2008*). Este fenómeno deteriora la calidad de vida de las personas, además de producir a la vez un uso deficiente de la energía (*C.D.T, 2012*).

Estas manifestaciones originan problemas de salud o incomodidad en las personas, daños y lesiones en las viviendas, favorecen el desarrollo de procesos patológicos tales como las eflorescencias en muros y pisos, generan la aparición de gérmenes que contaminan el ambiente, corrosión y pudrición de elementos metálicos y de madera, respectivamente, y la disminución del aislamiento térmico de la envolvente. (*Lotersztain, 1970*).

De las diferentes formas de aparición de humedad, el fenómeno de la condensación es un problema recurrente en viviendas sociales. Este fenómeno se manifiesta a su vez de dos formas; si se produce en las superficies interiores de los muros se denomina condensación superficial (*INN, 1997*), y si ocurre dentro del mismo, se denomina condensación intersticial (*INN, 1988*).

La solución a implementar se estudia solo en los muros de la envolvente, dado que las techumbres presentan niveles de aislación térmica perfectibles de mejorar con una mayor facilidad, así también las ventanas, las cuales pueden variar en espesor, geometría, etc. En cambio en los muros se necesita una mayor y mejor aislación térmica, esto dado por la presencia de condensación, lo que se acentúa aún más cuando se está en contacto directo con la envolvente de albañilería, debido a que su característica aislante baja notoriamente en presencia de humedad. (*Bustamante, 1998*).

El entendimiento y comprensión de los conceptos mencionados anteriormente en este capítulo fue necesario para llegar a realizar la presente investigación. Donde solo se mencionan los conceptos básicos y fundamentales.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.

- Evaluar la influencia frente a la condensación superficial de la tabiquería interior de la envolvente perimetral de una vivienda social.

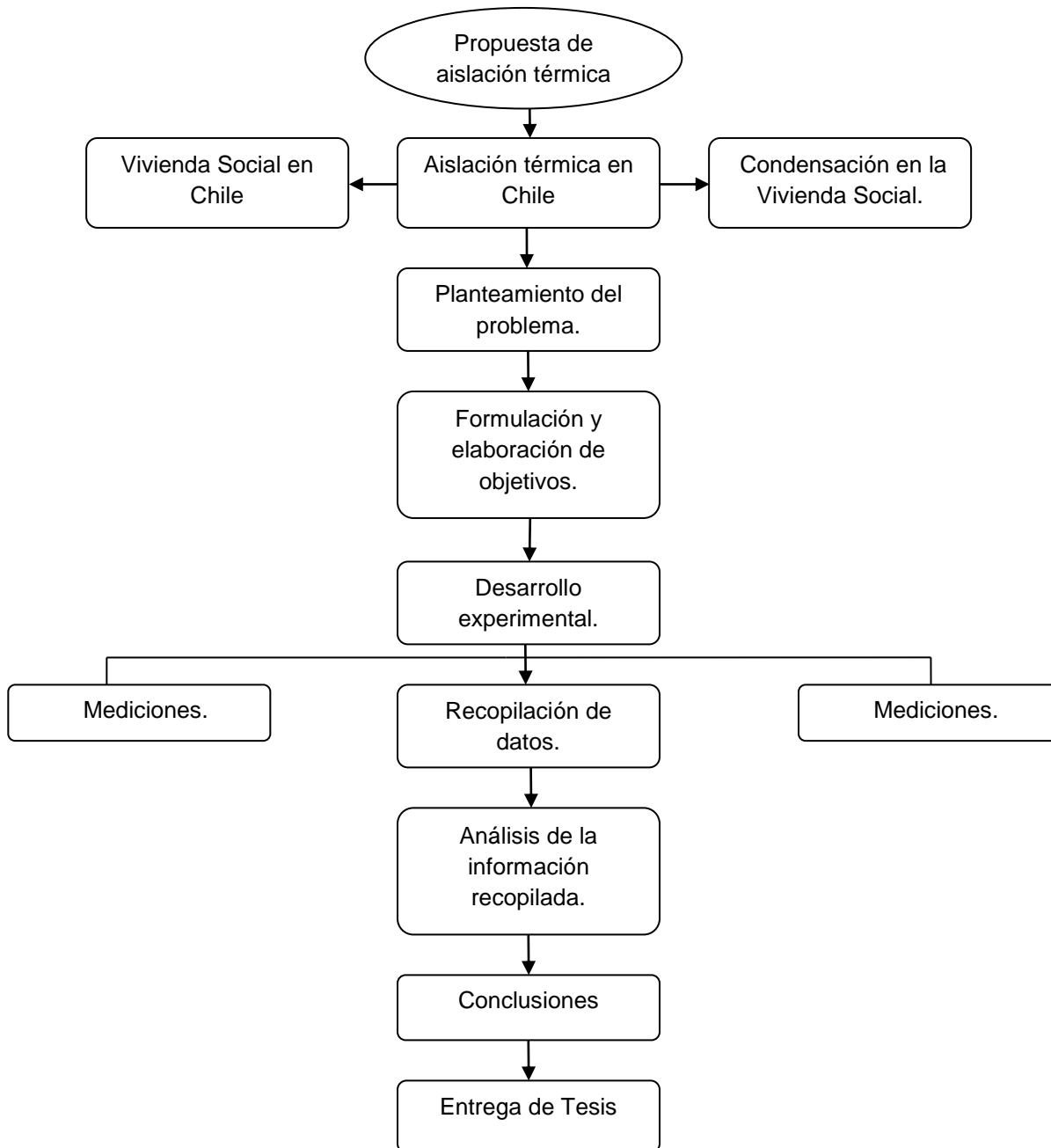
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN.

- Determinar las prestaciones térmicas de un panel de aislamiento térmica.
- Comparar experimentalmente el impacto de la aislamiento térmica en base a poliestireno expandido con cuerpo intermedio de bandejas de huevos, con las otras configuraciones empleadas.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.

- La investigación se llevó a cabo en la V Región De Valparaíso, en la comuna de Valparaíso, correspondiente a la Zona Térmica N° 2, datos entregados por los planos de zonificación térmica de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, 4.1.10.
- Los análisis de esta investigación se tomaron en la Vivienda Social construida en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso.
- El estudio se aplicó en una envolvente compuesta de albañilería de ladrillo, en donde se implementó para realizar el estudio.

1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.



CAPÍTULO II.

ANÁLISIS TEÓRICO DE LA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL EN VIVIENDAS SOCIALES.

2.1 GENERALIDADES.

La vivienda es un sistema dinámico, por lo que el análisis de su comportamiento térmico no se basa en evaluar solo propiedades térmicas de los materiales constituyentes, sino que a entender su funcionamiento como un sistema integral. (Hunn, 1996). El comportamiento térmico de la vivienda depende de diversos factores, los que interactúan a través del tiempo y gobiernan los mecanismos de transferencia de calor desde y hacia el interior de la vivienda, cuyo resultado es la temperatura del ambiente interior. En una vivienda se producen ganancias y pérdidas de calor con respecto a la temperatura de confort (20 a 25°C) (Vera y Ordenes, 2002). Si se quiere ejemplificar de una manera más gráfica se tiene la figura 2.1, la cual muestra los factores incidentes en el comportamiento térmico de una vivienda.

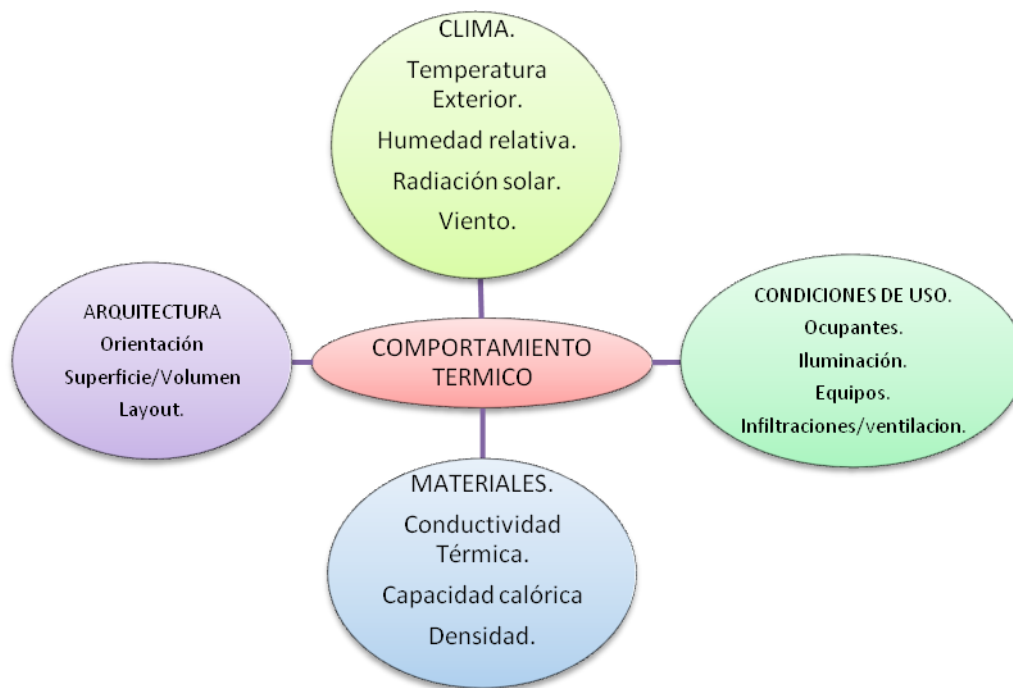


Fig. 2.1

Factores que influyen en el comportamiento térmico de las viviendas.

Fuente: "Evaluación del desempeño energí-termico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. (Vera y Ordenes, 2002).

Analizando la parte térmica, uno de los principales componentes de una vivienda es su envolvente. Se compone principalmente por las paredes, el suelo, el techo, las puertas y las ventanas, puede ser de diferentes tipos, sean estos de albañilería, madera, arcilla, etc. La envolvente de una vivienda pierde calor por transmisión cuando el ambiente exterior es más frío (invierno) y viceversa (condición de verano). El calor se puede transmitir de tres maneras diferentes:

- Por conducción.
- Por convección.
- Por radiación.

La energía calórica se transmite desde zonas de alta temperatura a las de más baja temperatura, hasta lograr el equilibrio térmico caracterizado por una distribución uniforme de temperaturas. Se supone una situación típica en periodos fríos del año, el ambiente interior se encuentra más caliente que el exterior. Lo anterior se traduce en la figura 2.2:

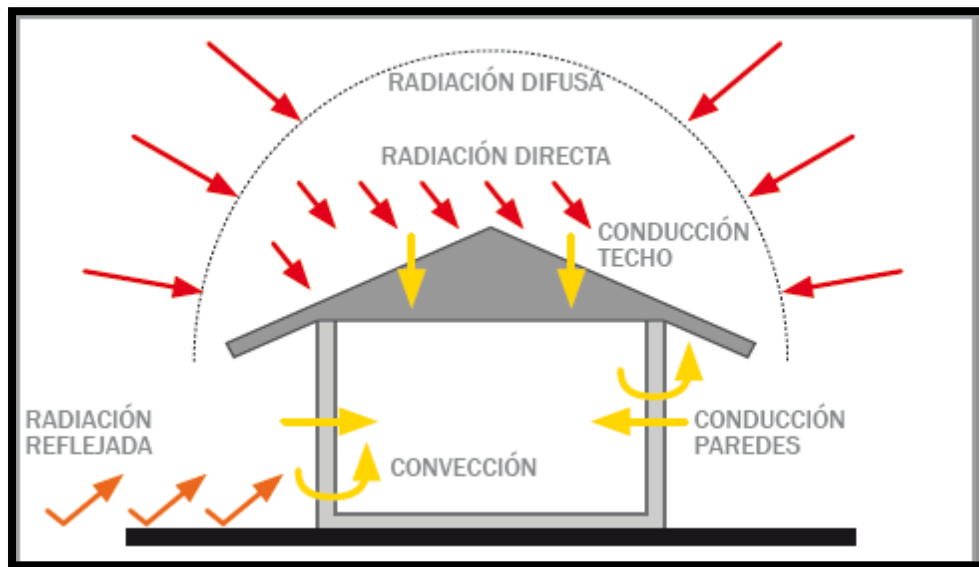


Fig. 2.2 tipos de transferencia de calor en una vivienda.

Fuente: "Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, (C,D,T,2010).

Al aislar una vivienda, lo que se planea es impedir que el calor se transmita por conducción desde el exterior al interior en verano y desde el interior al exterior en invierno, manteniendo así un ambiente confortable. Si no se logra lo anterior, se debe recurrir al uso de energía extra, es decir, uso de calefacción o refrigeración. Para lograrlo, se deben utilizar materiales aislantes en la envolvente, que son los que tienen una baja conductividad térmica y un espesor significativo.

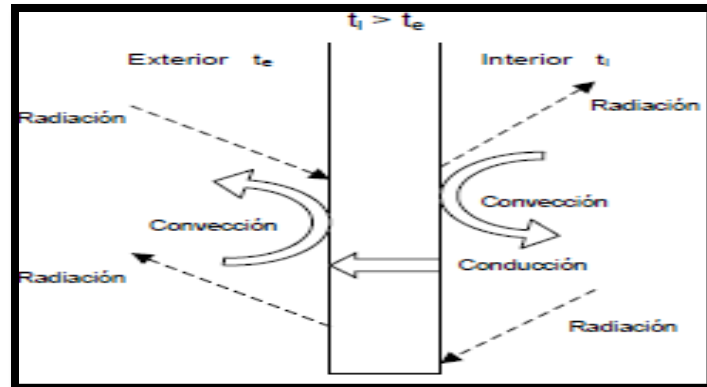


Fig. 2.3. Transmisión de calor en un muro.

Fuente: "Influencia de la aislación térmica aplicada por el exterior en muros de albañilería". (Encina E, 2009).

La conductividad térmica de un material es la característica de éste al transmitir calor desde el lado de mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Se define como la cantidad de calor que un material transmite en condiciones unitarias de espesor, superficie, tiempo y diferencia de temperatura entre las caras que intercambian calor. (Rodríguez et al, 2008). La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto. Se visualiza esta condición en la figura 2.4.

En los materiales de construcción es casi imposible encontrar un material que sea completamente homogéneo, entonces los intercambios de calor se producen también en forma de radiación y convección. Es decir, como todos los materiales de construcción presentan grados de porosidad, los que a su vez se encuentran llenos de aire, ocurre transferencia de calor por radiación y también por convección. (Erazo R, 2007).

La resistencia térmica se define como la propiedad de un elemento material de oponerse al paso del calor, vale decir, representa su "poder aislante".

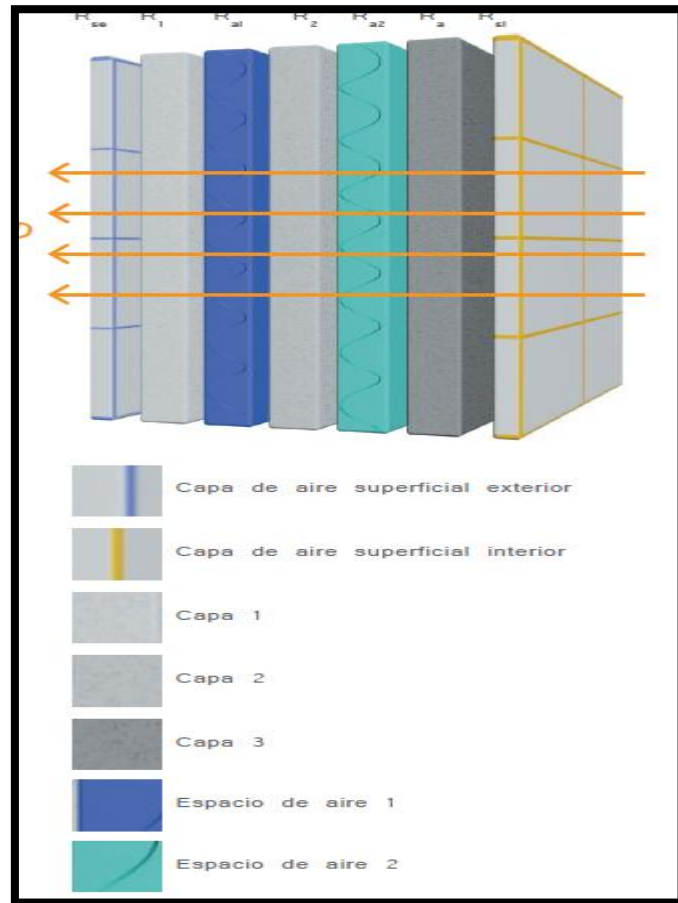


Fig. 2.4 Flujo de calor en un elemento compuesto por capas.

Fuente: "Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, (CDT, 2010).

El aire en reposo o quieto, a 0°C , presenta una conductividad térmica de $0,024 \text{ (W/(m}\cdot\text{K))}$, siendo el material más aislante que se puede considerar. (Nch 853 of 2007).

De acuerdo a lo señalado anteriormente se ejemplifica la tabla 2.1, la cual expresa la conductividad térmica de algunos materiales.

Tabla 2.1. Conductividad térmica de algunos materiales.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA((W/m*K))
AIRE	0,024
ALUMINIO	210
PVC	0,17
MADERAS	0,09-0,16
HORMIGÓN	1,63
LADRILLO	0,8
POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,043
VIDRIO	1,2
COBRE	380

Fuente: "Acondicionamiento Térmico. Envoltura Térmica de edificios. Cálculo de transmitancias y resistencias Térmicas" Nch 853 of 2007.

La Nch 853 Of 2007 entrega valores de conductividad térmica para materiales en estado seco y a una temperatura de 20° C, estos valores son tomados experimentalmente mediante el "Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda". La unidad empleada son los (W/m*K). La conductividad térmica de un material depende directamente de su espesor.

Otro sistema de transmisión del calor es la Convección. En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas.

La transmisión de calor por convección puede ser:

- Forzada: A través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría.
- Natural: El propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

Un ejemplo de este método de transmisión de calor es un radiador. Cuando este alcanza una temperatura considerable, si se coloca una mano encima (a una distancia prudente) se puede constatar que existe un flujo de aire por convección natural. El aire alrededor del radiador se calienta disminuyendo su densidad, por lo tanto, al pesar menos que el aire ambiente, fluye hacia arriba dando paso a un nuevo flujo de aire, reiniciando el proceso de forma cíclica.

Se aprecia este método de manera ilustrativa en la figura 2.5

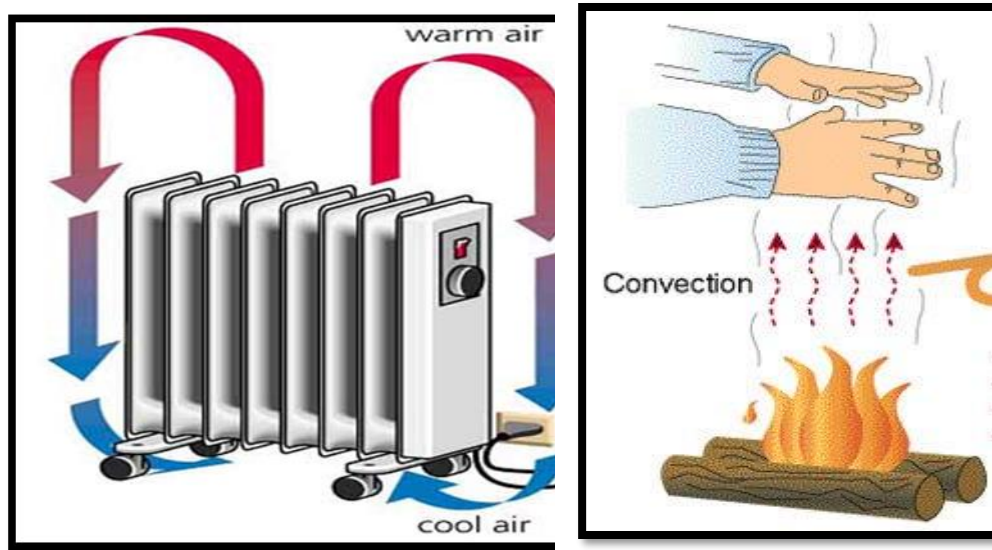


Fig. 2.5 Transmisión de calor por convección.

Fuente: "Energiza, la energía del día a día", publicación del 23-06-2013.

Un tercer método de transferencia de calor es mediante la Radiación. En este proceso la energía es transportada por corrientes electromagnéticas. A diferencia de los otros mecanismos, la radiación no requiere la intervención de ningún soporte material para propagar el calor. La radiación dentro de las viviendas se produce principalmente a través de puertas y ventanas de cristal, pero si las paredes no están bien aisladas, la radiación del exterior puede calentar el interior por conducción. (García et al, 2010). lo anterior se expresa en la figura 2.6

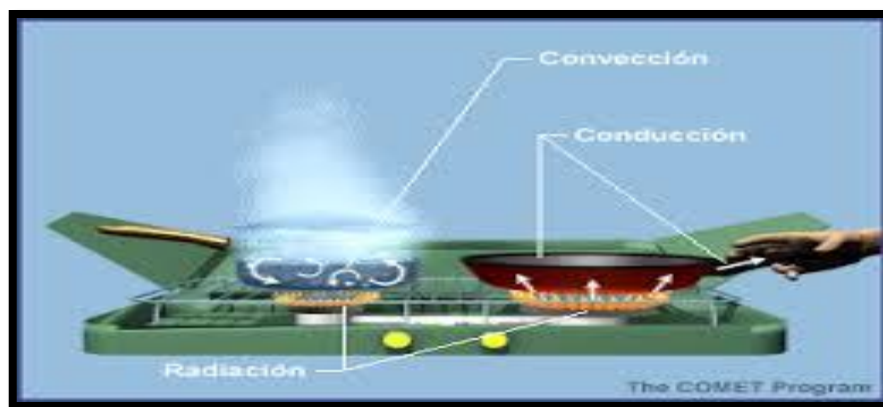


Fig. 2.6 Flujo de calor mediante la radiación.

Fuente: Análisis térmico y recomendaciones para el diseño de casa solares pasivas y la difusión de viviendas sustentables". Müller, E (2008).

Si bien es cierto, en el caso de la radiación no necesariamente se necesita un medio físico para poder propagar el calor, en la conducción el calor se transporta desde un extremo a otro, es acá donde adquiere importancia la densidad del material, y en donde ésta se asocia a la cantidad de

poros que puede tener un determinado elemento. El aire es uno de los elementos de más baja conductividad, por lo tanto, cuando se disminuye su densidad se aumenta la cantidad de poros disminuyendo por ende su capacidad de conducción de energía calórica.

Al tomar contacto con partículas de agua, el material aumenta considerablemente su conductividad térmica, esto es por el elevado calor específico y alta conductividad térmica del agua, siendo este elemento 20 veces más conductor térmico que el aire, con lo cual si los materiales absorben agua empeoran su capacidad de aislación producto de la humedad producida. (Erazo R, 2007).

2.2 LA HUMEDAD RELATIVA Y TIPOS DE HUEMDADES.

La humedad relativa del aire se define como la medida del contenido de agua que hay en la atmósfera. La atmósfera contiene siempre agua en forma de vapor, y dicha cantidad dependerá de la temperatura; esto quiere decir que si ésta aumenta la humedad también. Un ejemplo es que a 4,4°C, 1000 Kg de aire húmedo contienen 5 Kg de vapor como máximo, en cambio en 37,8° C, 1000 Kg de aire húmedo contienen 18 Kg de vapor. (Jiménez L, 2005). La presencia de ésta en las viviendas provoca diversas patologías y también afecta la salud de las personas. Existen cinco tipos de humedades presentes en las viviendas:

- **Humedad de lluvia:** También conocida como humedad por infiltración, se relaciona directamente como su nombre lo indica, con las lluvias. Cuando el agua penetra por los muros exteriores y techumbres, todo esto favorecido por el viento, la humedad atraviesa por los intersticios de los materiales generando así patologías como mohos, eflorescencias, hongos, etc. (C.D.T, 2012).

Como medidas de prevención se deben tomar las siguientes consideraciones:

1. No utilizar revestimientos rugosos.
2. Diseñar pendientes de cubiertas adecuadas a la lluvia de la zona.
3. Consideraciones en el diseño y orientación de puertas y ventanas, tomado en cuenta los vientos predominantes en la zona en la cual se ejecutará el proyecto.

- **Humedad por Capilaridad:** Se produce cuando el agua proveniente del suelo asciende por los intersticios, debido a la fuerza interna de la tensión superficial. Esta humedad se acrecienta cuando el material en contacto con el agua es de características rugosas. Este tipo de humedad al ascender por la estructura porosa de los elementos verticales se eleva hasta alturas, a veces insospechadas, también se puede producir desde una plataforma horizontal cualquiera. (Ordaz M, 2004).

- **Humedad de Obra:** Es la generada durante el proceso constructivo, dado que casi la totalidad de las soluciones constructivas consideran el agua como uno de los elementos participantes en su composición. Al no dar un tiempo de secado razonable a los elementos construidos, estos retienen el agua, lo que trae consigo la posterior aparición de manchas en los muros, desprendimiento de pintura o papel mural, mohos, eflorescencias, etc. Un elemento puede considerarse seco cuando no se producen intercambios de humedad considerables entre él y el medio ambiente. En estos intercambios intervienen factores de humedad relativa del aire, velocidad del viento y otros como la porosidad del material, ancho, etc. (Fernández J, 2008).

- **Humedad Accidental:** Como su nombre lo indica, se origina cuando algún ducto o tubería conductora de agua se rompe, produciendo fugas y la posterior filtración de agua. Se recomienda una

adecuada instalación y mantenimiento de las redes de agua potable u otra red que transporte agua en el recinto.

Actualmente en la mayoría de las empresas constructoras se está dejando el tema de las instalaciones en manos de subcontratistas, debido a esto, y a factores de cumplir el tiempo de ejecución en obra, es que se dejan los trabajos con falencias que muchas veces ponen a la vivienda o edificación en un escenario de deterioro permanente y continuo.

• **Humedad por Condensación:** Producida cuando la temperatura de algún elemento (pared, ventana, etc.) es inferior al “punto de rocío” del ambiente. El aire cargado de vapor entra en contacto con las paredes o cielos fríos, precipitándose en estado líquido. (Saavedra A, 2012).



Fig. 2.7 Humedad por condensación en pared de un baño.

Fuente: “Humedades en la Construcción”. Jiménez L, (2005).

La condensación es un proceso físico que comprende el paso de una sustancia en forma gaseosa a líquida, esto depende de factores como la temperatura y la presión atmosférica del lugar. Este proceso suele presentarse cuando una molécula de agua es enfriada por debajo de su punto de rocío. En las viviendas se produce condensación cuando el aire húmedo entra en contacto con una superficie que tiene una temperatura inferior, así el aire es incapaz de mantener su humedad, condensando en el aire o la superficie. Ocurre principalmente en invierno, debido a que en el interior de los recintos se genera aire húmedo caliente, el que se expande hacia sectores más fríos de éste, generando así el fenómeno de la condensación. (Cronembold S, 2009).

La humedad en el aire proviene de diversas fuentes dentro de la vivienda. El vapor de agua se produce en acciones como:

- Baño y aseo personal: Principalmente la acción de ducharse, genera una gran cantidad de vapor de agua.
- La cocina: en las horas en que se prepara almuerzo, cena u otra comida.

- El secado y lavado de ropa: ocurre en invierno, cuando se tiende la ropa en el interior de las viviendas.

- La propia respiración de los integrantes del hogar: Las personas en reposo generan alrededor de 50 grs/hr de vapor, en actividad física alrededor de 100 gr/hr. (Bravo L, 1997).

- La calefacción (gas y parafina): En los artefactos con cámara de combustión abierta, definidos como aquellos que toman aire para el proceso de combustión del mismo ambiente en que están instalados, se genera una gran cantidad de vapor de agua, aproximadamente se producen 2,25 litros de agua al quemar 1 kilo de gas natural, al quemar 1 kilo de parafina se producen 1,25 litros de agua. En este aspecto se recomienda la calefacción de tipo tiro balanceado, en donde éstos al contrario de los artefactos de combustión abierta toman aire para el proceso de combustión del exterior y expelen al exterior mismo los productos generados en la combustión. (Arauco, 2011).

2.3 CONDENSACIÓN SUPERFICIAL.

Se produce cuando la temperatura superficial de un cerramiento es inferior o igual a la temperatura de punto de rocío del aire que está en contacto con dicha superficie. Favorecen este fenómeno los llamados puentes térmicos, que se pueden definir como cualquier zona de la envolvente en donde se produce una discontinuidad de la materialidad, esto puede ser un cambio de espesor, una diferencia entre áreas internas o externas, tales como juntas y techos. (Moreno J, 2011).

Los puentes térmicos afectan a la habitabilidad de los locales en donde se encuentran de diferentes maneras, por un lado afectan al consumo energético de la vivienda, ya que son puntos térmicamente débiles por los que se pierde el calor en mayor cantidad. Por otro lado afectan al bienestar de las personas, ya que en las zonas en donde se encuentran, al alcanzarse temperaturas superficiales más bajas que en las zonas normalmente aisladas, se incrementan las pérdidas del cuerpo por radiación y se reduce la temperatura media radiante del local, lo que se denomina o se conoce como “pared fría”. Por último afectan a la patología que se puede producir en los cerramientos, aumentando la posibilidad de que se produzca la condensación superficial en el recinto.

2.4 RIESGO DE CONDENSACION SUPERFICIAL.

Por lo general la condensación se produce en elementos que conforman la envolvente de la vivienda debido a que los ambientes que el cerramiento separa pueden presentar diferencias significativas de temperatura y humedad. En Santiago por ejemplo, la temperatura de invierno en los meses de Julio y Agosto es cercana a 0°C, por lo tanto si se considera una temperatura interior de confort de 20°C, existe un gradiente de temperatura importante entre la cara interior y la exterior de un muro de la envolvente por ejemplo y también una diferencia de presión de vapor de agua significativa.

2.5 MODELOS DE CÁLCULO DEL FENOMENO DE CONDENSACIÓN SEGÚN NCH 1973.

Dado que la causa principal del fenómeno de la condensación superficial es la baja temperatura de las superficies de los elementos respecto a la temperatura del aire ambiente, se ha optado por prescribir un método de cálculo que tienda a eliminar el riesgo de condensación, aumentando la resistencia térmica de los elementos.

De acuerdo a lo enunciado por la Norma Chilena 1973 of 1987, se determinan las siguientes directrices a considerar para el cálculo de eventual riesgo de condensación superficial. Se enuncia lo siguiente:

La resistencia térmica mínima requerida para que no se produzca condensación en un elemento perimetral determinado, se obtiene mediante la relación siguiente expresada en la ecuación (1).

$$Rt = \frac{(Tl-Te)*Rsi}{Ti-Tr} \quad (1)$$

En que:

Rt = Resistencia térmica total mínima requerida para que no se produzca condensación superficial en el elemento.

Tl = Temperatura de cálculo para el aire del local.

Te = Temperatura de cálculo para el aire exterior.

Tr = Temperatura de punto de rocío.

Rsi = Resistencia al paso del calor entre la superficie interior del elemento y el aire del local.

Para la situación de pérdidas térmicas desde el local hacia el exterior bajo la cual se analizan los problemas de condensación Rsi vale:

- 0,12 m²*°C/W para elementos verticales o con pendiente sobre la horizontal mayor que 60°.
- 0,09 m²*°C/W para elementos de techo con encieladuras horizontales con pendiente menor o igual que 60°.
- 0,17 m²*°C/W para pisos.

La eliminación del riesgo de condensación se consigue considerando las condiciones más desfavorables. Para el cálculo de la resistencia térmica, en la ecuación 1, se debe considerar entonces que:

Ti = Corresponde a la temperatura máxima de uso de local.

Te = Corresponde a la temperatura mínima registrada en el mes más frío del año en la localidad del edificio en cuestión.

Para efectos de cálculo de riesgo inminente de condensación superficial según la Nch 1973 of 1987, en la investigación realizada se extrae la información del Servicio Meteorológico de la Armada de Chile, el cual presenta las temperaturas registradas el año 2014.

Se expone la siguiente figura 2.8 la cual representa las temperaturas registradas en el año 2014, específicamente en Julio, en donde se registró la temperatura más baja del año, la cual llegó a los 3,2°C el día 25 de Julio de 2014.

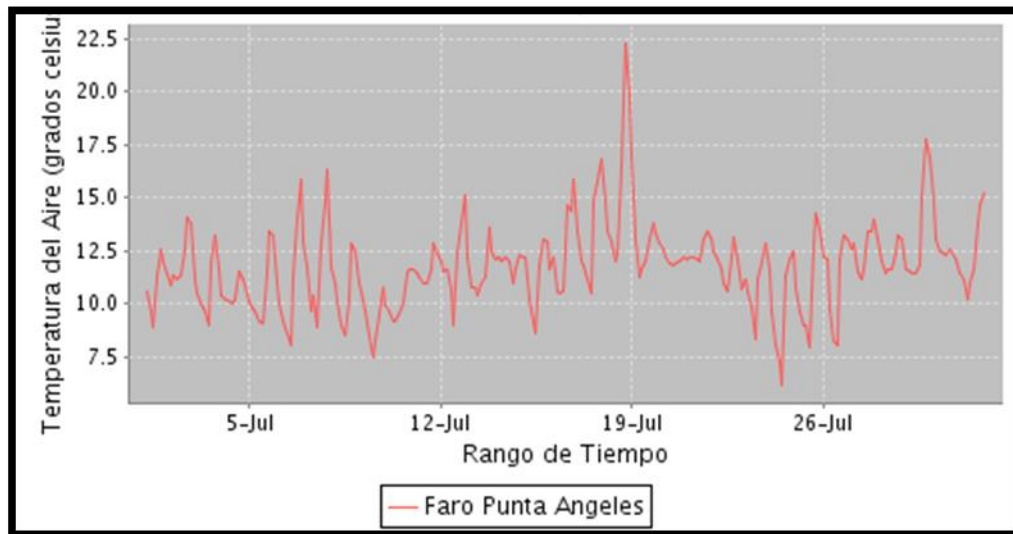


Fig. 2.8 Temperaturas registradas en Julio de 2014, faro Punta Ángeles, Valparaíso.

Fuente: Servicio Meteorológico de la Armada.

T_r = Corresponde a la temperatura del punto de rocío para el aire del local, al cual se le asigna la máxima humedad relativa esperada y una temperatura seca igual a la temperatura máxima de uso del local.

Se define la temperatura de rocío como aquella temperatura inferior a la temperatura ambiental, para la cual la cantidad de vapor de agua contenida en el ambiente representaría el 100%. Para efectos del cálculo según lo dispone la Nch se utiliza el ábaco Psicométrico, el cual ingresando con la temperatura máxima registrada y la humedad relativa se obtiene la temperatura de punto de rocío prolongando la recta hacia la curva en donde la humedad relativa es del orden del 100%.

Por ejemplo, a 20°C y a una humedad relativa del 70% se tendrá una cantidad de humedad absoluta en el ambiente de 12 g/m³ de aire. Si la temperatura baja, la humedad relativa aumenta, pero solo puede hacerlo hasta el 100% (curva de saturación), en cuyo punto el aire no admite más vapor, si la temperatura sigue bajando, el exceso de vapor tiene que forzosamente condensar en agua líquida. A la temperatura en que se produce la condensación es la temperatura de rocío, en la figura 2.9 se puede apreciar que la temperatura de punto de rocío es de aproximadamente 14°C.

lo anterior planteado se ejemplifica en la siguiente figura 2.9.

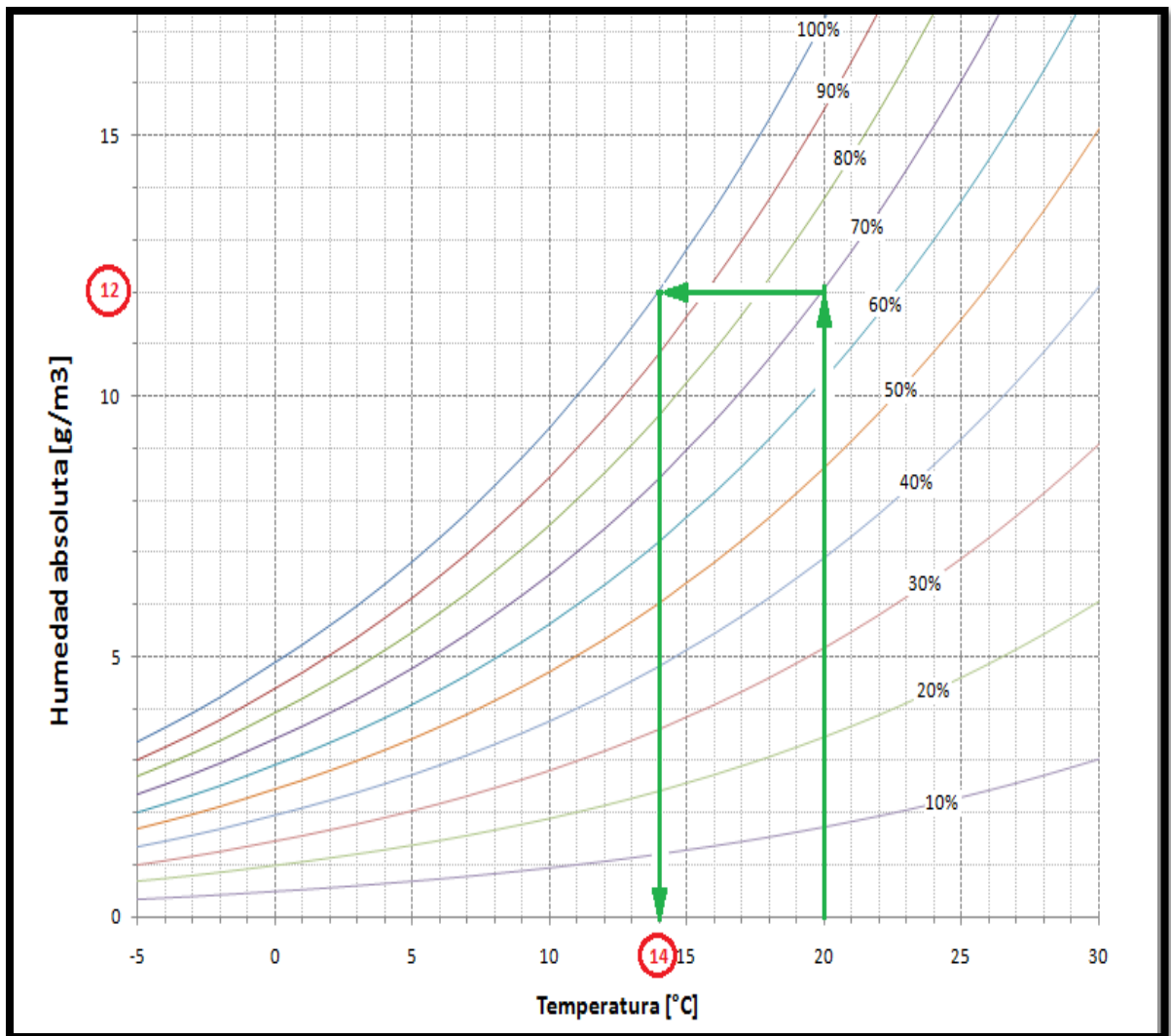


Fig. 2.9 Ejemplo de uso de Diagrama de Psicométrico.

Fuente: Manual de la humedad.

2.6 EFECTOS DE LA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL.

Las condiciones en que se encuentra la vivienda se relaciona directamente con la salud de sus integrantes. Si a esto se le añade una mala higiene, un diseño precario e inadecuado de la vivienda, humedad, el hacinamiento y una mala ventilación, el escenario se toma perjudicial para la salud de las personas que conforman el grupo familiar. (Massa M, 2006). En cuanto a los efectos nocivos en la materialidad de la vivienda; es la envolvente la que en su estructura componente sufre directamente la acción de la condensación, la cual se manifiesta y/o evidencia con eflorescencias, pérdida de la resistencia térmica y por ultimo un debilitamiento en su capacidad portante, para lo cual esta estructura fue diseñada. (Lotersztain I, 1970).

Todos los elementos constructivos ofrecen una resistencia al paso del vapor de agua, por lo que la cantidad de vapor que pasa a través de cada uno de ellos en el cerramiento es menor que la incidente. La característica que mide la resistencia al paso del vapor de agua es la "resistividad al vapor". Muchos materiales de obra son porosos y su resistividad es baja mientras que los materiales impermeabilizantes tienen una resistividad elevada, y constituyen las llamadas "barreras de vapor". (Burgos D, 2008).

La solución general más eficiente es recurrir a las barreras de vapor ya que, situadas en la cara más caliente de la envolvente, reducen notablemente el contenido de vapor que pasa a través de ella, evitando condensaciones. Se debe considerar continua, es decir, de existir traslapos, estos deben ser sellados y se debe cerciorar que la permeabilidad al vapor de agua de la barrera esté comprendida entre 10 y 230 (MN*s/g), según Nch 852.

Algunas barreras de vapor más utilizadas son:

- Fieltrros asfálticos.
- Membranas de fibras de polietileno.
- Papel impregnado.
- Papel metalizado.
- Pinturas esmalte.



Fig. 2.10. Barrera de Vapor de tipo papel metalizado.

Fuente: Revista BIT, N° 85 de Julio de 2012.

2.7 RECOMENDACIONES GENERALES PARA EVITAR LA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL.

Es necesario que la envolvente de una vivienda no presente condensación superficial. Como recomendaciones generales para evitar estos fenómenos se aconseja:

Controlar la humedad relativa del ambiente interior.

- Tanto la cocina como el baño deben tener ventilación directa al exterior o contar con sistemas de extracción mecánicos que permitan el control y eliminación de vapor que se produce en ellos.
- Sacar de la vivienda todas las actividades que produzcan humedad, por ejemplo el lavado, secado de ropa, planchado, entre otros.
- Si una habitación es ventilada desde otro recinto, el diseñador debe considerar la opción de que el ocupante deje sin ventilación a aquella habitación dependiente.
- Controlar la temperatura de la envolvente, tanto superficial como al interior del elemento.
- Controlar la transmitancia térmica de la vivienda, teniendo en cuenta las características térmicas de los materiales aislantes dependiendo del lugar donde se encuentren. Por ejemplo en puentes térmicos se debe tener especial cuidado con la aislación.
- Diseñar ventanas y puertas con el mejor ajuste posible para evitar pérdidas.
- Evitar puentes térmicos, ya que en aquellos materiales que presenten una menor resistencia térmica, se producirán las condensaciones.
- Controlar la condensación en cañerías o ductos que transporten agua fría.
- Colocar barrera de vapor inmediatamente después del revestimiento interior y barrera de humedad después del revestimiento exterior.
- Evitar el aumento de humedad relativa interior producto de calefacciones de aparatos de llama abierta.
- En lo posible considerar el espacio para la instalación de al menos un ducto de evacuación de gases de combustión al exterior o una salida de aire, ya que cualquier fuente de calefacción móvil de llama abierta producirá aumentos no controlados de humedad porque la construcción no contará con las ventilaciones correctamente dimensionadas para estas fuentes.
- Diseñar ventilaciones cruzadas o convectivas por medio de la correcta ubicación de ventanas, que no afecten el confort térmico interior y garanticen renovación de aire de forma continua. (C.D.T, 2010).

2.8 CONDENSACIÓN INTERSTICIAL.

Sucede cuando las diferencias de temperatura que encuentra el vapor de agua al penetrar por los intersticios de los elementos constructivos, está por debajo de la temperatura de rocío. (Jauregui E, 2009). La temperatura de punto de rocío se define básicamente como aquella temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire. Este vapor de agua al tomar contacto con superficies frías se empieza irremediablemente a condensar. Cuando estas superficies frías se encuentran en capas intermedias de los paramentos se intensifica este fenómeno. Las humedades producidas en estas capas intermedias son difíciles de detectar, por lo que afecta la calidad de los materiales, aumenta su conductividad, perdiendo así su eficiencia en el aislamiento térmico.

Como recomendación se sugiere que el aislamiento sea por la cara exterior del muro, pero esto conlleva un mayor costo económico, en comparación con un aislamiento interior, incorporando en ella una barrera de vapor (Caro C, 2010).

La RT (OGUC Artículo 4.1.10) solo menciona que cuando el muro incorpore materiales aislantes, la solución de muros deberá considerar barreras de vapor y/o humedad, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada. (Bustamante et al, 2009).

Los efectos generados a raíz de la condensación intersticial no solo alcanza la calidad estructural de la edificación debido a la degradación de los materiales que conforman el cerramiento sino que también su calidad térmica, ya que la condensación de vapor de agua en los materiales aislantes implica una baja o bien la pérdida de sus propiedades de aislación, aumentando su conductividad.

Una de las formas de prevenir la aparición de condensación intersticial es teniendo una aislación térmica por el exterior. En la figura 2.11 a la izquierda se aprecia un muro en el que no existe riesgo de condensación intersticial y a la derecha del mismo muro, pero con riesgo de condensación intersticial. Esto debido a que la presión de vapor del elemento, supera la presión de vapor de saturación, lo que a su vez produce que la masa de vapor contenida en el intersticio del elemento precipite en forma líquida, apareciendo consigo señales visibles de humedad por condensación intersticial.

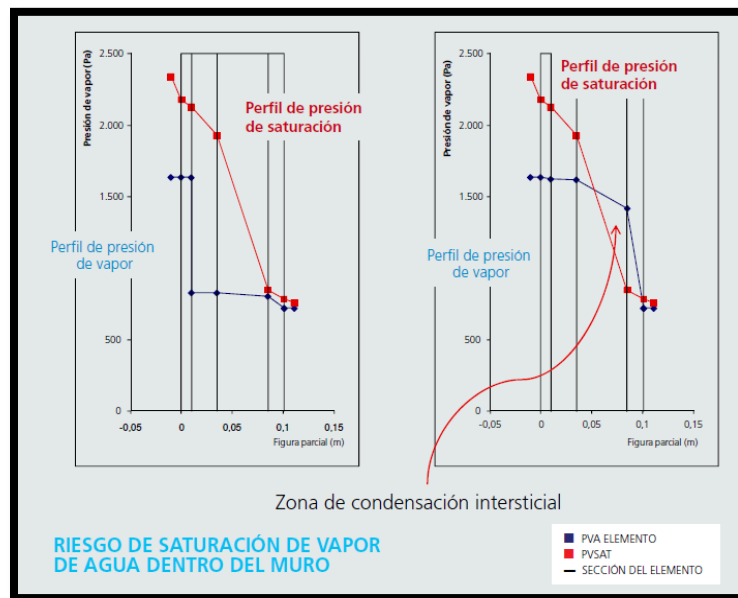


Fig. 2.11. Esquema de zona de saturación y riesgo de condensación intersticial.

Fuente: Revista BIT.

2.9 EFECTOS DE LA HUMEDAD DE CONDENSACIÓN SOBRE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

La humedad por condensación puede atacar de diferentes formas a los materiales que se utilizan en la construcción, ya que está presente en aquellos que forman parte de la estructura resistente, tales como hormigón, ladrillos y madera, o en materiales de terminación tales como yeso, pinturas, papeles, revestimientos, estucos, entre otros.

Como daños se pueden mencionar las eflorescencias, crecimiento de mohos y hongos, pudrición e hinchamiento en el caso de maderas, oxidación y corrosión en el caso de metales, y otros. (C.D.T), 2012.

2.9.1 EFLORESCENCIAS:

Se generan cuando los materiales contienen sales solubles en su interior o cuando pueden absorber agua con sales disueltas. Al aflorar la humedad a la superficie, esta arrastra la solución de sales a la superficie del elemento, debido a que el agua comienza a evaporarse aumenta la concentración de sales hasta llegar a la cristalización, es ahí donde se producen manchas blanquecinas sobre la superficie de los muros formándose cristalizaciones algodonosas de lento crecimiento.



Fig. 2.12 eflorescencia en muros interiores de una vivienda.

Fuente: "Humedad proveniente del suelo en edificaciones" Hernández J (2008).

2.9.2 APARICIÓN DE HONGOS Y MOHOS:

La llamada pudrición húmeda (generada por hongos y mohos), afecta de manera brutal la estructura y en el transcurso de un periodo de tiempo determinado, pueden llevar a la estructura al colapso.

Además la humedad puede provocar desprendimientos y grietas, ambos debido a que en presencia de agua se manifiestan algunos elementos infiltrados que posteriormente se dilatan.



Fig. 2.13 Aparición de hongos y mohos en una pared de una vivienda.

Fuente: "Humedad en viviendas, riesgo de condensación" Caro C, (2010).

2.7.3 DECOLORACIONES:

Se presentan en zonas o elementos constructivos defectuosamente aislados, por ejemplo, cuando existe aislación térmica, pero ésta no es de manera uniforme, el fenómeno se genera incluso en ambientes secos y con temperaturas por encima del punto de rocío.



Fig. 2.14 paredes de un baño con decoloraciones y mohos.

Fuente: Manual de Humedad. C.D.T (2012).

2.9.4 AUMENTO DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:

La humedad provoca variados efectos en los materiales de construcción, tal como la disminución en la aislación térmica de materiales porosos. Ello se debe a que los poros presentes en el material están llenos de aire, con su respectiva conductividad térmica ($\lambda_{\text{aire quieto}}=0,026 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$), pero al humedecerse el material los poros se llenan de agua, cuya conductividad térmica es 22 veces mayor que la del aire ($\lambda_{\text{agua}}=0,58 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$). Por lo tanto el material se hace más conductor al calor, produciéndose así pérdidas o ganancias de calor indeseables. La Nch853, en su anexo A, presenta un listado de conductividades térmicas, haciendo hincapié en que estas conductividades están en testeadas en estado seco y a una temperatura de 20°C.

Los materiales aislantes se ven significativamente alteradas sus propiedades térmicas al estar en contacto la humedad, la presencia de ésta depende de la capacidad de absorción del aislante y de la cantidad que condense o se evapore.

Los aislantes térmicos tienen por finalidad no dejar pasar el calor, sin embargo la implicancia que la humedad puede llegar a tener en estos materiales es significativa, por ejemplo el poliuretano aumenta al doble su conductividad térmica cuando la humedad está en torno al 10% de su volumen y algo similar ocurre con los otros materiales en presencia de humedad.

El siguiente gráfico muestra la variación de la conductividad térmica de una espuma rígida de Poliestireno expandido, y del poliuretano, del cual se hace referencia en el párrafo anterior.

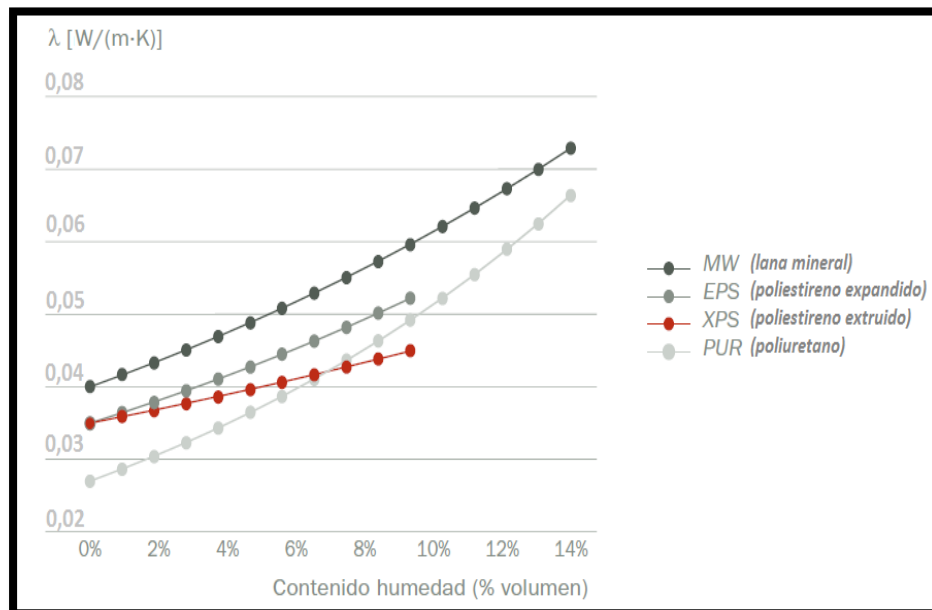


Fig. 2.15 Variación de la conductividad térmica de materiales aislantes en función de la humedad.

Fuente: "Recomendaciones para la prevención y solución de la humedad por condensación en viviendas". Rivera L (2012).

Hemos visto que las consecuencias provocadas por la humedad en las edificaciones es un factor importante, teniendo además que tomar en cuenta la incidencia de ésta en la aislación térmica

es significativa y afecta el comportamiento de un sistema diseñado para otorgar condiciones adecuadas de habitabilidad.

Relacionada directamente con la aparición de la humedad, al verse afectado el material en su capacidad aislante y por ende aumentando su capacidad de transmitir calor, se está en un escenario de posible presencia de condensación, y es en ese momento en donde mediante la utilización de un material compuesto y cuya funcionalidad es la de revestir la tabiquería y aislarla térmicamente se busca disminuir este fenómeno y establecer el comportamiento de la vivienda frente a condiciones eventuales de aparición de condensación producto del excesivo aumento de la temperatura superficial interior.

En el siguiente capítulo se profundiza en el desarrollo experimental de la experiencia, y la metodología empleada al realizar la toma de datos.

CAPÍTULO III.

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1 GENERALIDADES.

El caso de estudio presenta a la humedad como un agente implicado directamente con el mal funcionamiento del aislamiento térmico de las viviendas. En las viviendas de carácter social esta aislación que presentan es casi nula o de pésima calidad, considerando que el gran porcentaje de estas viviendas están construidas con estándares anteriores a la implementación de la Reglamentación Térmica. Es por este motivo que se han realizado diversas investigaciones para comprobar de manera fehaciente la mala calidad de la aislación térmica de las viviendas sociales en este aspecto. Al implementar tres diferentes configuraciones de aislamiento térmico en un módulo de prueba representativo de una vivienda social, para dilucidar el escenario en el cual se encuentra la problemática en la actualidad y así obtener resultados y conclusiones.

La metodología de toma de datos se realizó in situ, durante un período de aproximadamente cinco semanas en los meses de Septiembre y Octubre, en las cuales se tomaron registros de las variables consideradas en el estudio con un equipo facilitado por el departamento de investigación de la Universidad de Valparaíso.

Para determinar un patrón de comportamiento de la temperatura exterior, se tomó como referencia la temperatura exterior entregada por la página web de la Armada de Chile: www.meteochile.cl, específicamente el faro de Punta Ángeles (Valparaíso), por ser la estación meteorológica más cercana.

3.2 DESCRIPCION DEL MÓDULO DE PRUEBA.

El módulo de prueba se encuentra ubicada en la Quinta Región de Valparaíso, en la ciudad de Valparaíso, localidad de Playa Ancha, en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso. La superficie del módulo de prueba es de aproximadamente 8,3 metros cuadrados. En la siguiente gráfica se presenta la disposición en planta de los sensores y la fuente emisora de vapor de agua (cocinilla a gas) en la vivienda.

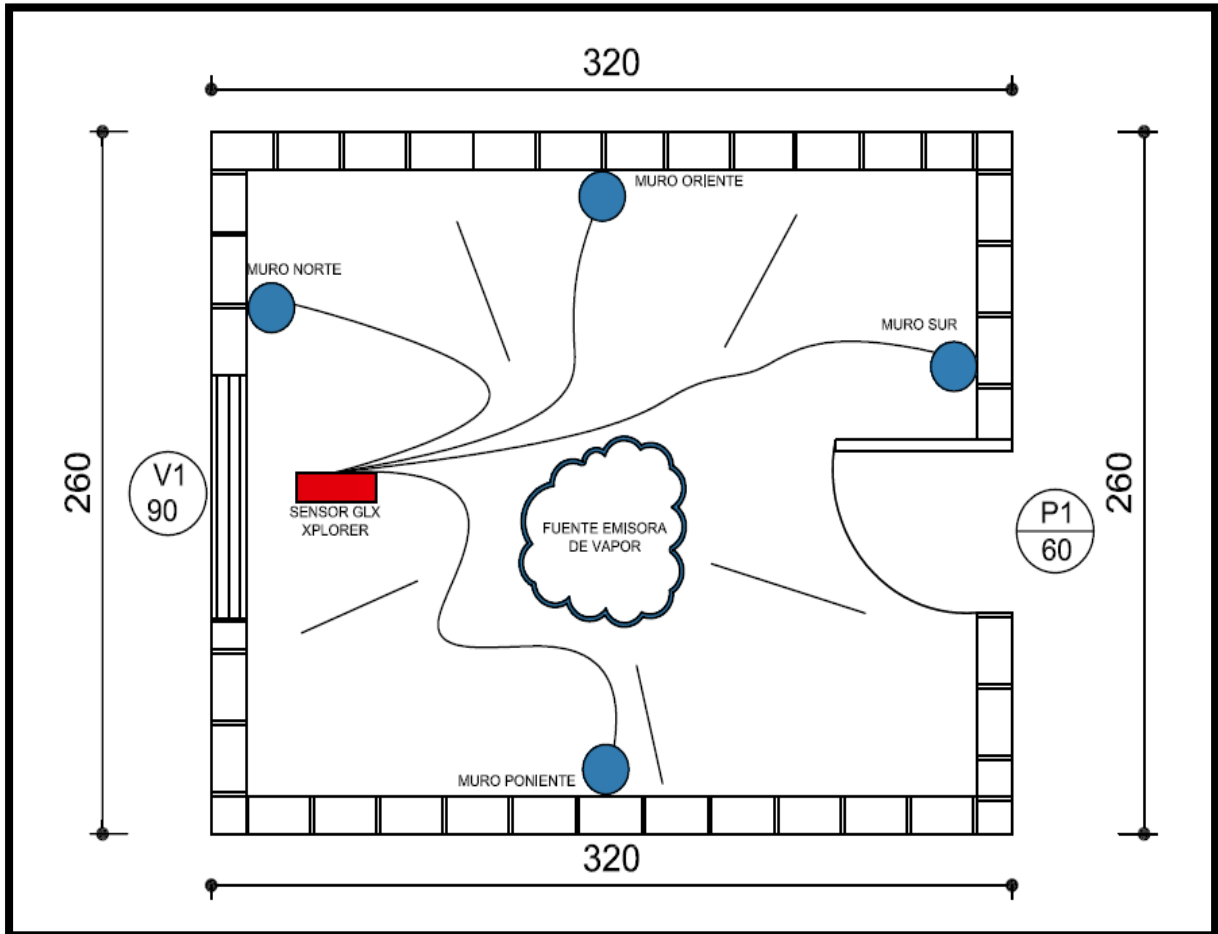


Fig. 3.1 Disposición en planta de la instalación de sensores para la toma de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Como descripción de la materialidad de la vivienda se tiene lo siguiente:

- Radier de hormigón de tipo HB-250-90-40-08, con malla acma de refuerzo, más una barrera de vapor de polietileno.

- Muros estructurales de ladrillo tipo Titán, con acero de refuerzo, llaga y tendel de dos centímetros, con coronación de hormigón armado por todo el perímetro de la vivienda.
- Techumbre de cerchas de pino, afianzada mediante espárragos de acero sin estriar, a la estructura de la coronación de la vivienda.
- Cubierta de planchas de aluminio de 0,35 milímetros de espesor, de largo continuo de dos metros.
- la vivienda presenta solo envolvente de ladrillo, por el interior se implementa tabiquería para montar la experiencia.

Lo anterior enunciado se visualiza en la figura 3.2.



Figura 3.2

Módulo de prueba, Vivienda social tipo.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 EQUIPO DE MEDICIÓN.

Para poder registrar los datos necesarios en la investigación, se utilizó el equipo de nombre Glx Xplorer de PASCO, el cual registra los datos a intervalos regulables y tomando en cuenta todos los tipos de mediciones necesarias para el estudio. Este equipo admite hasta cuatro sensores PASPORT simultáneamente, además de dos sensores de temperatura y un sensor para medir capacidad de tensión; ambos conectadas directamente a los puertos de conexión respectivos.

El Xplorer GLX es un sistema totalmente autónomo para las ciencias. También funciona como interfaz del sensor PASPORT cuando está conectado a un ordenador de sobremesa o portátil con software Data Studio. Se puede apreciar en la figura 3.3.



Figura 3.3

Glx Xplorer de PASCO.

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente al equipo se le conectan diferentes sensores, existe uno de tipo cuádruple, al cual se le conectan cuatro sensores con los cuales se puede tomar en tiempo real la temperatura superficial de cada paramento de la envolvente, además se puede conectar un sensor de temperatura superficial, el cual registra la temperatura que se va presentando en el ambiente. Los sensores del Glx Xlporer toman datos de temperaturas, punto de rocío, humedad relativa, entre otros, se muestran en la figura 3.4.



Figura 3.4

Sensores utilizados en la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a datos del manual del usuario, los sensores poseen un rango de toma de datos comprendido entre los -10°C a $+70^{\circ}\text{C}$, con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, el sensor de humedad posee un rango de precisión de $\pm 2\%$ y el sensor de toma de datos de punto de rocío de un $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO PROPUESTO.

La investigación propone una solución de aislación térmica en base a poliestireno expandido de 10 mm de espesor, con un cuerpo intermedio de bandejas de huevos, lo que hace que en su composición el sistema tenga un espesor de 60 mm, según reglamenta la O.G.U.C según los planos de zonificación térmica para esta zona. Las bandejas de huevos van adheridas entre sí por un promotor de adherencia de marca comercial Provequin. Se definen los componentes a continuación:

- **Poliestireno Expandido:** es una espuma rígida de color blanco y gran trabajabilidad, caracterizada por un termoplástico celular de baja densidad y alta resistencia físico-mecánica en relación a su reducido peso aparente. Está constituido por celdas cerradas, solidariamente apoyadas y termo soldadas por sus tangentes, las cuales contienen aire quieto ocluido en su interior. El 98% de aire quieto en su volumen es lo que le confiere una extraordinaria capacidad de aislamiento térmico.
- **Bandejas de huevos:** la bandeja de huevos está conformada por papel reciclado, plegado en manera de semi-ovoides; se caracterizan por su flexibilidad, poco espesor, bajo peso y sobre todo por ser de bajo costo.
- **Adhesivo de montaje Provequín:** es un adhesivo de contacto, libre de solventes y de gran adhesividad. Formulado en base a resinas emulsionadas de características específicas que proporcionan uniones flexibles, durables y con excelentes resistencias mecánicas y atmosféricas.

3.5 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN PROPUESTO.

Como se dijo anteriormente y considerando las materias primas a utilizar, se comienza el proceso de confección de la plancha. En primer lugar se preparan los materiales en una superficie adecuada.



Figura 3.5

Materiales a emplear en la confección de la plancha.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los materiales ya dispuestos, se procede a disponer en la plancha de poliestireno las bandejas de huevo para así tener ubicadas de la manera más homogénea y uniforme posible las bandejas. Con esto realizado el paso siguiente es el de recortar las bandejas de huevo que sobresalen de la pancha de poliestireno. Lo comentado se aprecia en la figuras 3.6 y 3.7:



Figura 3.6

Distribución de bandejas de huevo en la plancha de poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.7

Dimensionado de bandejas en planchas.

Fuente: Elaboración propia.

Al tener ya distribuidas y dimensionadas las bandejas en la plancha, se está en condiciones de comenzar a impregnar de adhesivo la plancha, para luego colocar la bandejas de huevo y producir el pegado de ambos materiales, se aprecia esta secuencia en la figura 3.8



Figura 3.8

Secuencia de pegado de las bandejas en la plancha.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de hacer este proceso con cada una de las bandejas de huevo dispuestas en la plancha se procede a aplicar adhesivo en las protuberancias en contacto con la plancha, a modo de hacer una especie de sándwich, de esta manera se logra consolidar el material empleado en la confección de la solución de aislación mencionada.

Al tener la secuencia de trabajo ya en proceso de término, se debe dejar aprensada por lo menos unas 6 horas a la plancha ya que de esta forma se adhiere la bandeja al poliestireno, no obstante, para efectos de esta investigación cada plancha confeccionada se dejó alrededor de 24 horas para que las planchas no se despegaran al trabajar con ellas.

Cada uno de los pasos comentados se puede apreciar en las figuras 3.9; 3,10; 3,11 y 3.12.



Figura 3.9

Segunda secuencia de pegado de las bandejas en la plancha.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.10

Proceso de pegado de la segunda plancha de poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.11

Consolidación de las planchas de poliestireno al cuerpo intermedio de bandejas de huevo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.12

Proceso de prensado de las planchas.

Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades ocupadas por plancha confeccionada se visualizan en la siguiente tabla 3.1:

Tabla 3.1

Cantidad de material utilizado por plancha confeccionada.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
POLIESTIRENO EXPANDIDO DE 10 MM	UNIDAD	2
BANDEJAS DE HUEVOS	UNIDAD	6
ADHESIVO PROVEQUIN	LITRO	0,20

Fuente: Elaboración propia.

Se debe señalar que la cantidad de metros cuadrados a revestir con la solución son los siguientes:

- Muro Norte: 2,6 metros
- Muro Sur: 2,6 metros
- Muro Oriente: 3,2 metros
- Muro Poniente: 3,2 metros.
- Altura interior de la vivienda: 2,15 metros.

Con esto se deduce que las cantidades de materiales a utilizar son:

Tabla 3.2

Cantidad total de planchas para el módulo.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
POLIESTIRENO EXPANDIDO DE 10 MM	UNIDAD	97
BANDEJAS DE HUEVOS	UNIDAD	292
ADHESIVO PROVEQUIN	LITRO	9,7

Fuente: Elaboración propia.

También se debe señalar que el peso de cada una de las planchas es de aproximadamente 0,148 gramos, estandarizados de acuerdo al seguimiento de la metodología de confección de las planchas en terreno, las cuales fueron confeccionadas solo por una persona, para así establecer un único criterio de confección.

Esta solución debe instalarse entre la tabiquería del módulo de prueba de la Universidad de Valparaíso, para comparar su comportamiento frente al fenómeno de la condensación superficial.

Así también las otras configuraciones son de la siguiente manera:

Tabla 3.3

Configuración cámara de aire entre tabique.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALBAÑILERÍA DE LADRILLO	14 CMS DE ESPESOR
AISLACIÓN TÉRMICA	AIRE
BARRERA DE VAPOR	NO APLICA.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4

Configuración Albañilería de ladrillo.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALBAÑILERÍA DE LADRILLO	14 CMS DE ESPESOR
AISLACIÓN TÉRMICA	NO APLICA
BARRERA DE VAPOR	NO APLICA.

Fuente: Elaboración propia.

El plan de trabajo aborda en una primera instancia revestir interiormente la envolvente de la vivienda, con el fin de realizar la primera secuencia de mediciones. Estas mediciones se realizan durante una semana. Posterior a esto se guardan todos los datos relevantes y se sacan las planchas de Volcanita. Paso siguiente es el de montar las planchas propuestas en los espacios de la tabiquería montada al interior de la vivienda. Por último y después de la semana de toma de datos, se desmonta la tabiquería y se evalúa la vivienda sin ningún tipo de aislación.

3.6 PROTOCOLO DE MEDICIÓN.

Para poder determinar el efecto de las tipologías a investigar, se creó un ambiente al interior del módulo, el cual simulará condiciones de posible riesgo de condensación, es decir, se forzó situaciones de alta humedad relativa. Esta situación se hará tres veces al día, midiendo así posibles escenarios de mayor cantidad de vapor de agua presente en el aire, por ejemplo, en las duchas de la mañana, a la hora de almuerzo y a la hora de la cena. Para determinar la cantidad de agua a hervir para producir un ambiente de alta humedad relativa, se recurrió a la investigación hecha por Carlos Martínez el año 2005, en donde tabula las cantidades de masa de vapor producidas por una persona,

valor contemplado entre los 50 gramos hora por persona, mas 140 gramos por hora por persona en la cocina y 250 gramos por hora de una calefactor chico. De acuerdo a estos parámetros es que se consideraron 440 gramos hora, cantidad representativa de 1 persona más el calefactor, creando así un ambiente que facilitaría la aparición del fenómeno indeseado de la condensación. Teniendo estos datos, se procedió a regular la intensidad de la llama para que ésta hiciera hervir los 440 gramos dentro del transcurso de una hora, para llevar a cabo esto, se consiguió una cocinilla en los laboratorios de la Universidad.



Figura 3.13.

Fuente generadora de vapor de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Para poder tomar datos de temperatura superficial, se conectaron al Glx Xlporer cuatro sensores de temperatura superficial, conectados al equipo mediante un sensor cuádruple, el cual va obteniendo datos a tiempo real de cada uno de los muros de la envolvente de la vivienda tipo a investigar. El sensor cuádruple y su conexión con un sensor se visualiza en la figura 3.14:



Figura 3.14

Sensor cuádruple de equipo Glx Xplorer de PASCO.

Fuente: Elaboración propia.

Los sensores a los muros van conectados mediante una cinta de tipo Masking Tape, las que van en contacto directo con la envolvente, a una altura de 1,7 metros, esto también para evitar la variabilidad en la toma de datos debido a la posible humedad por capilaridad del muro de la envolvente, en las cuatro paredes de la vivienda se colocaron los sensores, los que mediante el sensor cuádruple van registrando el comportamiento individual de cada uno de los muros de la envolvente de la vivienda.



Figura 3.15

Sensor para cada muro de la envolvente.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de humedad relativa, temperatura de punto de rocío, temperatura general del ambiente, presión atmosférica, se obtienen del sensor que va conectado directamente al equipo. En la figura 3.16 se puede apreciar el equipo con el sensor conectado.



Figura 3.16

Sensor de humedad, temperatura y humedad relativa conectado a equipo Glx Xplorer de PASCO.

Fuente: Elaboración propia.

Para instalar de la mejor manera el equipo, en cuanto a sus diferentes sensores y para ubicarlo en la zona central de la vivienda se ideó una tarima de aproximadamente 1,5 metros de altura a fin de efectuar la operación del equipo con mayor facilidad, en esta tarima se instalaron los sensores con las conexiones a los muros. Además de tener el equipo en modo de toma de datos, se instaló en el computador un software de PASCO al computador, para así ir recopilando de mejor manera la información entregada.

Teniendo todas estas condiciones se comenzó a preparar y acondicionar el conjunto de detalles para afinar el proceso de toma de datos, se realizó un orden dentro del recinto, se barrió y limpió, se sacó la protección interior de la ventana y se distribuyeron de la mejor manera posible los elementos como la cocinilla y los pisos en donde se instaló el computador, más la tarima de ubicación del equipo.

Se comenzó con una especie de marcha blanca, en donde se conoció el equipo y se comenzó a indagar en las diferentes funciones que entrega el sensor y las diferentes formas de llevarlos al papel, sean estos en gráficos, de forma análoga y mediante indicadores digitales.

En la figura 3.17 se aprecian la ubicación del equipo con sus conexiones respectivas:



Figura 3.17.

Toma de datos con equipo conectado a computador.

Fuente: Elaboración propia.

La medición y obtención de datos para la experiencia se realizó durante el periodo de Septiembre y Octubre. Las mediciones se realizaron durante una semana en forma continua, desde la mañana, aproximadamente desde las 09:00 horas y hasta las 18:00 horas, en la tabla 3.5 se expone el cronograma de mediciones expuesto anteriormente.

Tabla 3.5

Cronograma de toma de datos en vivienda.

CONFIGURACIÓN	SEMANA DE INTERVENCIÓN
CÁMARA DE AIRE	13 AL 17 DE SEPTIEMBRE.
PLANCHA PROPUESTA	06 AL 10 DE OCTUBRE.
ALBAÑILERÍA DE LADRILLO.	27 AL 31 DE OCTUBRE.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1 GENERALIDADES.

En el capítulo siguiente se presentan los resultados obtenidos en la experiencia, obtenidos en las semanas enunciadas en el capítulo anterior.

Los resultados se exponen en forma gráfica, determinando así la relación y diferenciación entre una y otra configuración empleada en la investigación, se comparan todos los gráficos obtenidos en la experiencia, llegando así a obtener la configuración con mejor comportamiento.

En la investigación se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Considerar la máxima temperatura interior alcanzada por la vivienda, ya que se puede establecer una directa relación con la capacidad de aislación térmica de la solución empleada en la semana en cuestión.
- La diferencia de las temperaturas superficiales en los muros de la envolvente térmica de la vivienda, contrastando así la presencia o no de un sistema aislante térmico, ya que en los casos de la no utilización de un sistema aislante la temperatura superficial es relativamente mayor que en un caso contrario.
- Las pérdidas de temperatura de la vivienda durante el día, para así determinar cuál de las soluciones ofrece la menor pérdida de temperatura en el interior de la vivienda.
- Identificar el momento en el cual se interceptan las curvas de temperatura superficial con la de punto de rocío, ya que es el momento en el cual se produce el fenómeno de la condensación superficial en los muros de la envolvente de la vivienda.

4.1.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA INVESTIGACIÓN: TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR, TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROCÍO, HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE, TEMPERATURAS DE LOS DIFERENTES MUROS DE LA ENVOLVENTE, TEMPERATURA AMBIENTE EXTERIOR.

La información que se expone a continuación se obtuvo del promedio de las temperaturas superficiales interiores de los muros con sus diferentes configuraciones, las temperaturas de punto de rocío y las temperaturas de ambiente interior de la vivienda. Se debe tener en cuenta que para que se produzca el riesgo de condensación superficial la temperatura de punto de rocío debe ser igual o mayor a la temperatura superficial interior del muro, esto se visualiza con la intersección en el gráfico de dichas temperaturas, es decir, para que no exista este riesgo, la temperatura superficial interior debe ser mayor a la temperatura de punto de rocío existente en el ambiente interior de la vivienda.

Las variables presentes en los gráficos de las diferentes configuraciones son:

- Temperatura superficial interior de cada uno de los muros.
- Temperatura ambiente interior de la envolvente de la vivienda.
- Temperatura de punto de rocío.
- Temperatura exterior del día de registro de datos.

Estas variables tienen la condición de dependientes, al contrario del tiempo, la cual se considera una variable independiente de investigación. Para comenzar a exponer los datos recopilados, se presentan los datos de la temperatura ambiente exterior promedio en cada semana de investigación en la correspondiente tabla 4.1

Tabla 4.1

Temperatura ambiente exterior promedio durante la investigación en cada configuración.

TIPOLOGÍA DE AISLACIÓN	PROMEDIO SEMANAL DE TEMPERATURA EXTERIOR.(°C)
AISLACIÓN DE CÁMARA DE AIRE.	13,19°C
PLANCHA PROPUESTA.	12,78°C
SIN SISTEMA DE AISLACIÓN.	11,78°C

Fuente: Elaboración propia.

La humedad relativa exterior promedio de cada semana de investigación se obtuvo de datos de la página web meteochile.cl y se exponen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Humedad relativa exterior promedio durante la investigación en cada configuración.

TIPOLOGÍA DE AISLACIÓN.	PROMEDIO SEMANAL DE HUMEDAD RELATIVA. (%)
AISLACION DE CAMARA DE AIRE.	84,75
PLANCHA PROPUESTA.	78,86
SIN SISTEMA DE AISLACIÓN.	85,23

Fuente: registro de mediciones del portal www.meteochile.cl.

Como se mencionó anteriormente para poder exponer de mejor manera la interpretación de los datos obtenidos, se recurre a la ayuda de gráficos y tablas, las cuales exponen de manera más evidente la obtención y recopilación de datos. La idea de lo anterior es contrastar resultados y así ir obteniendo un patrón de comportamiento el cual indique la característica de cada una de las configuraciones propuestas.

De acuerdo al programa de estudio establecido se han dedicado tres semanas para recopilar datos de cada una de las configuraciones empleadas, en una primera instancia se va a tomar datos con la tabiquería armada (Tipo 1), con el entramado sin aislación alguna, esta tipología es la de cámara de aire entre la tabiquería, como segunda opción de aislación térmica se propone las planchas con bandejas de huevo entre ellas (Tipo 2), para por último y de acuerdo al cronograma de trabajo, sacar toda la tabiquería, desmontarla y dejar solo la envolvente original de la vivienda en estudio, esto es, la albañilería de ladrillo con la cual se construyó la vivienda (Tipo 3).

A continuación se exponen los resultados de acuerdo al cronograma de trabajo.

A) Sistema de aislación de cámara de aire.

Las figuras 4.1 y 4.2 presentan la configuración del sistema mencionado, más la toma semanal de datos de temperatura superficial de los muros de la envolvente, más temperatura de rocío y temperatura superficial interior.

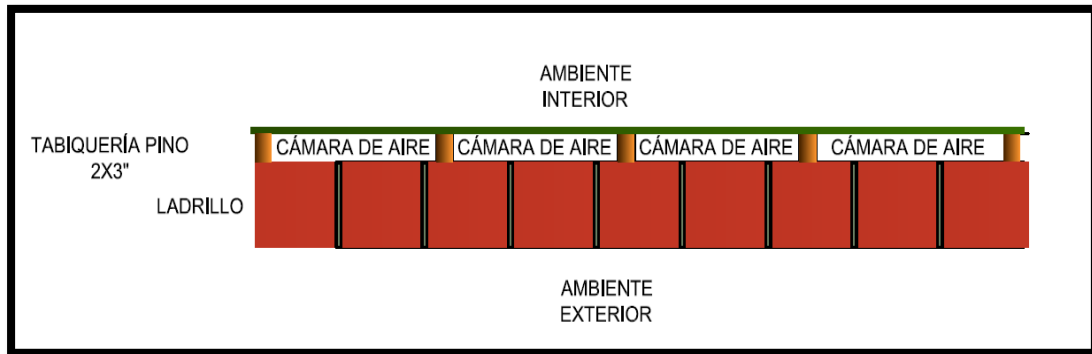


Fig 4.1 Cámara de aire entre tabiquería.

Fuente: Elaboración propia.

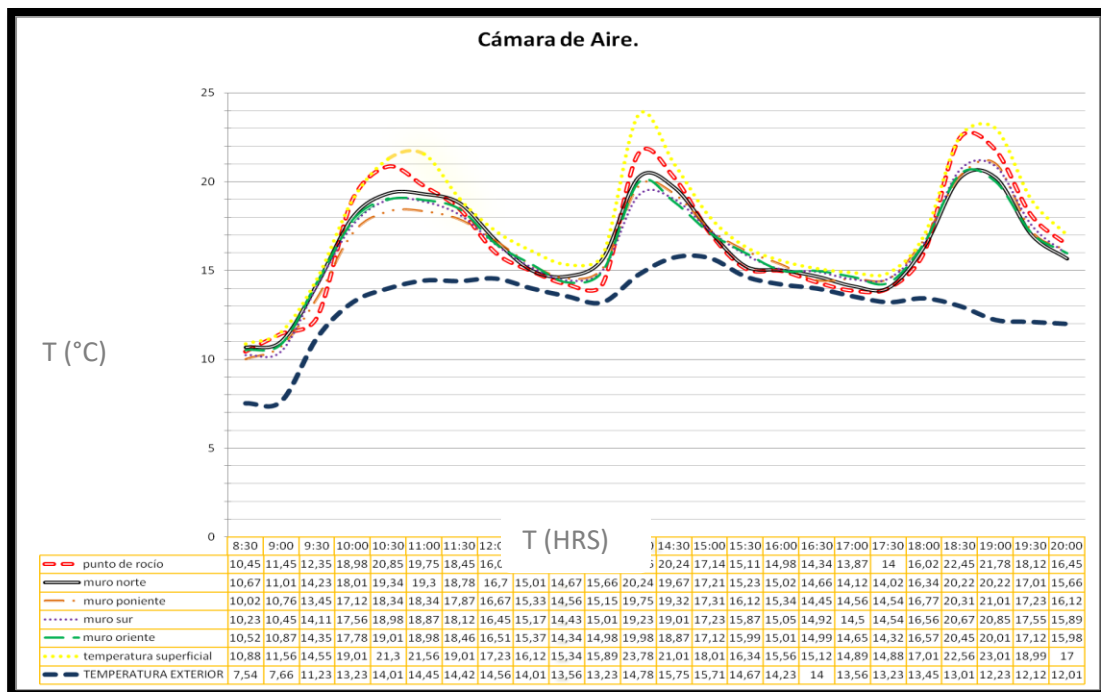


Figura 4.2

Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura del punto de rocío, datos obtenidos el día 13 de Septiembre de 2014.

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que en el gráfico anterior se muestran tres picos con alturas máximas de temperaturas y que corresponden a las condiciones forzadas de emisión de vapor de agua a las horas en las cuales una familia efectúa labores de aseo personal, la hora de la comida y por último, la llegada del trabajo y el baño respectivo. Esto también se acentúa debido al aumento de la temperatura ambiente durante el día, lo que se aprecia en la diferencia de temperatura de los muros.

A continuación se presentan por separado el comportamiento de cada uno de los muros de la envolvente, exponiendo las temperaturas máximas y mínimas presentadas en el módulo, y su relación con la temperatura interior, temperatura de punto de rocío y la temperatura exterior. Se presenta la figura 4.3 con el Muro Oriente.

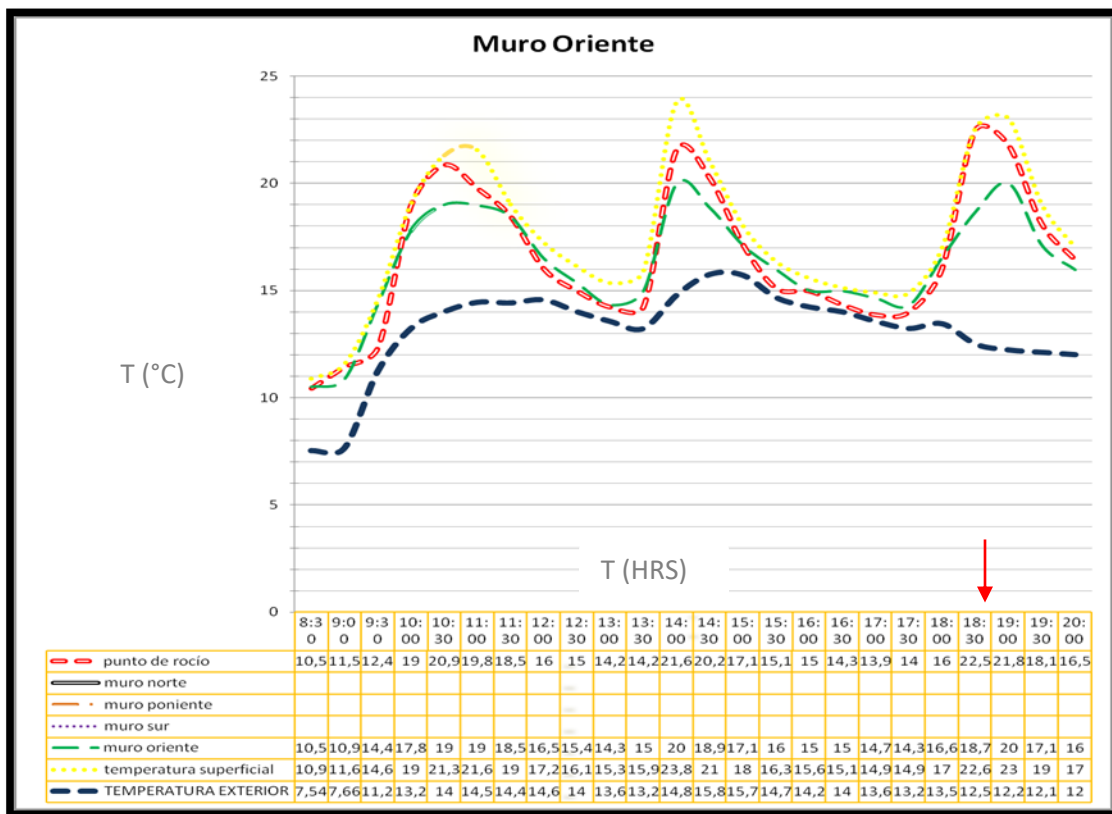


Figura 4.3 Temperatura superficial interior, T° de punto de Rocío y Temperatura superficial exterior en Muro Oriente.

Fuente: Elaboración Propia.

En el muro Oriente se producen tres momentos de condensación que se pueden apreciar en el gráfico, de los cuales el momento más desfavorable para la vivienda es a la hora de las 18:30 horas, donde la temperatura registrada fue de 18,78°C superficiales para el muro Oriente, y de unos 22,5°C para la temperatura de punto de Rocío, produciendo una diferencia de unos 3,72°C.

De acuerdo a los datos entregados por el servicio meteorológico de la Armada, la humedad relativa fue de 84,75%. El momento de mayor diferencia entre los ambientes interior y exterior fue a las 19:00 horas, registrándose una diferencia de 10,78°C entre los ambientes

En el transcurso de la toma de datos, tomando en cuenta la totalidad de las horas registradas, se puede decir que el tiempo en el cual no se produce el fenómeno de condensación en el muro es de aproximadamente 6,5 horas, de un total de 11,5 horas.

De acuerdo a lo enunciado por la Norma Chilena 1973 of 1987, la resistencia mínima total requerida para que no se produzca condensación en el muro Oriente es la siguiente:

$$R_t = \frac{(T_l - T_e) * R_{si}}{T_i - T_r}$$

T_l = Temperatura de cálculo máxima para el aire del local.

T_e = Temperatura de cálculo para el aire exterior, correspondiente al mes de Julio

T_r = Temperatura de punto de rocío, según ábaco psicrométrico.

R_{si} = Resistencia total mínima según Nch 1973.

Con lo que se tiene:

$$R_t = \frac{(20,01 - 3,2) * 0,12}{20,01 - 17,5} = 0,8 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

Contrarrestando la información con lo ejecutado en la experiencia, se tiene que la resistencia térmica total del elemento se calcula según la Norma Chilena 853 of 2007, de la siguiente manera:

$$R_t = R_{si} + \Sigma \frac{e}{\gamma} + R_{se}$$

$R_{si} = 0,12$ para locales en contacto con ambiente exterior o local abierto.

$\Sigma \frac{e}{\gamma}$ = Sumatoria de resistencias térmicas de los elementos componentes de la estructura.

$R_{se} = 0,05$ para locales en contacto con ambiente exterior o local abierto.

Las resistencias térmicas parciales son las siguientes:

Resistencia térmica del ladrillo:

$$R_{ladrillo} = \frac{0,14}{0,46} = 0,304 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Resistencia térmica de la cámara de aire:

Para el cálculo de la resistencia térmica de la cámara de aire se tiene lo siguiente:

La resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada, varía en función de los parámetros siguientes:

Sentido del flujo térmico.

Espesor de la cámara de aire.

Emisividad total de la cámara de aire E , dada por la fórmula:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2}$$

Donde:

ε = Emisividades de las superficies en contacto con la cámara de aire considerada.

En general se distinguen cuatro casos característicos ellos son:

- 1) Caso general (materiales corrientes, tales como madera, hormigón, ladrillos, vidrio, papeles no metálicos, etc) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$.
- 2) Una de las superficies de la cámara es brillante, $\varepsilon_2 = 0,9$, de donde $E = 0,20$.
- 3) Ambas superficies de la cámara son brillantes, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,2$. De donde $E = 0,11$.
- 4) Una de las superficies de la cámara es muy brillante, $\varepsilon_1 = 0,9$ de donde $E = 0,05$.

Para este caso se considera ε_1 y $\varepsilon_2 = 0,9$ de donde $E = 0,82$

Del siguiente ábaco se pueden obtener los valores que deben considerarse en el cálculo de las resistencias térmicas, de cámaras de aire no ventiladas. Dichas resistencias corresponden a las obtenidas en cámaras cuyas paredes están conformadas por materiales corrientes de construcción, como ladrillo, papeles, etc. Se expone la siguiente figura 4.4

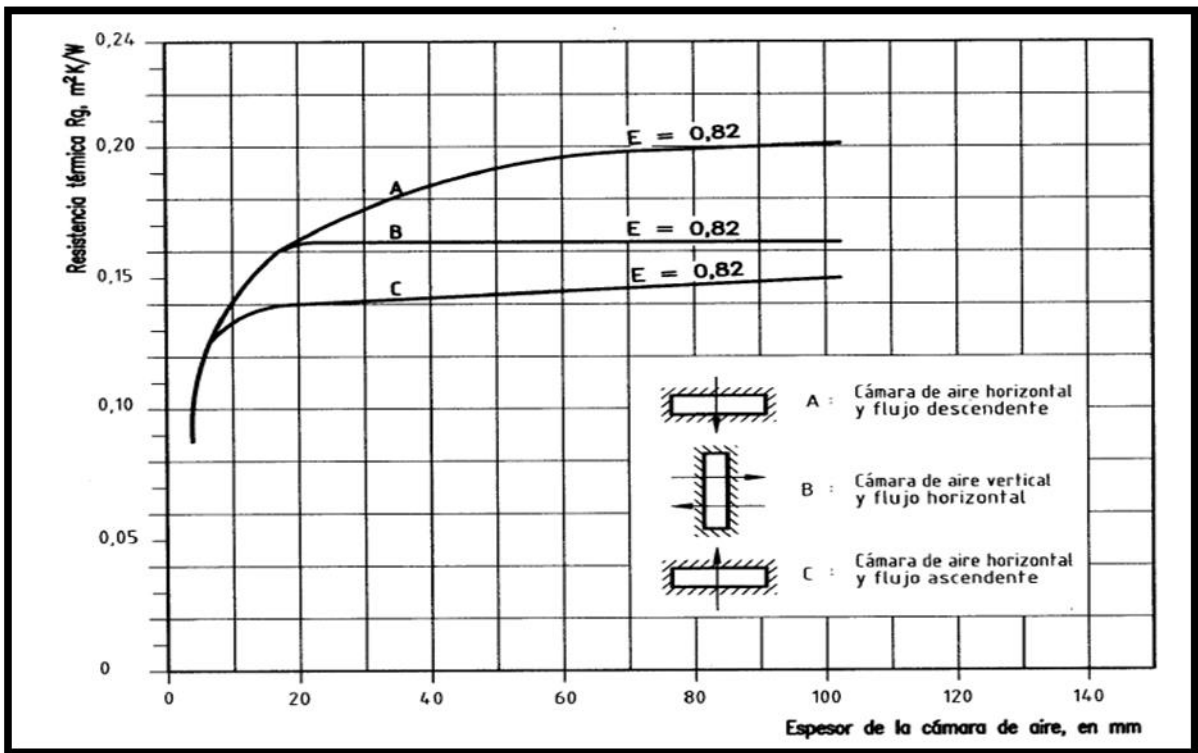


Fig 4.4. Resistencia térmica de cámaras de aire no ventiladas.

Fuente: Norma Chilena 853 of 2007.

De lo anterior se tiene que para una cámara de aire no ventilada con un espesor de 7,6 cms, la resistencia térmica según el ábaco es de 0,163 m²°C/W

La resistencia térmica de una placa de yeso cartón de 12 mm es de 0,046 m²°C/W

Teniendo los resultados parciales de las resistencias térmicas de la estructura se tiene lo siguiente:

$$R_t = R_{si} + \Sigma R_p + R_{se}$$

Por lo tanto:

$$R_t = 0,12 + 0,304 + 0,163 + 0,046 + 0,05 = 0,683 \text{ m}^2\text{°C/W.}$$

Se tiene por consecuencia que según el criterio de cálculo de la Norma Chilena 1973, se estaría en presencia de fenómeno de condensación en el muro Oriente.

A continuación se expone de manera gráfica la diferencia de temperaturas desde el ambiente exterior al interior en el horario de las 18:30 horas.

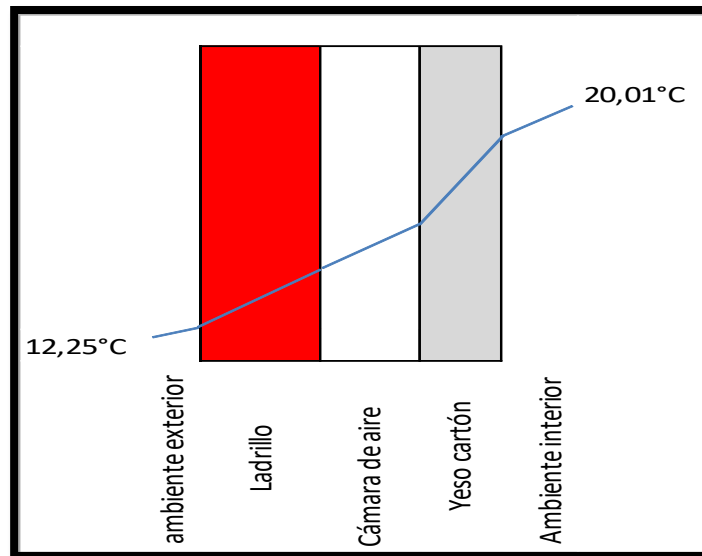


Fig 4.5 Perfil de temperaturas en Muro Oriente.

Fuente: Elaboracion propia.

Tomando en cuenta lo que enuncia la Nch 1973 para el cálculo de condensaciones, se tiene lo siguiente respecto del Muro Oriente.

La resistencia total mínima requerida para evitar el fenómeno de la condensación superficial se define:

$$R_t = \frac{(20,01 - 3,2) * 0,12}{20,24 - 18} = 0,90 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{camara}} < \text{resistencia bajo cálculo Nch}$$

Calculando las temperaturas en cada una de las capas del elemento se tiene lo siguiente:

$$\Delta T_1 = (T_i - T_e) * \left(\frac{R_{s_i}}{R_t}\right)$$

Donde:

T1 : Tempertura en capa 1

Ti: Temperatura interior del ambiente.

Te: Temperatura exterior

Rsi: Resistencia superficial interior (según Nch 853)

Rt: Resistencia total del elemento.

De lo anterior se tiene lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (20,01 - 12,25) * \left(\frac{0,12}{0,683}\right) = 1,36^{\circ}\text{C}$$

$$T1 = (20,24 - 1,36) = 18,87^{\circ}\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (20,01 - 12,25) * \left(\frac{0,046}{0,683}\right) = 0,52^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 18,87 - 0,52 = 18,34^{\circ}\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (20,01 - 12,25) * \left(\frac{0,163}{0,683}\right) = 1,85^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = 18,34 - 1,85 = 16,49^{\circ}\text{C}$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (20,01 - 12,25) * \left(\frac{0,304}{0,683}\right) = 3,45^{\circ}\text{C}$$

$$T4 = 16,49 - 3,45 = 13,03^{\circ}\text{C}$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (20,01 - 12,25) * \left(\frac{0,05}{0,683}\right) = 0,57^{\circ}\text{C}$$

$$T5 = 13,03 - 0,57 = 12,46^{\circ}\text{C}$$

Graficando lo anterior se obtiene lo siguiente para el Muro Oriente:

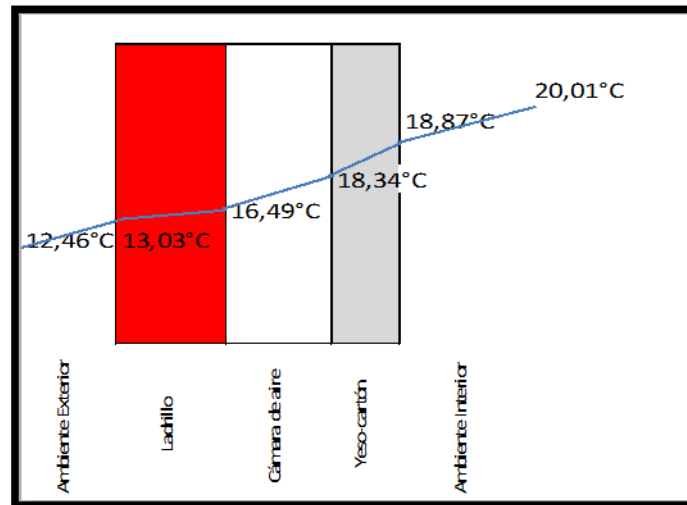


Fig. 4.6. Perfil de temperaturas muro Oriente, según Nch 1973.

Fuente: Elaboración Propia.

Si siguiendo con el comportamiento frente al fenómeno, ahora se tiene por separado el muro Norte:

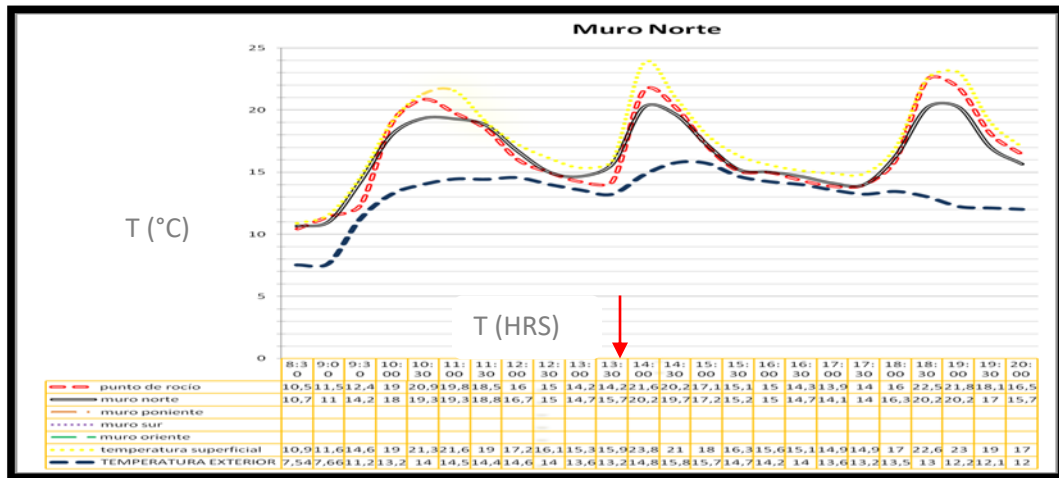


Figura 4.7. Temperaturas Máximas y Mínimas registradas en Muro Norte aislación de cámara de aire.

Fuente: Elaboración propia.

El muro Norte de la envolvente al comenzar a tomar datos registraba una temperatura de 10,67 ° C, en el transcurso del día y dado las simulaciones de situaciones de condensación, la temperatura superficial del muro llegó a los 20,24°C a las 14:00 horas, a diferencia del muro Oriente, el cual registró una temperatura superficial mayor en el horario de las 18:30 horas. De acuerdo a las diferencias de temperaturas, se puede mencionar que el momento de mayor riesgo de condensación fue a las 18:30 horas, donde la temperatura de punto de rocío fue de 22,45°C, superando en 2,23°C a la temperatura superficial del muro. Al igual que el muro Oriente, se grafica el perfil de temperaturas de acuerdo a la toma de datos, en el momento de mayor diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y el exterior.

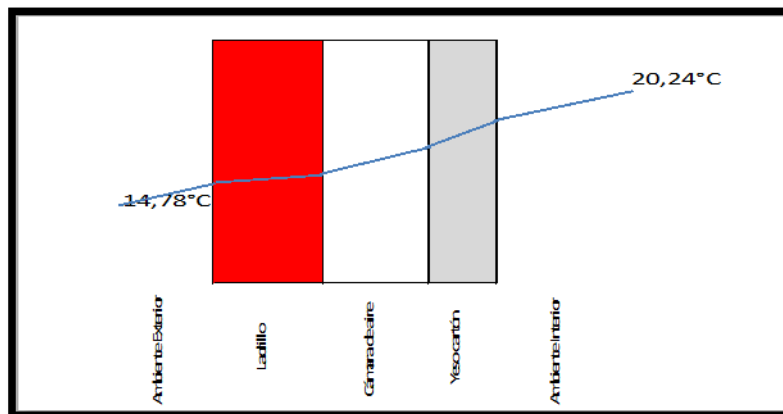


Fig 4.8. Perfil de temperaturas en Muro Norte.

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que el muro Oriente se utiliza la Nch 1973 para el cálculo de condensaciones, se tiene lo siguiente respecto del Muro Norte.

La resistencia total mínima requerida para evitar el fenómeno de la condensación superficial se define:

$$R_t = \frac{(20,24 - 3,2) * 0,12}{20,24 - 18} = 0,91 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Siguiendo con la tendencia expuesta anteriormente se puede decir que al igual que el muro Oriente, el muro Norte también presenta riesgo de condensación superficial al ser la resistencia térmica de la estructura menor que la resistencia total mínima requerida. Se expone lo siguiente:

$$R_{\text{camara}} < \text{resistencia bajo cálculo Nch}$$

Calculando las temperaturas en cada una de las capas del elemento se tiene lo siguiente:

$$\Delta T_1 = (T_i - T_e) * \left(\frac{R_{si}}{R_t}\right)$$

Donde:

T1 : Tempertura en capa 1

Ti: Temperatura interior del ambiente.

Te: Temperatura exterior

Rsi: Resistencia superficial interior (según Nch 853)

Rt: Resistencia total del elemento.

De lo anterior se tiene lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (20,24 - 14,78) * \left(\frac{0,12}{0,683}\right) = 0,96^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (20,24 - 0,96) = 19,28^\circ\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (20,24 - 13,01) * \left(\frac{0,046}{0,683}\right) = 0,48^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 19,28 - 0,48 = 18,79^\circ\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (20,24 - 13,01) * \left(\frac{0,163}{0,683}\right) = 1,73^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 18,79 - 1,73 = 17,06^\circ\text{C}$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (20,24 - 13,01) * \left(\frac{0,304}{0,683} \right) = 3,21^{\circ}\text{C}$$

$$T4 = 17,06 - 3,21 = 13,84^{\circ}\text{C}$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (20,24 - 13,01) * \left(\frac{0,05}{0,683} \right) = 0,53^{\circ}\text{C}$$

$$T5 = 13,84 - 0,53 = 13,31^{\circ}\text{C}$$

Graficando lo anterior se obtiene lo siguiente para el Muro Norte:

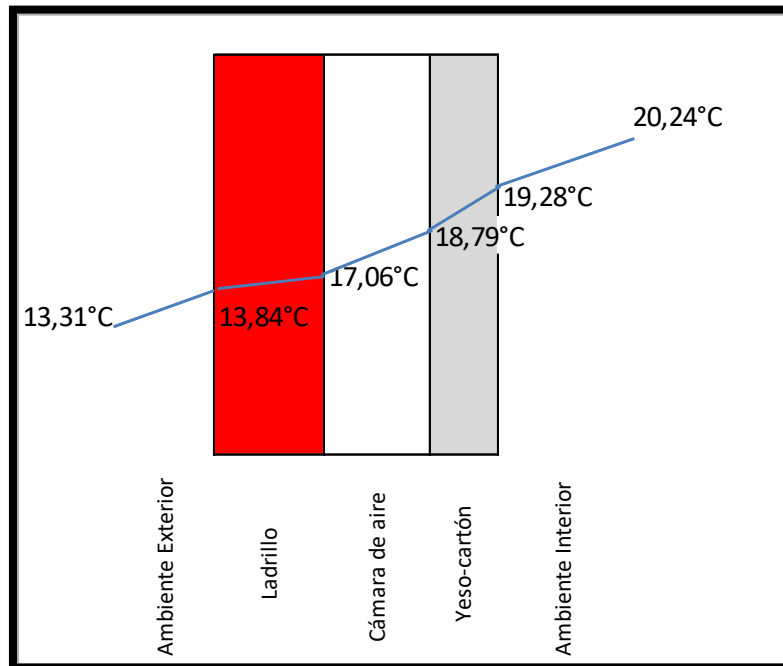


Fig.4.9 Perfil de temperaturas en Muro Norte.

Fuente: Elaboración propia en base a Nch 1973.

Sigue el muro Sur, el cual tuvo el siguiente comportamiento, se aprecia en la figura 4.10.

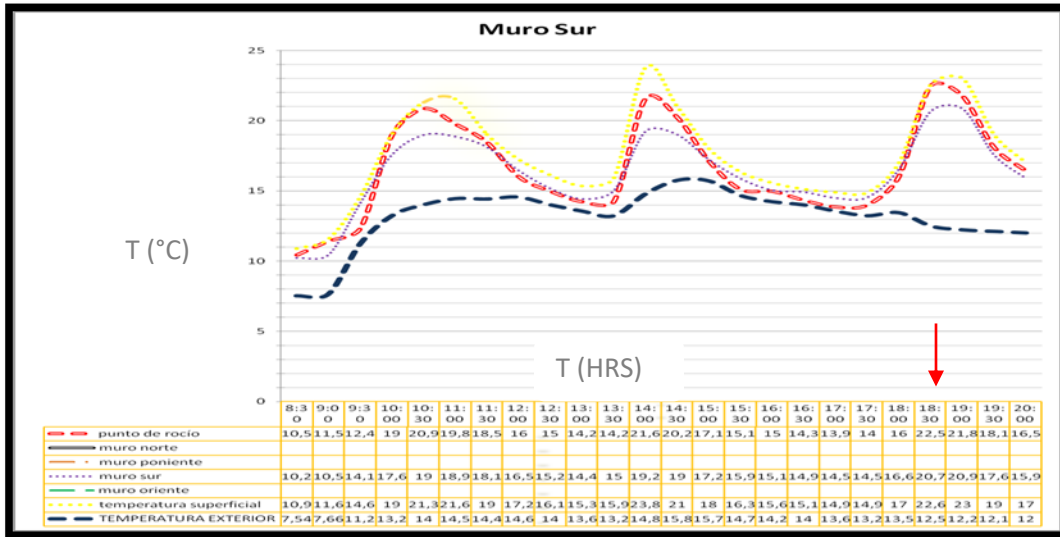


Figura 4.10 Temperatura superficial interior, T° de punto de Rocío y Temperatura superficial exterior en Muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Como temperaturas máximas en el muro Sur se registraron a las 19:00 horas, en donde se alcanzaron los 20,85°C, en ese momento la temperatura de punto de rocío registrada fue de 21,8°C, esto nos dice que en ese momento el muro estaba en presencia del fenómeno de condensación, al ser superior en 0,95°C, al contrario por ejemplo de las 16:00 horas, cuando la temperatura superficial del muro fue de 15,05°C y el punto de rocío alcanzaba los 15°C. En el resto del día se puede decir que no se presentaron condiciones de condensación en el recinto, esto es, si no se producen condiciones forzadas en la vivienda, no se hubiese presentado condensación en el muro del recinto.

Al igual que los muros anteriores, se expone el siguiente perfil de temperaturas registrado en el muro, el cual se contrarresta con el perfil según cálculo de condensaciones según Nch 1973 of 2008. Se expone la figura 4.11.

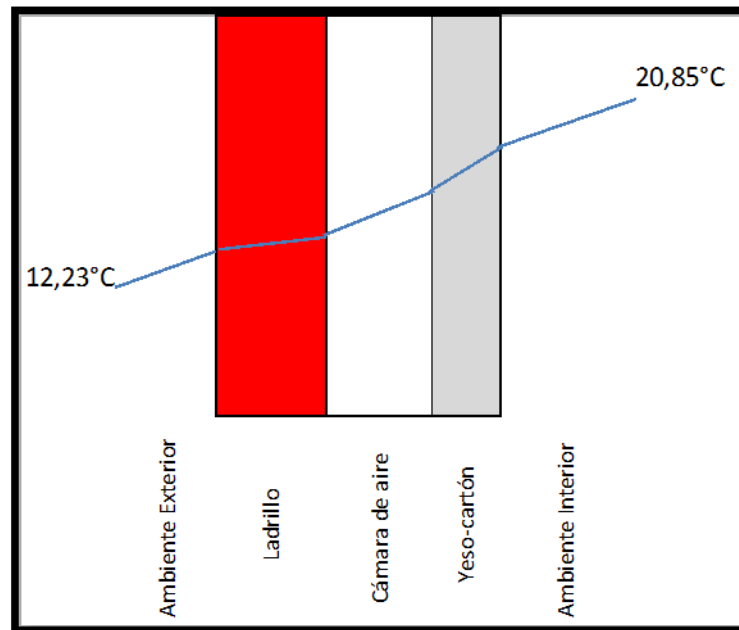


Fig 4.11. Perfil de temperaturas en Muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en los muros anteriores, se tomara la metodología de cálculo para contrarrestar y comprobar la presencia de condensación en el recinto.

La resistencia total mínima requerida para evitar el fenómeno de la condensación superficial se define:

$$R_t = \frac{(20,85 - 3,2) * 0,12}{20,85 - 18,5} = 0,90 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Siguiendo con la tendencia expuesta anteriormente se puede decir que al igual que el muro Oriente, y el muro Norte, el muro Sur también presenta riesgo de condensación superficial al ser la resistencia térmica de la estructura menor que la resistencia total mínima requerida para evitar el fenómeno. Por lo tanto se expone lo siguiente:

$$R_{\text{camara}} < \text{resistencia bajo cálculo } N_{\text{ch}}$$

A continuación se calcula el perfil de temperaturas presente en el momento de la temperatura indicada en lo anterior, quedando lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (20,85 - 12,23) * \left(\frac{0,12}{0,683} \right) = 1,51^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (20,85 - 1,51) = 19,33^\circ\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (20,85 - 12,23) * \left(\frac{0,046}{0,683}\right) = 0,54^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 19,33 - 0,54 = 18,78^{\circ}\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (20,85 - 12,23) * \left(\frac{0,163}{0,683}\right) = 2,06^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = 18,78 - 2,06 = 16,72^{\circ}\text{C}$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (20,85 - 12,23) * \left(\frac{0,304}{0,683}\right) = 3,83^{\circ}\text{C}$$

$$T4 = 16,72 - 3,83 = 12,88^{\circ}\text{C}$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (20,85 - 12,23) * \left(\frac{0,05}{0,683}\right) = 0,63^{\circ}\text{C}$$

$$T5 = 12,88 - 0,63 = 12,25^{\circ}\text{C}$$

Graficando lo anterior se obtiene lo siguiente para el Muro Sur:

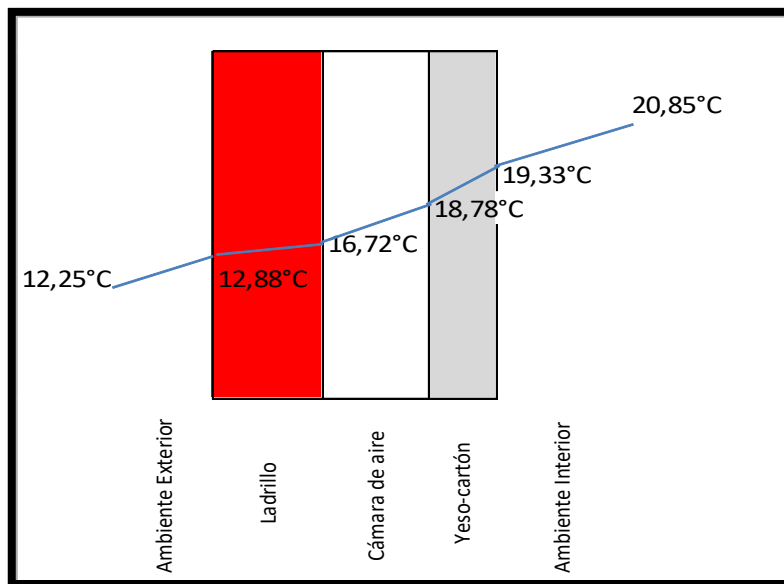


Fig.4.12. Perfil temperaturas Muro Sur.

Fuente: Elaboración propia en base a Nch 1973.

Como ultimo muro a graficar se tiene el muro poniente aislado mediante la cámara de aire. Se expone la siguiente figura 4.13, la cual expone las temperaturas presentes en el muro mencionado.

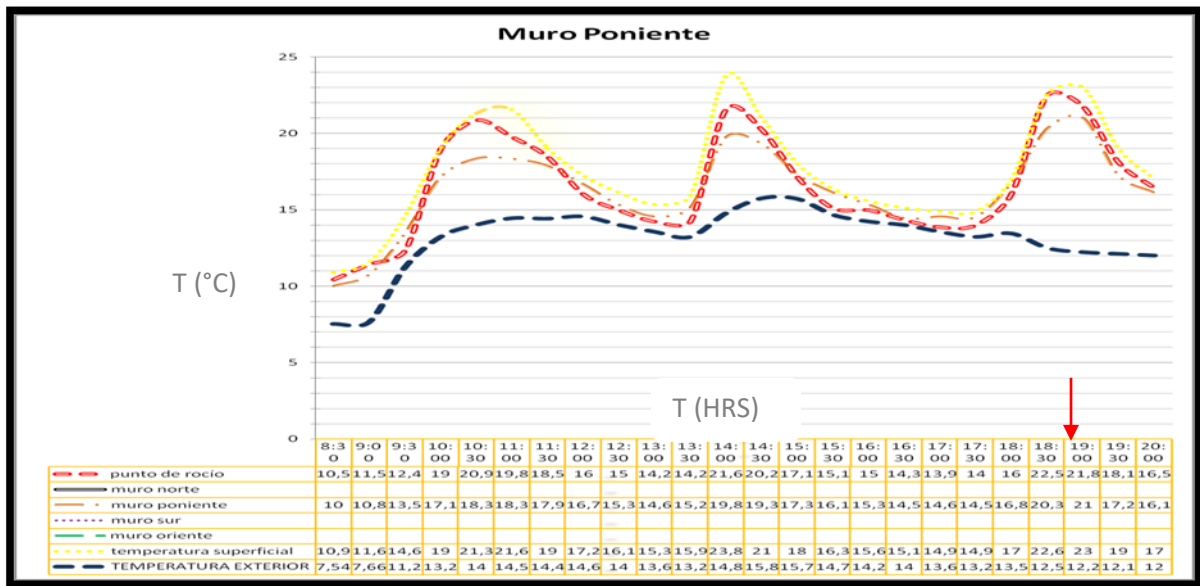


Fig. 4.13. Temperatura superficial interior, temperatura de punto de rocío, temperatura exterior y temperatura superficial en muro poniente.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en el muro poniente las temperaturas máximas registradas fueron en el horario de las 19:00 horas, en donde la temperatura superficial del muro alcanzó los 21,01°C, sin embargo al simularse condiciones de emisión de vapor, la temperatura de punto de rocío alcanzó los 21,8°C, teniendo una diferencia de 0,79°C. La temperatura superficial del muro mínima alcanzada después de comenzar el registro fue a las 9:30 horas y alcanzó los 13,45°C. Con respecto a la temperatura exterior, la mayor diferencia entre las temperaturas interior y exterior fue a las 19:00 horas, donde la temperatura interior alcanzó los 23,01°C y la temperatura exterior llegó a los 12,23°C, obteniéndose una diferencia de temperaturas de alrededor de 10,78°C. Referente al fenómeno de condensación en el muro, según los datos registrados se puede decir que la condensación afectó al muro alrededor de 5 horas, acentuado mayormente por las emisiones de vapor en los tres momentos del día en el cual se llevaron a cabo las simulaciones de situaciones de condensación en una vivienda.

De acuerdo a la metodología de trabajo se expone el cálculo de presencia de condensación de acuerdo a lo ejemplificado en el Manual de Humedad y bajo los criterios de cálculo de la Nch 1973 of 2008. Se expone el siguiente cálculo para la posible presencia de condensación superficial bajo el siguiente criterio:

La resistencia total mínima requerida para evitar el fenómeno de la condensación superficial se define:

$$R_t = \frac{(21,01 - 3,2) * 0,12}{21,01 - 18,5} * 1,05 = 0,89 \text{ m}^2\text{C/W}$$

La resistencia térmica total de la estructura nos arroja un valor de 0,683 m°C/W, con esto se puede expresar que se presenta al igual que en los muros anteriores de la envolvente condensación superficial, al ser menor la resistencia térmica total del elemento compuesto que la resistencia mínima

exigida por cálculo de la normativa chilena. De acuerdo a lo anterior se calculan las diferentes temperaturas en las capas de la estructura, teniéndose lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (21,01 - 12,23) * \left(\frac{0,12}{0,683}\right) = 1,54^{\circ}C$$

$$T1 = (21,01 - 1,54) = 19,46^{\circ}C$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (21,01 - 12,23) * \left(\frac{0,046}{0,683}\right) = 0,59^{\circ}C$$

$$T2 = 19,46 - 0,59 = 18,87^{\circ}C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (21,01 - 12,23) * \left(\frac{0,163}{0,683}\right) = 2,09^{\circ}C$$

$$T3 = 18,87 - 2,09 = 16,77^{\circ}C$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (21,01 - 12,23) * \left(\frac{0,304}{0,683}\right) = 3,91^{\circ}C$$

$$T4 = 16,77 - 3,91 = 12,86^{\circ}C$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (21,01 - 12,23) * \left(\frac{0,05}{0,683}\right) = 0,64^{\circ}C$$

$$T5 = 12,86 - 0,64 = 12,22^{\circ}C$$

Con estos datos se grafican las diferentes temperaturas presentes en la estructura, con lo anterior se expone la siguiente figura 4.14.

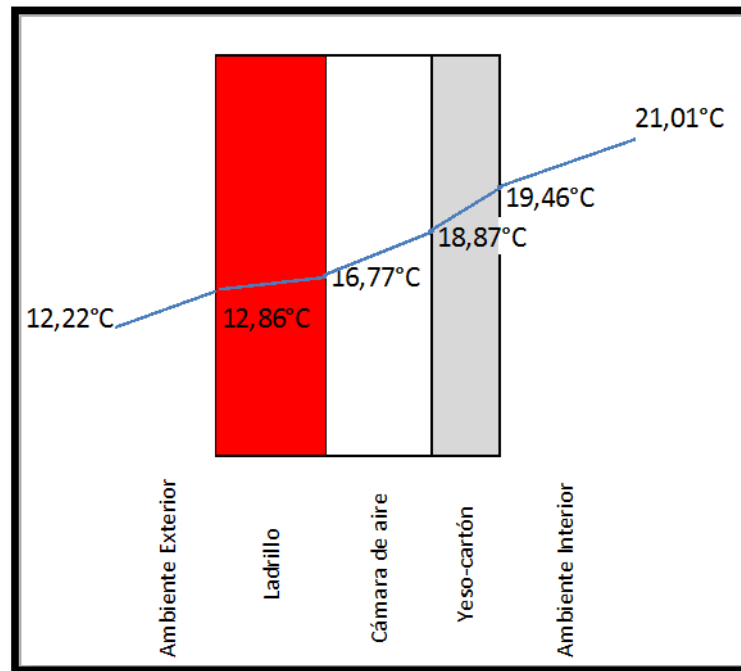


Fig. 4.14. Perfil de temperaturas según cálculo Nch 1973 of 1987.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla 4.3 se exponen los valores de resistencia térmica total para cada muro, de acuerdo a lo que estipula la Norma Chilena 1973 of 1987, y de acuerdo a los valores entregados en el registro de datos.

Tabla 4.3 registro de Resistencias térmicas de los muros.

Muro	Rt según Nch 1973 (m ² °C/W)	Rt del elemento (m ² °C/W)
Oriente	0,80	0,683
Norte	0,91	0,683
Sur	0,90	0,683
Poniente	0,89	0,683

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de la tabla anterior que el muro con un mejor comportamiento frente al fenómeno de la condensación fue el muro Norte, el cual mejora en un 12% el comportamiento del muro Oriente, el cual con una resistencia térmica de 0,80 m²°C/W fue el que menos resistencia le opuso al intercambio de temperatura de un ambiente a otro.

Respecto de las temperaturas superficiales de los muros, el que tuvo la mayor temperatura fue el muro Poniente, el cual registró una temperatura superficial interior de 21,01°C, en desmedro del muro Oriente, el cual registró una temperatura de 20,01°C, produciéndose una diferencia de 1°C entre uno y otro muro.

B). Sistema de aislacion poliestireno expandido y bandeja de huevos.

El segundo sistema de aislación propuesto es la estructura confeccionada en base a dos planchas de poliestireno expandido de 10 mm, con un cuerpo intermedio de bandejas de huevos, el cual se dispone en el interior de la tabiquería, recubriendo con la placa de yeso cartón.

Las figuras 4.15 y 4.16 presentan el estructuramiento de la solución implementada, más el comportamiento semanal.

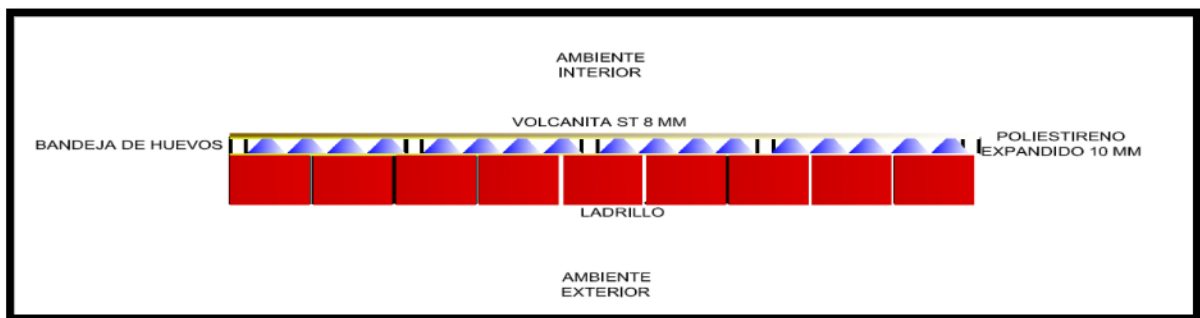


Fig. 4.15 Sistema de aislación propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta el comportamiento en la semana de toma de datos de la vivienda aislada con la plancha confeccionada y dispuesta entre la tabiquería y la envolvente de ladrillo de la vivienda.

Se expone la figura 4.16

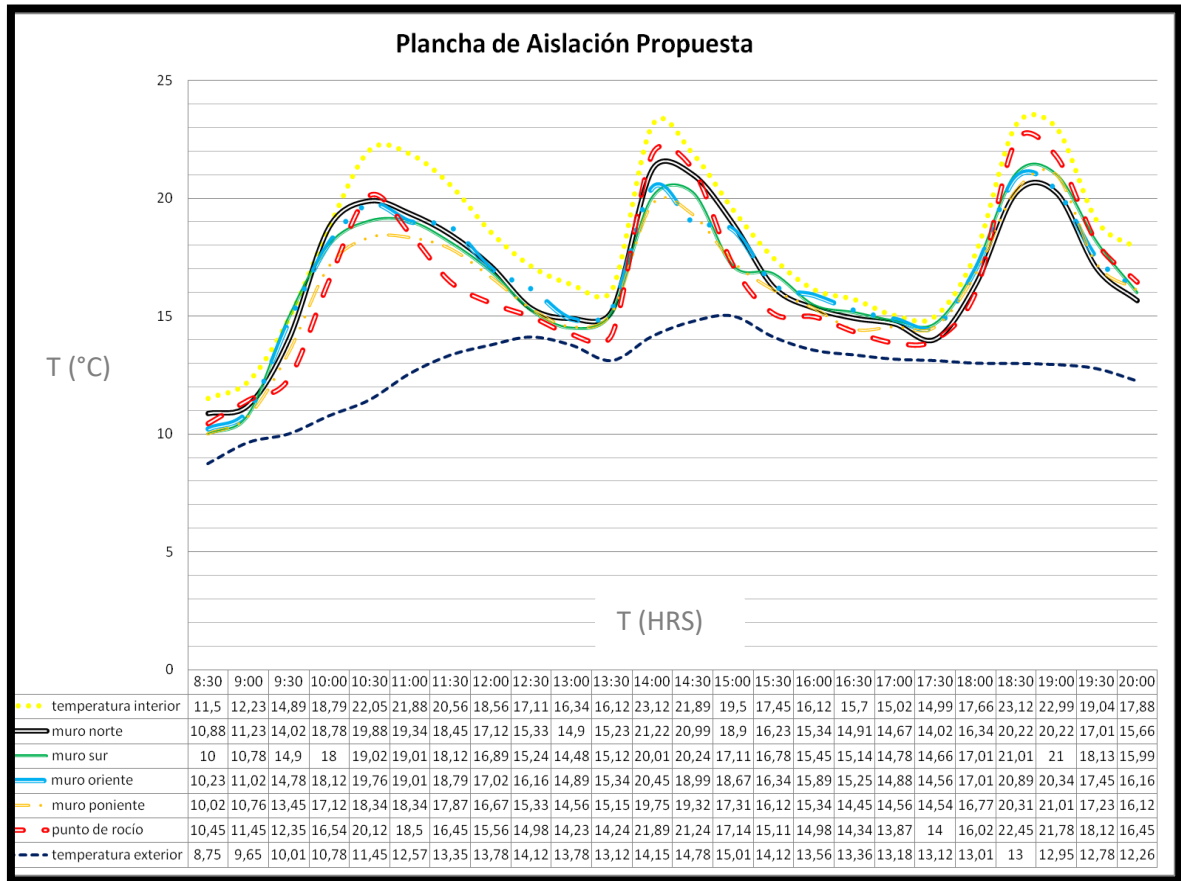


Figura 4.16.

Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura del punto de rocío, con la segunda configuración de planchas propuestas; datos obtenidos en la semana del 06 al 10 de Octubre de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de este sistema de aislación, se puede comentar que se aprecian las tres curvas de comportamiento frente a las condiciones de condensación forzadas.

A continuación se analiza por separado cada uno de los muros de la envolvente con la aislación antes comentada. Se expone la figura 4.17.

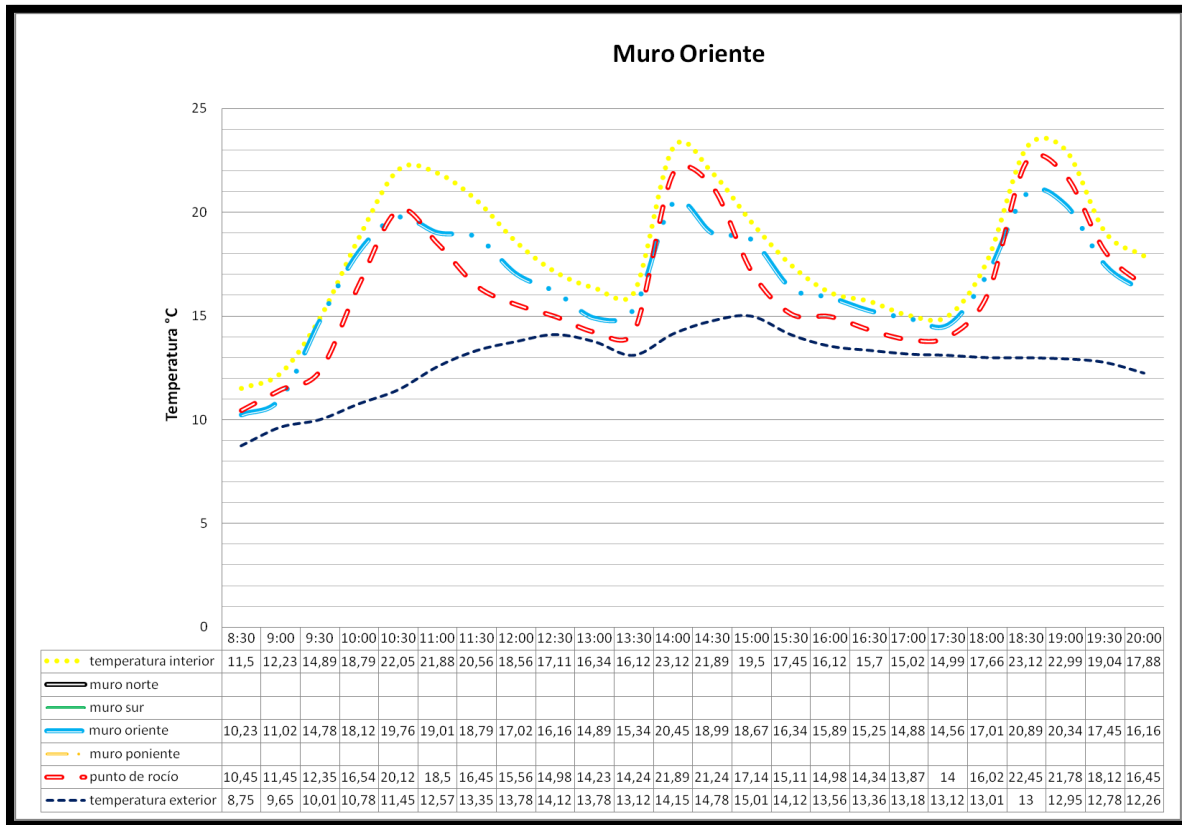


Fig. 4.17. Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Oriente.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede apreciar claramente que se producen tres momentos en los cuales las temperaturas aumentan de manera significativa, y que corresponden a los instantes en los que se efectuaron las simulaciones de situaciones de emisión de vapor de manera intensa.

Se puede apreciar que el muro Oriente registró la mayor temperatura en el horario de las 18:30 horas, en donde se registró una temperatura superficial del muro de 20,89°C, y en ese instante la temperatura exterior bordeaba los 13°C, teniéndose un diferencia de temperaturas de alrededor de 7,89°C. de acuerdo a la metodología de trabajo y siguiendo lo estipulado por la Normativa Chilena respecto de las precauciones frente al fenómeno de la condensación se tiene el siguiente cálculo para evidenciar la presencia en el recinto.

Según la Nch 1703, la resistencia mínima requerida para que no se produzca condensación está dada por la ecuación (1) y se presenta de la siguiente manera, tomando en cuenta que la humedad relativa para la semana de registro de datos fue de 78,86%, con esto se calcula de la siguiente manera:

$$R_t = \frac{(20,89 - 3,2) * 0,12}{20,89 - 16,5} * 1,05 = 0,51 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Para contrarrestar la información se calculará la resistencia térmica total de la estructura compuesta por dos planchas de poliestireno expandido y el cuerpo intermedio de bandejas de huevo, de acuerdo al siguiente criterio:

$$R_t = R_{si} + \sum R_p + R_{se}$$

Al sumar las resistencias parciales de los elementos se tiene lo siguiente:

Resistencia térmica de la plancha de poliestireno expandido de 10 mm de espesor:

$$R_{\text{poliestireno 10 mm}} = \frac{0,01}{0,043} = 0,23 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Cabe señalar que son dos planchas, por lo tanto:

$$R_{\text{poliestireno 10 mm}} = \left(\frac{0,01}{0,043}\right) * 2 = 0,46 \text{ m}^2\text{C/W}$$

La resistencia térmica de la bandeja de huevos, se calcula y se obtiene lo siguiente:

$$R_{\text{bandejas de huevo}} = \frac{0,003}{0,25} = 0,012 \text{ m}^2\text{C/W}$$

La resistencia térmica de la cámara de aire de entre la bandeja de huevos, se considera al igual que la anterior como $0,16 \text{ m}^2\text{C/W}$

Por último se calcula la resistencia térmica del ladrillo:

$$R_{\text{ladrillo}} = \frac{0,14}{0,46} = 0,304 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Al aplicar la ecuación (2), se obtiene:

$$R_t = 0,12 + 0,94 + 0,05 = 1,10 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Comparando los resultados, se puede demostrar que la plancha confeccionada, al aplicar en el muro de la envolvente disminuye el riesgo de condensación, ya que casi dobla la resistencia mínima requerida para prevenir el riesgo de condensación en el recinto.

Tomando en cuenta las temperaturas registradas en el horario de las 18:30 horas, se esquematiza el perfil de temperaturas de acuerdo a las resistencias térmicas parciales de los componentes de la estructura, según el cálculo de pérdida de temperaturas de acuerdo al paso por las diferentes capas del elemento.

Punto 1:

$$\Delta 1 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,12}{1,10}\right) = 0,86^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (20,89 - 0,86) = 20,02^\circ\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,046}{1,10}\right) = 0,33^{\circ}C$$

$$T2 = (19,89 - 0,33) = 19,56^{\circ}C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,65^{\circ}C$$

$$T3 = 19,51 - 1,65 = 17,86^{\circ}C$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,012}{1,10}\right) = 0,08^{\circ}C$$

$$T4 = 17,86 - 0,08 = 17,78^{\circ}C$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,163}{1,10}\right) = 1,17^{\circ}C$$

$$T5 = 17,78 - 1,17 = 16,61^{\circ}C$$

Punto 6:

$$\Delta 6 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,65^{\circ}C$$

$$T6 = 16,61 - 1,65 = 14,96^{\circ}C$$

Punto 7:

$$\Delta 7 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,304}{1,10}\right) = 2,18^{\circ}C$$

$$T7 = 14,96 - 2,18 = 12,78^{\circ}C$$

Punto 8:

$$\Delta 8 = (20,89 - 13,00) * \left(\frac{0,05}{1,10}\right) = 0,36^{\circ}C$$

$$T8 = 12,78 - 0,36 = 12,42^{\circ}C$$

Lo anterior se expresa según la siguiente figura 4.18

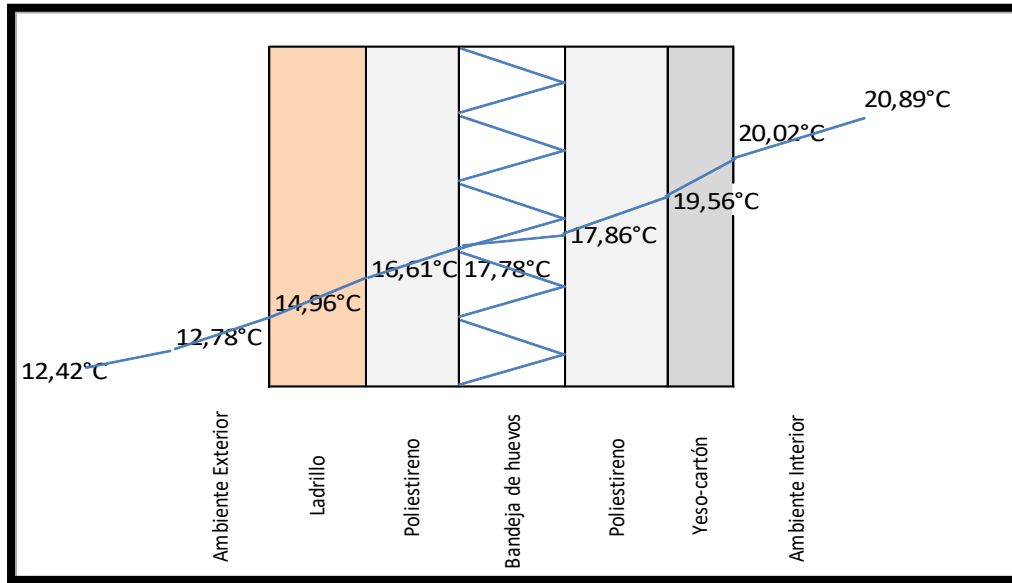


Fig 4.18 Perfil de temperaturas Muro Oriente según cálculo Nch 1973 of 1987.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación del muro norte se presenta de acuerdo a la figura 4.19.

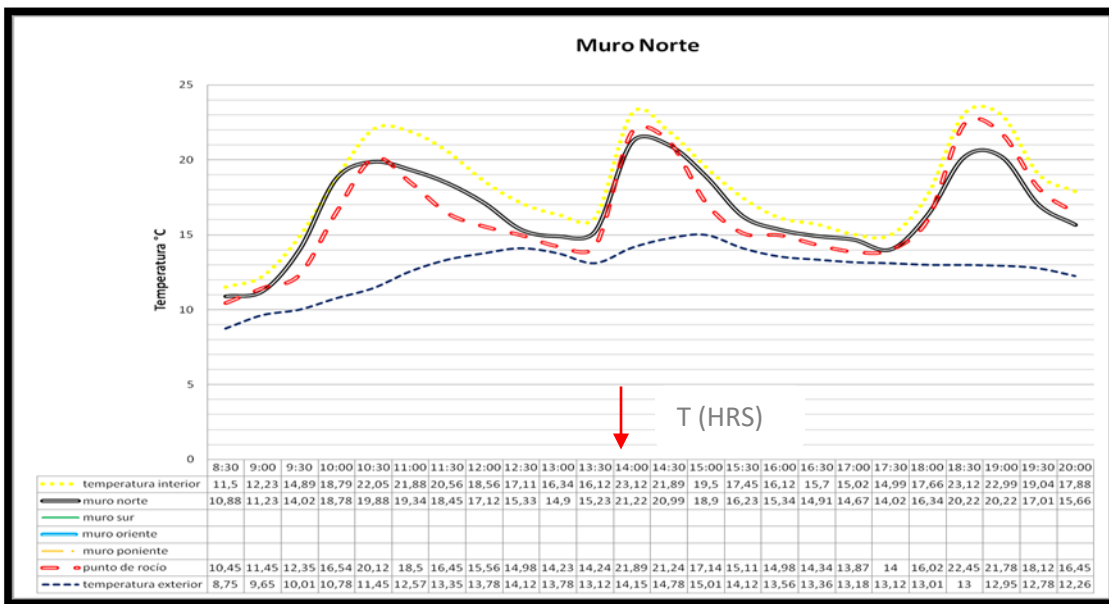


Fig 4.19 Temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial para el muro Norte.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede apreciar que en los momentos de mayor emisión de vapor de agua, al contrario de la solución con cámara de aire, la diferencia de temperaturas es menor, por ejemplo en el horario de las 10:30 horas, se aprecia que la temperatura superficial del muro fue de 19,88°C y la temperatura de punto de rocío fue de 20,12°C, por lo que la diferencia de temperatura fue de 0,24°C, al contrario de la diferencia en el horario de las 18:30 horas, donde la temperatura superficial del muro fue de 20,22°C y la temperatura de punto de rocío fue de 22,45°C, produciéndose una diferencia de 2,23°C, ahí se puede evidenciar un incremento en la presencia de condensación en el recinto. El momento de mayor temperatura superficial en el muro fue a las 14:00 horas, en donde se registró una temperatura de 21,22°C. Se puede destacar que los momentos de condensación en el recinto al tomar el tiempo se pueden cuantificar en 3,5 horas, al contrario de la solución con cámara de aire, en donde se cuantifica en 6,5 horas. Se infiere que la presencia de un sistema de aislamiento compuesto por poliestireno expandido reduce en mayor parte el riesgo de condensación superficial en el recinto.

Al igual que el muro Oriente, se calcula la resistencia mínima requerida para evitar el fenómeno de la condensación en el recinto. Se define lo siguiente:

$$R_t = \frac{(21,22 - 3,2) * 0,12}{21,22 - 17} * 1,05 = 0,54 \text{ m}^2\text{C/W}$$

De acuerdo a lo calculado para la resistencia térmica total de la estructura se tiene:

$$R_t = 0,12 + 0,77 + 0,05 = 0,94 \text{ m}^2\text{C/W}$$

De los datos anteriores se concluye que la resistencia térmica total según cálculo basado en la Nch 1973 of 1987 v/s la resistencia térmica calculada de acuerdo a las diferentes resistencias térmicas parciales de la estructura, se puede decir que no se presenta el fenómeno de condensación en el muro de la vivienda.

El perfil de temperaturas del muro Norte producido en el horario de mayor temperatura superficial y la diferencia de temperaturas en los diferentes elementos componentes de la estructura se calcula de la siguiente forma:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,12}{1,10}\right) = 0,77^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (21,22 - 0,77) = 20,45^\circ\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,046}{1,10}\right) = 0,30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = (20,45 - 0,30) = 20,15^\circ\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,48^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 20,15 - 1,48 = 18,67^\circ\text{C}$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,012}{1,10}\right) = 0,08^{\circ}\text{C}$$

$$T4 = 18,67 - 0,08 = 18,59^{\circ}\text{C}$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,163}{1,10}\right) = 1,05^{\circ}\text{C}$$

$$T5 = 18,59 - 1,05 = 17,54^{\circ}\text{C}$$

Punto 6:

$$\Delta 6 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,48^{\circ}\text{C}$$

$$T6 = 17,54 - 1,48 = 16,06^{\circ}\text{C}$$

Punto 7:

$$\Delta 7 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,304}{1,10}\right)$$

$$T7 = 16,06 - 1,95 = 14,11^{\circ}\text{C}$$

Punto 8:

$$\Delta 8 = (21,22 - 14,15) * \left(\frac{0,05}{1,10}\right) = 0,32^{\circ}\text{C}$$

$$T8 = 14,11 - 0,32 = 13,78^{\circ}\text{C}$$

Lo anterior se grafica en la figura 4.20.

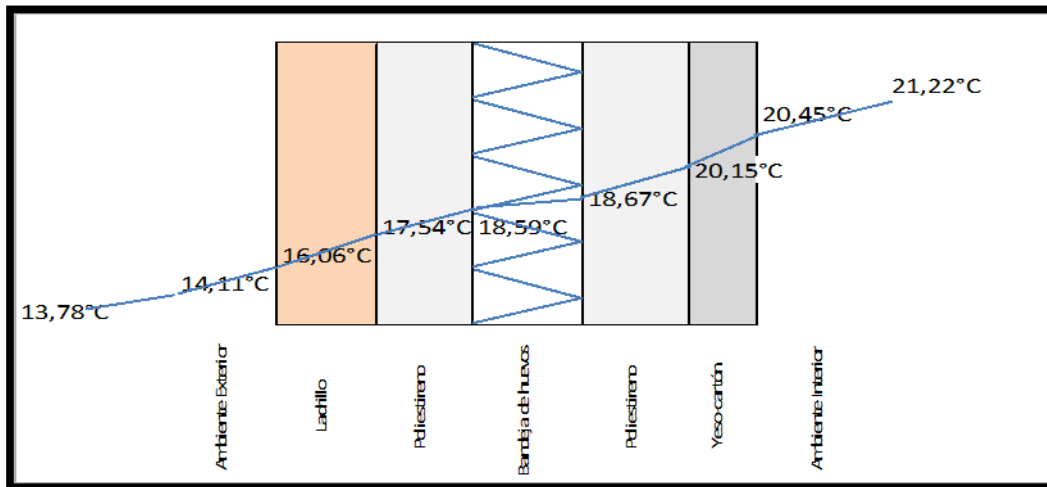


Fig.4.20 Perfil de temperaturas en muro Norte.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación del muro Sur se expone en el siguiente grafico 4.21.

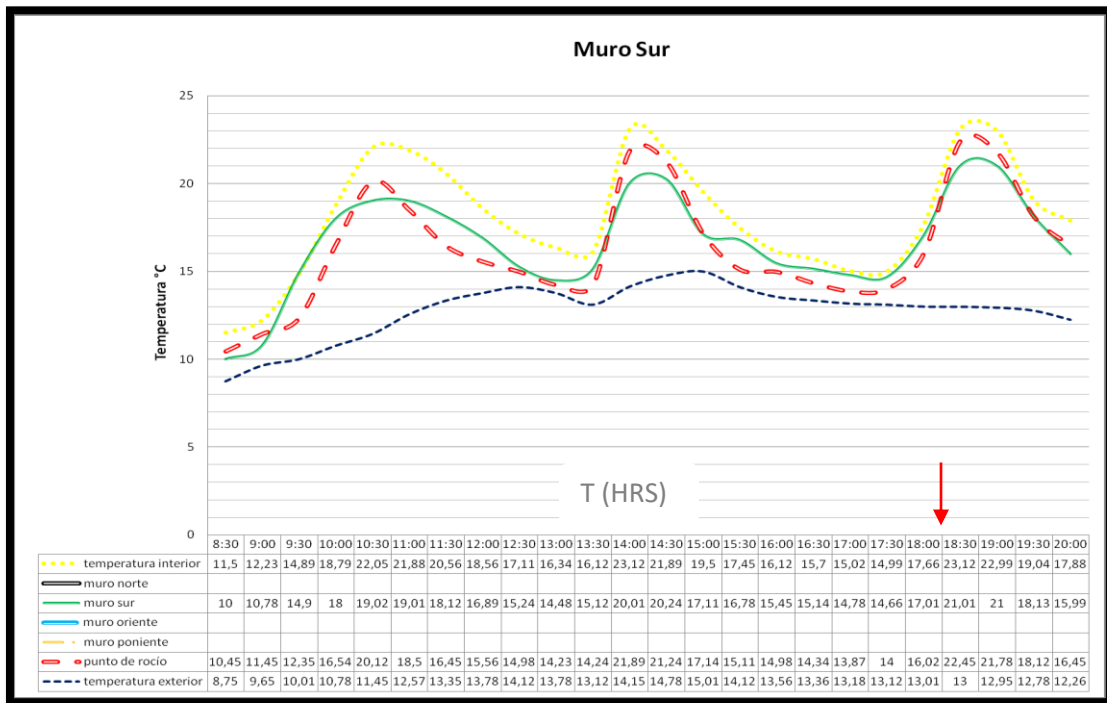


Fig. 4.21. Temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial para el muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto se puede visualizar al igual que en las experiencias anteriores la presencia del fenómeno de condensación superficial en los momentos en donde se forzan las condiciones naturales del interior del recinto, se aprecia una temperatura máxima en el muro de 21,01°C a las 18:30 horas, la temperatura del punto de rocío en ese momento alcanzó los 22,45°C, por lo que se evidencia condensación superficial en el muro. Al igual que en el momento anterior durante los dos momentos previos se aprecian las mismas características enunciadas respecto del horario anterior.

Respecto de la temperatura superficial interior del ambiente se puede decir que llegó a los 23,12°C a las 14:00 horas, lo contrario se produce en el horario de las 17:30 horas, en donde alcanzó los 14,99°C. se puede mencionar que la diferencia entre la temperatura superficial interior del recinto frente a la temperatura exterior tuvo una diferencia de 10,04°C y se produjo en el horario de las 19:00 horas.

Calculando el tiempo en que se realizó el registro de datos se puede decir que la presencia de condensación forzada se produce durante aproximadamente 5 horas de un total de 12 horas de registro de datos. Al contrario del muro norte, este muro incrementa el fenómeno de 3,5 horas a las 5 horas mencionadas anteriormente.

Para determinar la presencia del fenómeno de la condensación en el recinto, se toma la temperatura mayor registrada y que corresponde a la temperatura del horario de las 18:30 horas, en donde se alcanzan los 21,01°C. Con este dato más la temperatura más fría registrada para el año en

donde se ubica la vivienda y que corresponde al mes de Julio en donde se registró una temperatura mínima de 3,2°C. Para realizar los cálculos se registra también que la humedad relativa para la semana de toma de datos fue de 78,86%. Con estos datos y según la Nch 1973 se tiene lo siguiente:

$$R_t = \frac{(21,01 - 3,2) * 0,12}{21,01 - 17} * 1,05 = 0,56 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

Según la Nch 1973, cuando la temperatura del recinto supera los 20°C, se debe considerar un aumento del 5% en la resistencia, con lo que se tiene que la resistencia total mínima requerida es de:

$$R_t = \frac{(21,01 - 3,2) * 0,12}{21,01 - 17} = 0,53 \text{ m}^2 \frac{\text{C}}{\text{W}} * 1,05 = 0,56^\circ\text{C}$$

Retomando los cálculos de las resistencias parciales de los elementos componentes de la estructura aislante se puede decir que la resistencia total del elemento es de:

$$R_t = 0,94 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

Al comparar los valores de los cálculos se puede decir que:

$$R_{\text{elemento}} > R_{\text{mínima}}$$

Por lo tanto se concluye que en condiciones normales de uso no se estaría en presencia del fenómeno de la condensación superficial.

Tomando los datos de las temperaturas registradas en el horario de las 18:30 horas, se calculan las diferentes diferencias de temperaturas en las capas del elemento:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,12}{1,10}\right) = 0,87^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (21,01 - 0,87) = 20,14^\circ\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,046}{1,10}\right) = 0,33^\circ\text{C}$$

$$T_2 = (20,14 - 0,33) = 19,81^\circ\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,67^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 19,81 - 1,67 = 18,14^\circ\text{C}$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,012}{1,10}\right) = 0,08^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 18,14 - 0,08 = 18,05^\circ\text{C}$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,163}{1,10}\right) = 1,19^{\circ}\text{C}$$

$$T5 = 18,05 - 1,19 = 16,86^{\circ}\text{C}$$

Punto 6:

$$\Delta 6 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,67^{\circ}\text{C}$$

$$T6 = 16,86 - 1,67 = 15,19^{\circ}\text{C}$$

Punto 7:

$$\Delta 7 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,304}{1,10}\right) = 2,21^{\circ}\text{C}$$

$$T7 = 15,19 - 2,21 = 12,98^{\circ}\text{C}$$

Punto 8:

$$\Delta 8 = (21,01 - 13,00) * \left(\frac{0,05}{1,10}\right) = 0,36^{\circ}\text{C}$$

$$T8 = 12,98 - 0,36 = 12,62^{\circ}\text{C}$$

Lo anterior se grafica en la figura 4.22.

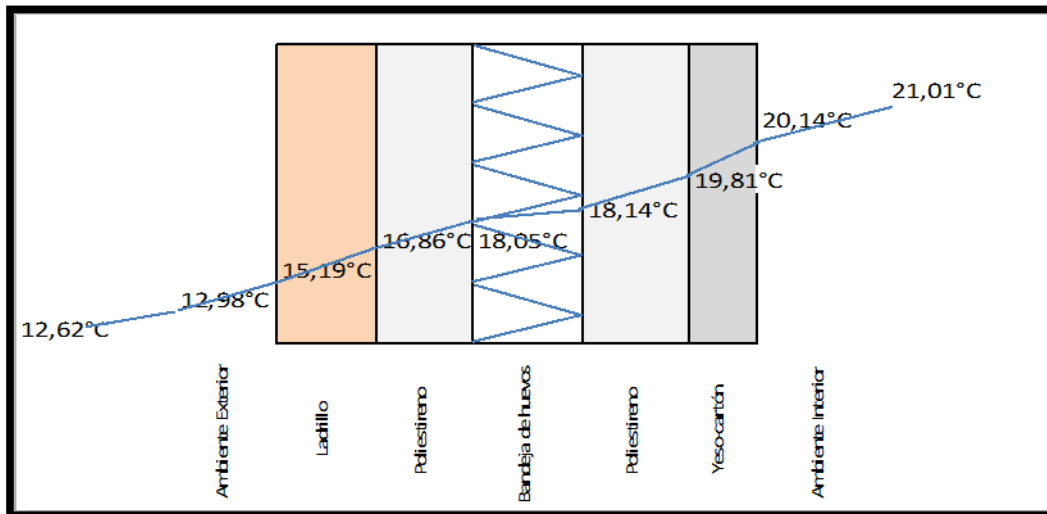


Fig 4.22. Perfil de temperaturas superficiales en muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Por último se grafica el muro Poniente con la aislación de Poliestireno Expandido con bandejas de huevos.

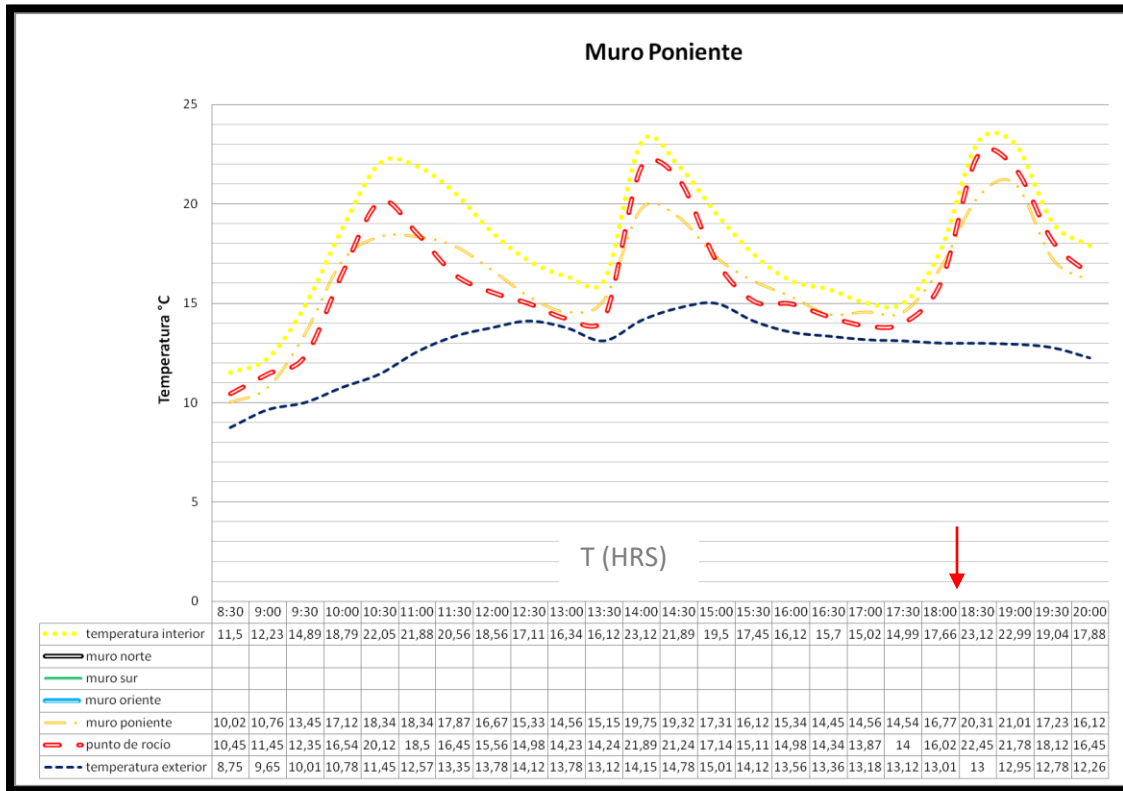


Fig. 4.23. Temperatura superficial interior, temperatura de punto de rocío, temperatura exterior y temperatura superficial interior del muro Poniente.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede apreciar que el fenómeno de la condensación superficial afecta con mayor fuerza en el horario de las 18:30 horas, en donde se alcanza una temperatura de 22,45°C, superando en 2,14°C la temperatura superficial del muro poniente.

La menor temperatura registrada en el muro es la del inicio de la toma de datos, a las 8:30 horas, y alcanzó los 10,02°C, llegando a alcanzar los 21,01°C a las 18:30 horas. Se evidencian al igual que en los muros anteriores que las situaciones forzadas de emisión de vapor de agua, incrementan la aparición del fenómeno, aumentando las temperaturas, en donde la temperatura de punto de rocío iguala y supera la temperatura del muro superficial.

De acuerdo a lo enunciado por la Norma Chilena 1973, para evitar el fenómeno de condensación superficial se debe calcular la resistencia mínima requerida; si reemplazamos los datos a la hora de la condición de evaporación, se tiene lo siguiente:

$$R_{t18:30hrs} = \frac{(21,01 - 10,02) * 0,12}{21,01 - 17} = 0,33 \text{ m}^2\text{C/W}$$

De acuerdo a lo enunciado por la Norma Chilena y que indica como valor de temperatura mínima, la registrada en el año de la investigación, se tiene lo siguiente:

$$R_t = \frac{(21,01 - 3,2) * 0,12}{21,01 - 17} * 1,05 = 0,56 m^2 C/W$$

Lo anterior ejemplifica de manera analítica lo expuesto en el gráfico, en donde se evidencia que se está frente a condensación superficial en el recinto.

Tomando en cuenta el dato anterior de resistencia térmica total mínima requerida, y comparando con la resistencia térmica total del elemento se tiene lo siguiente:

$$R_t = 0,94 m^2 C/W$$

De lo anterior se puede destacar que en condiciones normales de temperaturas en el recinto, no se estaría en presencia de condensación superficial en el muro estudiado.

La diferencia de temperaturas en el horario de mayor registro es la que se define en la estructura calculando los cambios térmicos en las diferentes capas de la estructura. Se tiene lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,12}{1,10}\right) = 0,88^\circ C$$

$$T1 = (21,01 - 0,88) = 20,13^\circ C$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,046}{1,10}\right) = 0,34^\circ C$$

$$T2 = (20,13 - 0,34) = 19,79^\circ C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,78^\circ C$$

$$T3 = 19,79 - 1,78 = 18,01^\circ C$$

Punto 4:

$$\Delta 4 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,012}{1,10}\right) = 0,08^\circ C$$

$$T4 = 18,01 - 0,08 = 17,92^\circ C$$

Punto 5:

$$\Delta 5 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,163}{1,10}\right) = 1,19^\circ C$$

$$T5 = 17,92 - 1,19 = 16,73^\circ C$$

Punto 6:

$$\Delta 6 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,23}{1,10}\right) = 1,69^\circ C$$

$$T6 = 16,73 - 1,69 = 14,94^{\circ}\text{C}$$

Punto 7:

$$\Delta 7 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,304}{1,10}\right) = 2,23^{\circ}\text{C}$$

$$T7 = 14,94 - 2,23 = 12,71^{\circ}\text{C}$$

Punto 8:

$$\Delta 8 = (21,01 - 12,95) * \left(\frac{0,05}{1,10}\right) = 0,37^{\circ}\text{C}$$

$$T8 = 12,71 - 0,37 = 12,34^{\circ}\text{C}$$

Lo anterior queda graficado de la siguiente manera:

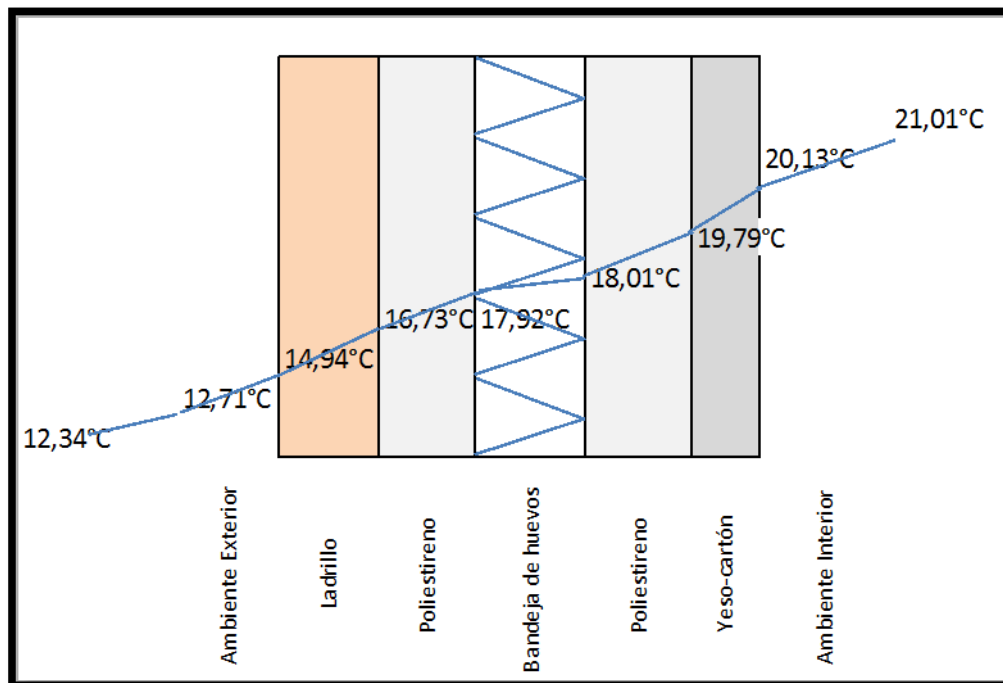


Fig. 4.24. Perfil de temperaturas en muro poniente.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla 4.4 se exponen los valores de resistencia térmica total para cada muro, de acuerdo a lo que estipula Norma y de acuerdo a los valores entregados en el registro de datos.

Tabla 4.4 registro de Resistencias térmicas de los muros con la aislación de poliestireno expandido y bandejas de huevos.

Muro	Rt según Nch 1973 (m ² C/W)	Rt del elemento (m ² C/W)
Oriente	0,51	1,10
Norte	0,54	1,10
Sur	0,56	1,10
Poniente	0,56	1,10

Fuente: Elaboración propia.

Al revisar la tabla anterior se puede decir que el riesgo inminente de condensación superficial se elimina al incorporar un sistema de aislación compuesto por poliestireno más placa de yeso-cartón, se aprecia también que se mejora en un 28% el rendimiento de la resistencia térmica en los muros de la envolvente respecto al sistema de la cámara de aire. Se observa también que el comportamiento de los muros varía en un 5,6% de acuerdo a la mayor diferencia de Rt según Nch 1973. Estos valores claramente son diferentes debido a las temperaturas que se registraron en la vivienda en la semana que se tomaron los datos, donde se registraron las siguientes temperaturas máximas y mínimas superficiales en los muros con la solución de aislación implementada.

C).Sin sistema de aislación en la envolvente.

De acuerdo al procedimiento de trabajo se registran los datos de la envolvente térmica sin sistema de aislación. Se visualiza el promedio semanal de toma de datos en la siguiente figura 4.25

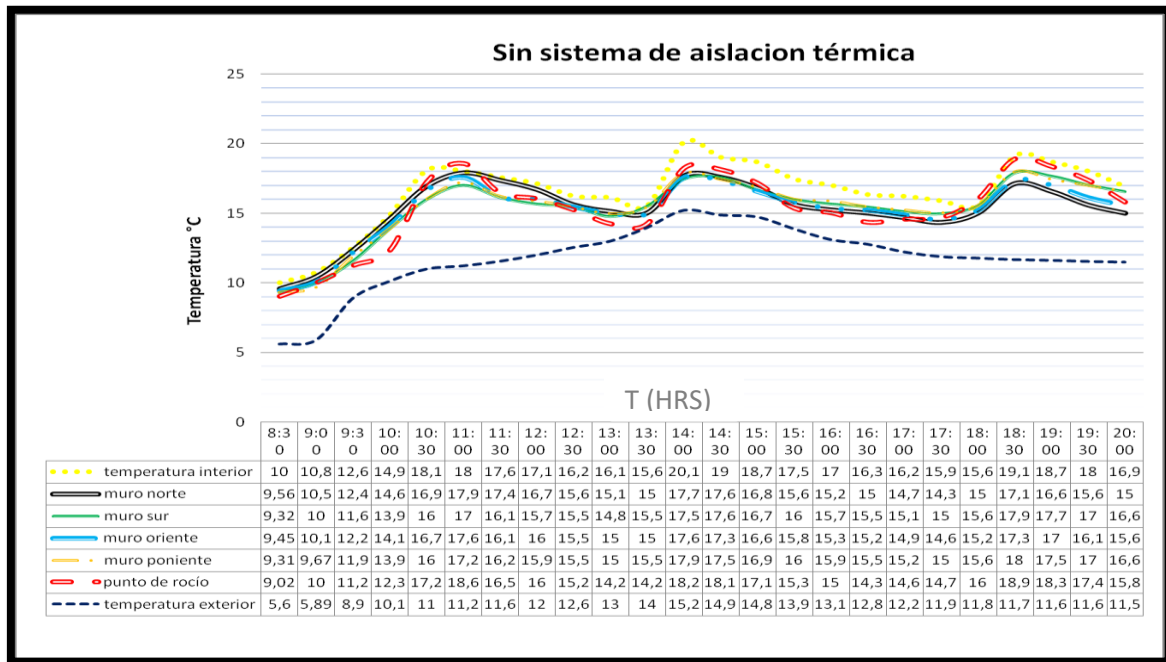


Fig. 4.25 .Promedio semanal de las temperaturas superficiales interiores de los muros de la envolvente de la vivienda, temperatura superficial interior del ambiente, temperatura del punto de rocío, sin sistema de aislación térmica; datos obtenidos en la semana del 10 al 14 de Noviembre de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura que se producen temperaturas superficiales similares en los muros, con una menor diferencia entre éstas y la temperatura exterior del ambiente, la cual promedió los 11,7°C en el transcurso del día.

Al igual que en las dos experiencias anteriores se aprecian los tres momentos con las mayores alzas de temperaturas, en donde se produjeron condiciones extremas de producción de vapor de agua en el interior de la vivienda.

Para un análisis más profundo, al igual que en las configuraciones anteriores, se analiza por separado el comportamiento de cada uno de los muros. En cada uno de los muros se calcula la resistencia térmica total mínima requerida para que el recinto no produzca condensación superficial en las paredes del determinado muro, pero también se calcula la resistencia térmica total del elemento componente del sistema de aislación térmica empleado.

Se comienza el análisis con el muro Oriente de la vivienda, de acuerdo a lo que entrega la siguiente figura 4.26

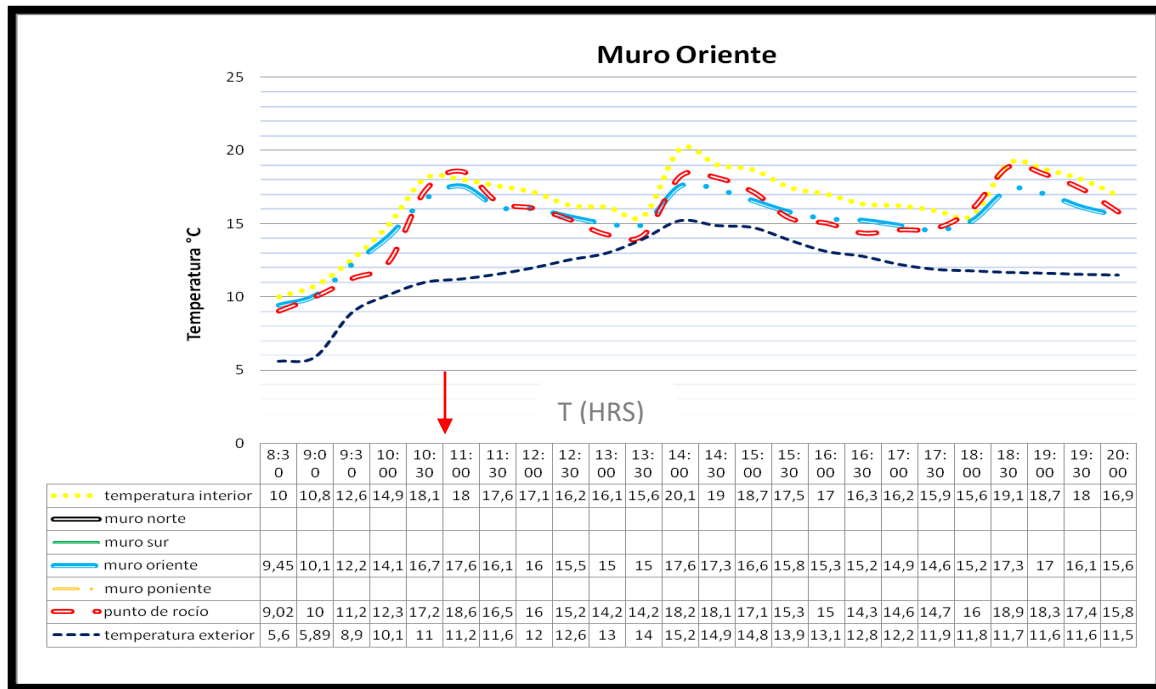


Fig. 4.26 Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Oriente.

Fuente: Elaboración propia.

El muro Oriente de la vivienda sin sistema de aislación térmica presentó una temperatura superficial mínima de 9,45°C que fue en el inicio del registro de datos de la semana en cuestión, la máxima temperatura registrada fue de 17,58°C y se manifestó en el muro a las 11:00 horas. En el transcurso del día la temperatura superficial del muro disminuyó llegando a los 14,88°C a las 16:00 horas, cabe señalar que la temperatura exterior registrada en el horario de las 13:30 horas fue de 13,99°C y la superficial del muro fue de 14,98°C, produciéndose una diferencia de casi 1°C.

De acuerdo a la resistencia térmica de la vivienda sin solución térmica, se puede decir que la resistencia térmica total del elemento perimetral se da con el siguiente cálculo:

$$R_t = R_{si} + \sum R_p + R_{se}$$

Reemplazando los valores se tiene lo siguiente:

$$R_{telemento} = 0,12 + 0,30 + 0,05 = 0,47m^2C/W$$

La resistencia térmica total mínima requerida para que la vivienda no funcione de acuerdo a la Nch 1973 se define de acuerdo a lo siguiente:

$$R_t = \frac{(17,58 - 3,2) * 0,12}{17,58 - 15} = 0,66m^2C/W$$

Por lo que se tiene que:

$$R_{\text{elemento}} < R_{\text{segun Nch}}$$

De lo anterior se puede decir que se está en presencia de condensación en el recinto, al ser menor la resistencia térmica del elemento en relación con la resistencia térmica total del elemento de acuerdo a la Nch 853. La diferencia de temperaturas en el horario de mayor registro es la que se define en la estructura calculando los cambios térmicos en las diferentes capas de la estructura. Se tiene lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (17,58 - 11,53) * \left(\frac{0,12}{0,47}\right) = 1,54^{\circ}\text{C}$$

$$T1 = (17,58 - 1,54) = 16,04^{\circ}\text{C}$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (17,58 - 11,53) * \left(\frac{0,304}{0,47}\right) = 3,91^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = (16,04 - 3,91) = 12,12^{\circ}\text{C}$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (17,58 - 11,53) * \left(\frac{0,05}{0,47}\right) = 0,64^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = 12,12 - 0,64 = 11,47^{\circ}\text{C}$$

Lo anterior se grafica y se expone la figura 4.27.

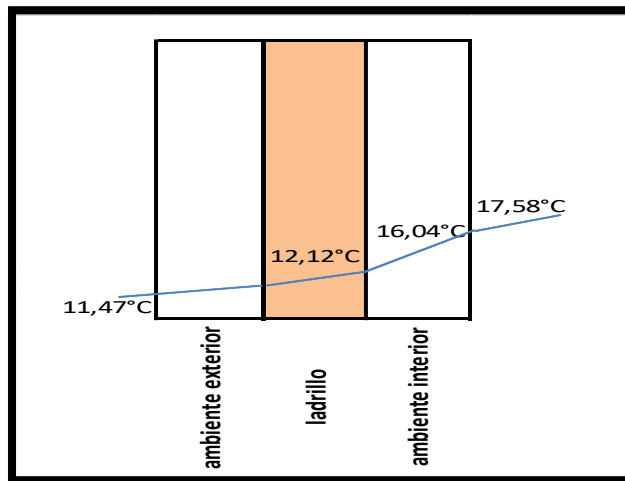


Fig.4.27. Perfil de temperaturas en muro Oriente.

Fuente: Elaboración propia.

El muro que se grafica es el muro Norte, el cual presenta el comportamiento de la figura 4.28.

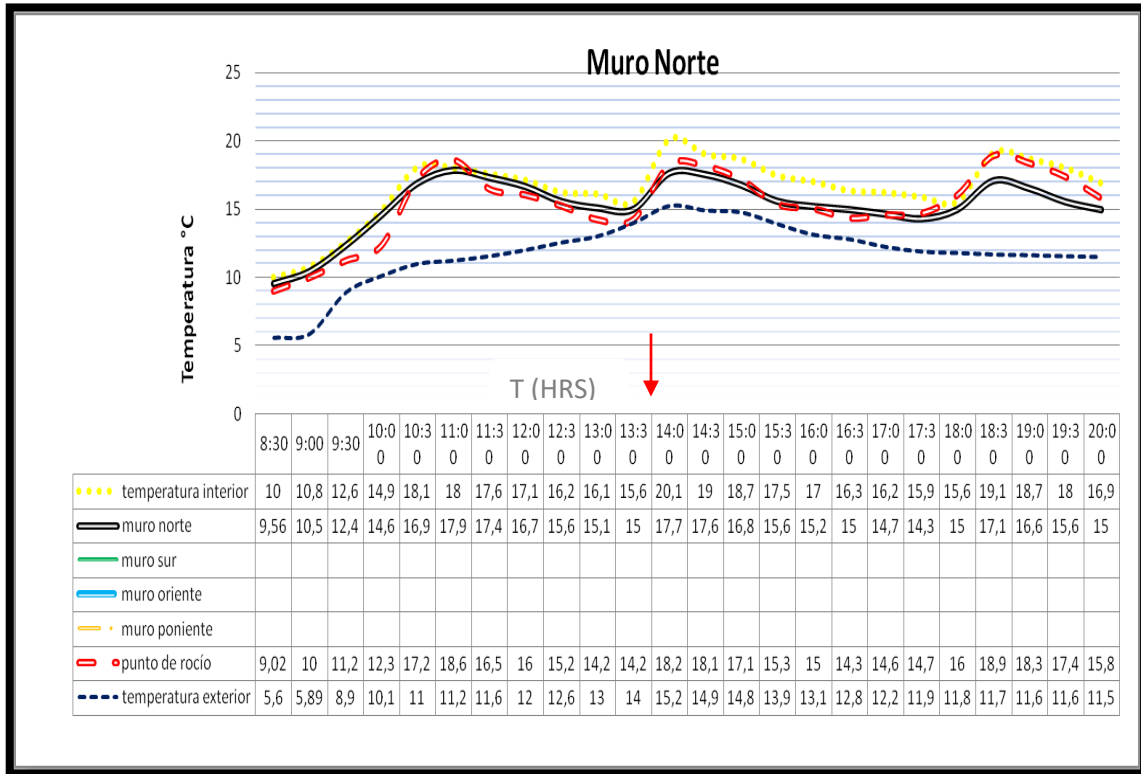


Fig. 4.28. Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Norte.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar al igual que en los muros de las diferentes configuraciones los tres mayores momentos de elevación de temperatura producto de las condiciones forzadas de emisión de vapor de agua. El muro norte tuvo una temperatura superficial máxima de 17,89°C en el horario de las 11:00 horas, al contrario de esta temperatura, la mínima superficial fue de 9,56°C y se registró al comienzo del registro de datos en la semana.

La temperatura superficial interior tuvo su mayor registro a las 14:00 horas y llegó a los 20,12°C, en ese momento la temperatura del punto de rocío fue de 18,23°C, en ese instante preciso no se presentaron problemas de aparición de problemas de condensación superficial en el muro, al contrario del horario de las 18:30 horas en donde la temperatura de punto de rocío superó en 1,8°C la temperatura superficial del muro.

Para efectos del cálculo de la resistencia térmica total del elemento tenemos que la estructura sin sistema de aislación posee una resistencia térmica total igual a:

$$R_{\text{elemento}} = 0,12 + 0,30 + 0,05 = 0,47 \text{m}^2\text{C}/\text{W}$$

La Norma Chilena establece el método de cálculo para poner el límite de la resistencia térmica de un ambiente en evidente presencia de condensación superficial, la metodología de cálculo se expone como:

$$R_t = \frac{(17,89 - 3,2) * 0,12}{17,89 - 15,5} = 0,74m^2C/W$$

Al tener ambos resultados se concluye al igual que el muro Oriente que se está en presencia de riesgo de condensación superficial en el recinto. Lo anterior se traduce en:

$$R_{telemento} < R_{tsegun Nch}$$

La resistencia térmica total mínima del elemento requerida por Norma Chilena, se obtiene con la temperatura exterior mínima para el año en que se efectúa el ensayo, en este caso el mes de Julio registró la menor temperatura del año 2014, registrándose 3,2°C según los datos entregados por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Para ejemplificar de mejor manera la diferencia de temperaturas entre un ambiente y el otro se presenta el perfil de temperaturas, el cual muestra de manera gráfica el descenso de las temperaturas cuando pasa por los elementos constructivos desde un ambiente a otro.

El perfil de temperaturas en el momento de mayor alza de temperatura en el muro se calcula de la siguiente manera:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,12}{0,47}\right) = 1,59^{\circ}C$$

$$T1 = (17,89 - 1,59) = 16,30^{\circ}C$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,304}{0,47}\right) = 4,02^{\circ}C$$

$$T2 = (16,30 - 4,02) = 12,28^{\circ}C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,05}{0,47}\right) = 0,66^{\circ}C$$

$$T3 = 12,28 - 0,66 = 11,62^{\circ}C$$

De lo anterior se puede decir que se produce un descenso de 6,2°C en el trayecto de un ambiente a otro de los elementos componentes de la estructura.

Lo anterior se grafica y se expone la figura 4.29.

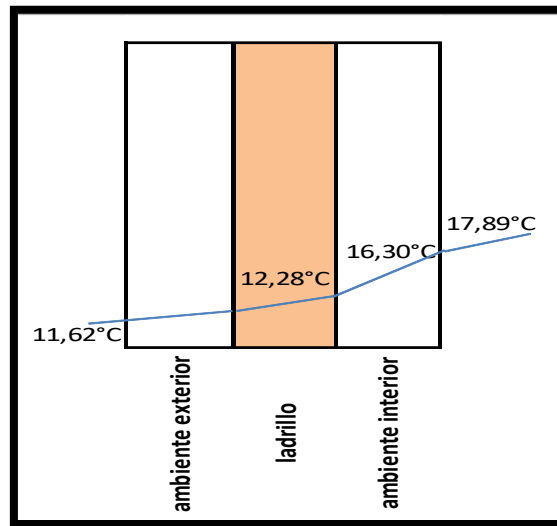


Fig. 4.29. Perfil de temperaturas en muro Norte.

Fuente: Elaboración propia.

El muro siguiente a definir es el muro Sur, el cual se presenta en la siguiente figura 4.30.

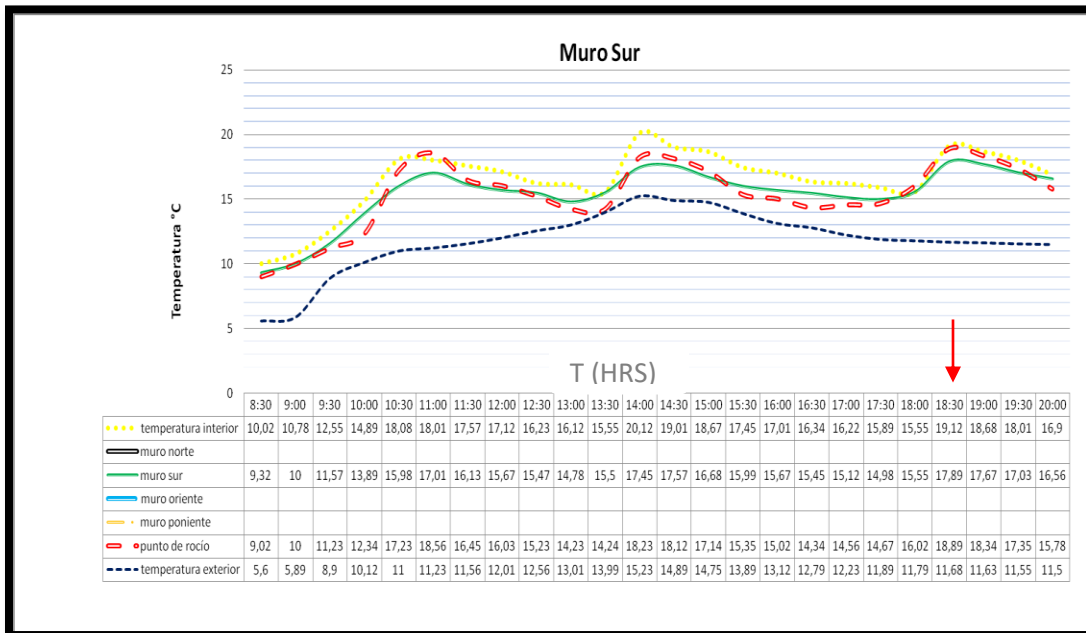


Fig. 4.30. Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

El muro Sur presentó una temperatura superficial interior promedio de 15,37°C, teniendo su mayor alza en el horario de las 18:30 horas alcanzando los 17,89°C, al contrario de este valor, la temperatura más baja fue de 9,32°C a las 8:30 horas y que coincide con el comienzo de la toma de datos.

Para corroborar la información y saber si se está en riesgo de condensación superficial en el muro en cuestión según la Nch 1973 se tiene lo siguiente:

$$R_t = \frac{(17,89 - 3,2) * 0,12}{17,89 - 15,5} = 0,74m^2C/W$$

La resistencia del elemento se define de acuerdo a lo establecido por la Nch 853 of 2007, en donde se define la resistencia de un elemento de la siguiente manera:

$$R_{elemento} = 0,12 + 0,30 + 0,05 = 0,47m^2C/W$$

De acuerdo a lo anterior se puede decir que el muro Sur presenta riesgo eventual de condensación superficial al presentar una resistencia térmica total de la estructura menor a la resistencia térmica total mínima requerida por Normativa para evitar el riesgo de condensación en la envolvente de la vivienda. De lo anterior se concluye que:

$$R_{elemento} = 0,47m^2C/W < R_t \text{ segun Nch} = 0,74 m^2C/W$$

El perfil de temperaturas del muro Sur se calcula y se grafica según lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,12}{0,47}\right) = 1,59^{\circ}C$$

$$T1 = (17,89 - 1,59) = 16,30^{\circ}C$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,304}{0,47}\right) = 4,02^{\circ}C$$

$$T2 = (16,30 - 4,02) = 12,28^{\circ}C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (17,89 - 11,68) * \left(\frac{0,05}{0,47}\right) = 0,66^{\circ}C$$

$$T3 = 12,28 - 0,66 = 11,62^{\circ}C$$

De lo anterior se obtiene gráficamente el siguiente perfil de temperaturas según la figura 4.31.

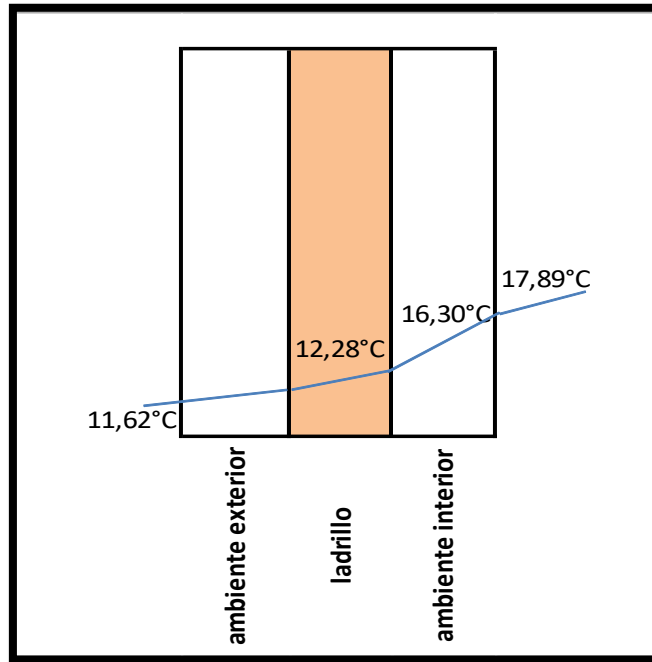


Fig 4.31 Perfil de temperaturas muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

4.32. Queda por último y para finalizar el análisis el muro Poniente, el cual se grafica en la figura

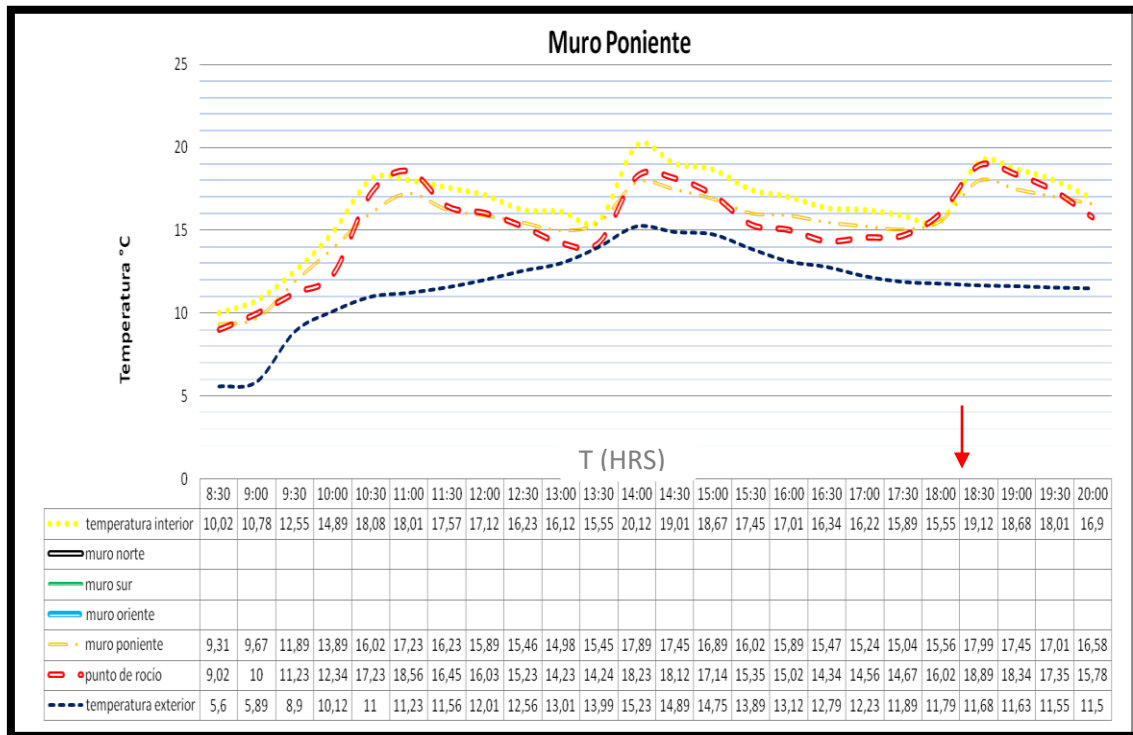


Fig 4.32. Gráfico promedio de temperatura superficial interior, temperatura exterior, temperatura de punto de rocío y temperatura superficial muro Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Del muro poniente se puede mencionar que tuvo al igual que toda la experiencia realizada un alza significativa de las temperaturas interiores en el recinto en los momentos de mayor emisión de vapor de agua. Se puede mencionar que la máxima temperatura registrada en el muro fue de alrededor de los 17,99°C y se registró a las 18:30 horas, en ese momento la temperatura exterior bordeaba los 11,68°C, lo que se traduce en una diferencia de alrededor de 6,3°C entre un ambiente y otro. Otro dato que se puede describir es que en el mayor momento de emisión de vapor de agua la temperatura de punto de rocío alcanzó los 18,89°C lo que produce una diferencia de 0,9°C entre la temperatura superficial del muro en cuestión y la temperatura de rocío del ambiente.

De acuerdo al criterio dispuesto por la Nch 1973 para el cálculo preventivo de condensaciones superficiales se tiene que:

$$R_t = \frac{(17,99 - 3,2) * 0,12}{17,99 - 15,45} = 0,69m^2C/W$$

Retomando el cálculo realizado para determinar la resistencia térmica total de la estructura se tiene que:

$$R_{telemento} = 0,12 + 0,30 + 0,05 = 0,47m^2C/W$$

Al ver los datos anteriores se puede demostrar que el recinto presenta riesgo eventual de evidenciar problemas de condensación en los muros de la envolvente, al presentar en los muros anteriores la misma condición.

El perfil de temperaturas de acuerdo al horario de mayor temperatura superficial en el muro se calcula y se tiene lo siguiente:

Punto 1:

$$\Delta 1 = (17,99 - 11,68) * \left(\frac{0,12}{0,47}\right) = 1,61^{\circ}C$$

$$T1 = (17,99 - 1,61) = 16,38^{\circ}C$$

Punto 2:

$$\Delta 2 = (17,99 - 11,68) * \left(\frac{0,304}{0,47}\right) = 4,08^{\circ}C$$

$$T2 = (16,38 - 4,08) = 12,30^{\circ}C$$

Punto 3:

$$\Delta 3 = (17,99 - 11,68) * \left(\frac{0,05}{0,47}\right) = 0,67^{\circ}C$$

$$T3 = 12,30 - 0,67 = 11,63^{\circ}C$$

Lo anterior se grafica y se tiene el siguiente perfil de temperaturas en la estructura de acuerdo a la figura 4.33.

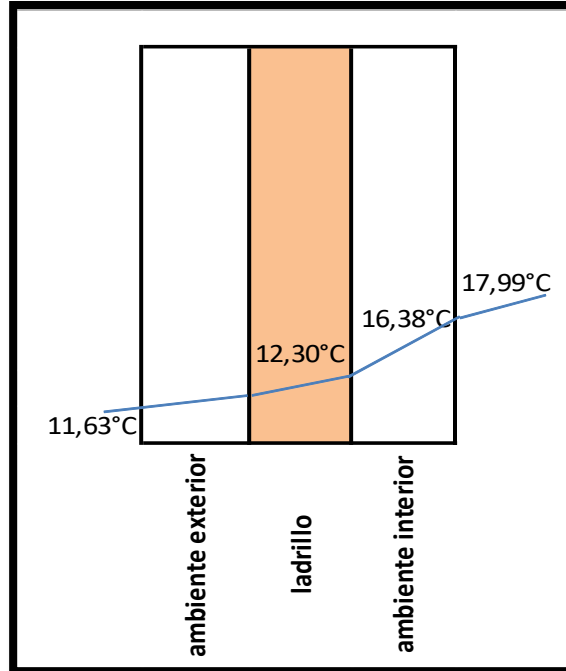


Fig. 4.33 Perfil de temperaturas en muro Poniente.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos tomados para esta configuración se presenta la tabla 4.5 la cual contiene las resistencias térmicas de cada muro de acuerdo a criterio de Nch y de acuerdo a la estructura en sí.

Tabla 4.5 registro de Resistencias térmicas de los muros sin sistema de aislación térmica.

Muro	Rt según Nch 1973 (m ² °C/W)	Rt del elemento (m ² °C/W)
Oriente	0,66	0,47
Norte	0,74	0,47
Sur	0,74	0,47
Poniente	0,69	0,47

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior se puede decir que el muro que presentó una menor resistencia térmica de acuerdo a lo estipulado por la Nch 1973 es el muro norte, el cual registró una resistencia térmica de 0,66 m²°C/W, influenciado evidentemente por la temperatura máxima registrada, la cual

llegó a los 17,58°C, siendo la menor temperatura registrada en los muros de la envolvente sin sistema de aislación térmica.

Para exponer cada uno de los datos registrados se expone la tabla 4.6, la cual expone cada una de las temperaturas promedio registradas en los muros, más sus respectivas resistencias térmicas, de acuerdo al cálculo según Norma y según las capas componentes del material.

Tabla 4.6. Resumen de registro de datos en módulo vivienda social.

RESUMEN DE DATOS EN MUROS DE LA ENVOLVENTE TERMICA VIVIENDA SOCIAL									
SISTEMA DE AISLACION TERMICA	MUROS DE LA ENVOLVENTE				TEMPERATURAS		HUMEDAD	RESISTENCIAS TERMICAS	
	Muro Oriente	Muro Norte	Muro Sur	Muro Poniente	T°sup. interior	T°sup. Exterior	H°relativa	Resist. Term. según Nch	Resist. Term. del elemento
Camara de Aire	16,34	16,38	16,31	16,27	17,53	13,19	84,75	0,89	0,68
Poliestireno/Bandeja de huevos	16,75	16,7	16,62	16,27	18,1	12,78	78,86	0,51	0,94
Sin sistema de aislacion.	15,26	15,32	15,37	15,44	15,43	11,78	85,23	0,74	0,47

Fuente: Elaboración propia.

Si bien es cierto en el sistema de aislación de cámara de aire no cumple con lo requerido para poder evitar un riesgo de condensación, según la Zonificación térmica para el complejo de muros en la zona de la ciudad de Valparaíso (zona n° 2) se requiere un resistencia térmica del orden de los 0,33 m²c/w, por lo que se estaría cumpliendo la resistencia térmica exigida, no obstante, no se cumple para efectos de evitar el fenómeno de la condensación tanto en la cámara de aire del sistema de aislación de la envolvente, y más aun en el caso del envolvente en contacto directo con el ambiente exterior.

En el siguiente capítulo se exponen las conclusiones referentes a la experiencia realizada y los datos que se obtuvieron de las diferentes configuraciones.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES.

El fenómeno de condensación superficial tiene su origen en el cambio de estado del vapor de agua contenido en el aire que se encuentra en las viviendas, pasando del estado gaseoso al estado líquido, sobre las superficies interiores de los muros. Al existir una generación excesiva de vapor de agua dentro de las viviendas, y si los elementos que forman parte de la envolvente no están suficientemente aislados térmicamente, de modo de evitar que sus superficies interiores tengan temperaturas inferiores al punto de rocío del aire, comienza el conocido fenómeno de condensación superficial.

La investigación permitió identificar que el fenómeno de la condensación superficial es un actor recurrente en las viviendas sociales, siendo factor los problemas de intercambio de calor entre uno y otro ambiente (interior y exterior).

El ensayo en el módulo de la Universidad, fue difícil de desarrollar, sobre todo en lo que respecta al uso correcto de la interfaz del sensor y los factores incidentes en el muro, los cuales cambian constantemente durante el día. Por otro lado la interpretación y cálculo de las resistencias térmicas de cada uno de los muros necesita de un análisis exhaustivo y complejo para poder realizar una comparación teórica de cada uno de los muros y contrastar la información de acuerdo a lo registrado in situ.

Respecto del objetivo principal se puede concluir que el aporte térmico de una solución conformada por planchas de poliestireno expandido con un cuerpo intermedio de bandejas de huevos en comparación a una vivienda con cámara de aire entre tabiques mejora en un 38% la aislación térmica de la vivienda, siendo el poliestireno el con mayor aporte aislante (alrededor de un 60% de la capacidad aislante del conjunto, versus un 40% repartidos entre la bandeja y la cámara de aire estanco) y en un 57% al no tener sistema de aislación térmica alguno. Teniendo estos antecedentes se puede postular las mejoras en la capacidad de aislación térmica de un recinto en comparación a una vivienda carente sin las mejoras antes mencionadas.

Otro de los aspectos a considerar es la capacidad de resistencia térmica de los elementos de la envolvente, cuanto menor es el valor, mayor es la pérdida de calor, por lo que la temperatura superficial interior también será menor. Al disminuir la temperatura superficial eventualmente alcanza la temperatura de punto de rocío, produciéndose así la condensación en el recinto. En la experiencia vista en el laboratorio de la Universidad, el comportamiento de la albañilería de ladrillo rojo lo que se presumía, es decir, una baja capacidad de aislación térmica, aun cuando el ladrillo de fabrica cumple con las exigencias para esta zona térmica, específicamente la zona n° 2, se debe tener en cuenta también que al condensar el vapor de agua en el ladrillo y teniendo en cuenta que éste va conformado con albañilería de mortero, es evidente que se producen puentes térmicos, los cuales provocan que se generen pérdidas de calor a una mayor velocidad que en otras ocasiones.

Como se puede visualizar a lo largo de la investigación, existen factores que influyen en el comportamiento térmico de las viviendas, cualquiera de estas mejoras, ya sean estos espesores de materiales, tipos de ventanas, entre otras, ayudan a disminuir considerablemente los riesgos de aparición de agentes patógenos de humedad en el recinto.

Las prestaciones térmicas del panel de aislación térmica, más allá de los beneficios de manera directa con las condiciones y la duración respecto del ciclo de vida de los materiales componentes de una vivienda, se mejora ostensiblemente la calidad de vida de sus moradores, trayendo consigo condiciones de mayor confort en el hogar. Al hablar de obtener una razón de confortabilidad térmica al interior de la vivienda, es decir, tomando en cuenta aspectos de duración, de ciclo de vida del elemento y sus capacidad aislante, se puede postular que no siempre se está en condiciones económicas de solventar elementos aislantes adecuados, es por esta razón que a nivel de gobierno se han implementado una serie de programas de mejoramientos a la vivienda, en donde el tema térmico también se considera, facilitando así la obtención del tan ansiado confort térmico.

Como último aspecto a considerar se puede decir que en la actualidad las viviendas sociales en Chile se construyen esencialmente con muros de ladrillo y hormigón (Urquieta y Sarmiento, 2005), careciendo de aislación térmica, lo que implica necesariamente valores de temperatura superficiales bajas con respecto a la temperatura ambiente del interior. Al mencionar esto queda para el análisis el ojo clínico y asertivo al momento de decidir sobre la materialidad de las viviendas sociales en Chile.

Todos los puntos antes abordados son esenciales, y deben ser considerados como indicadores de la calidad de vida de las personas.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguirre, F (2009) "Evaluación técnica-económica de soluciones constructivas para disminuir el efecto de condensación superficial en viviendas sociales de la V Región", Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor, Escuela de Construcción Civil, Facultad de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, Chile.

Arrau, G (1988) Conceptos básicos sobre aislación térmica de viviendas, Revista de Ingeniería en Construcción, N° 5, Julio-Diciembre de 1988.

Arauco, (2011) Como evitar problemas de humedad, Manual de Arauco Distribución S.A, disponible en www.construyenmadera.com.

Bravo, L (1987) "La Humedad", Facultad de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, Chile.

Bustamante, (1988) Estudio de la Calidad Térmica de las Viviendas en Las Condes, Revista BIT, Septiembre de 1988.

Bustamante, W et al (2005) Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales, Revista de la Construcción, Volumen N° 4, Diciembre de 2005.

Cabrera, F (2006) Aislamiento térmico y acústico, Revista Frío y Calor, N° 82 de la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G, disponible en www.frioycalor.cl.

Caro, C (2010) Humedad en viviendas, Riego de condensación, Revista BIT N° 75, Noviembre de 2010.

Cronembold, S (2009) "Estudio de ventilación en viviendas", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Chile.

Cuervo y Ferreres, (2010) Prevención de humedades en cubiertas, Prevención de humedades en edificaciones enterradas, Manuales Profesionales- COAATT, Enero de 2010.

C.D.T, (2012) Documento Técnico, Humedad por condensación en viviendas, prevenciones y soluciones, Manual Técnico de Buenas Prácticas, Marzo de 2012.

E.M.B, (2008) Vivienda Social: Habitabilidad Térmica y Calidad de Vida, Boletín informativo de la Construcción, Diciembre de 2008.

Encina E, (2009) " Influencia de la aislacion térmica aplicada por el exterior en muros de albañilería" Tesis de Universidad de Chile.

Erazo R, (2007) "Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción". Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

García et al, (2010) "Uso de la energía en los edificios". Manual para estudiantes. Edición E.S 1.2 de Noviembre de 2010. Disponible en www.iuses.eu.

Hernandez P, (2014) Diagrama climático de Givonni, publicación de Noviembre de 2014.

Jauregui, E (2009) Envoltentes y Aislaciones, Propuestas y Alternativas.

Jimenez L, (2005) "Humedades en la construcción". Ediciones CEAC S.A. 2005.

Lotersztain, I (1970) Condensación de humedad en viviendas, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.

Martinez,C et al (2005) Habitabilidad mínima para las viviendas sociales de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar, Universidad de Valparaíso, Chile.

Massa, M (2006) La construcción colectiva del hábitat social, vulnerabilidad y riesgos de salud, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de la Plata, Argentina.

MINVU, (2009) Reglamentación Térmica de Edificios en Chile, disponible en www.minvu.cl/opensite_20070212164420.aspx.

Moreno, J (2011) “Evaluación energética de los puentes térmicos en edificación”, Trabajo de fin de Máster, Máster en Innovación Tecnológica en Edificación, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Müller, E (2008) “Análisis térmico y recomendaciones para el diseño de casa solares pasivas y la difusión de viviendas sustentables”. Publicación semanal Noviembre de 2008.

Ñancuqueo, R (2008) “Evaluación del Programa de Protección del Patrimonio Familiar, Parte de la Nueva Política Habitacional, en comités de viviendas de las comunas de Temuco y Padre las Casas”, Memoria para optar al título de Ingeniero en Construcción, Universidad de la Frontera, Chile.

Ordaz, M (2004) “Humedad en los muros y bóvedas de mampostería de piedra caliza”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 2004.

Ortiz, R (2007) “Análisis comparativo entre una albañilería de EPS como método innovador y albañilería tradicional de ladrillo en base a una vivienda de 44,3 mt², en relación costo-sustentabilidad”, Tesis para optar al título de Ingeniero en Construcción, Escuela de Construcción Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad de Chile, Chile.

Palma, R (2007) “Impacto e implementación de la nueva Reglamentación Térmica en la construcción de viviendas”, Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor, Departamento de Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Universidad de la Frontera, Chile.

Pavéz, A (2011) Aislantes térmicos, Calor de hogar, Revista BIT N° 79, páginas 68-74, Julio de 2011.

Portal Inmobiliario, (2008) Subsidio a la vivienda usada: Una herramienta para la integración, Marzo de 2008.

Ravinet de la Fuente, J (2004) Política Habitacional Chilena: Alternativas de vivienda para las familias más pobres, Revista INVI, N° 50, Mayo de 2004.

Rodríguez et al, (2008) “Aislación térmica exterior”. Manual de diseño para soluciones en edificaciones. Edición año 2008.

Saavedra, A (2012) Humedad, Problema silencioso, Revista BIT, N° 85, Julio de 2012.

Trebilcock, M (2011) Percepción de barreras a la incorporación de criterios de eficiencia energética en las edificaciones, Revista de la Construcción, Volumen N° 10, N° 1- 2011.

Urquieta, W (2004) “Evaluación del fenómeno de condensación en viviendas sociales y proposiciones de mecanismos de acción”, Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor, Escuela de Construcción Civil, Universidad de Valparaíso, Chile.

Vera y Órdenes (2002) "Evaluación del desempeño energo-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. Revista BIT N° 17, año 2002.

