

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIA

Departamento de Física



Evaluación de bienestar y confort térmico en viviendas sociales.

Caso LAD-MA.

Camilo Ariel Valdebenito Monsalve

Profesor Guía:

Hugo Pérez Herrera

**Tesis para optar al Título Profesional de
Ingeniero Físico.**

Santiago – Chile

2018

“Evaluación de bienestar y confort térmico en viviendas sociales. Caso LAD-MA”

Camilo Ariel Valdebenito Monsalve

Este trabajo de Graduación fue preparado bajo la supervisión del profesor guía Hugo Pérez de la Escuela de Arquitectura, el Profesor Ernesto Gramsh, del Departamento de Física y ha sido aprobado por los miembros de la comisión calificadora del candidato, David Cabrera, Yolanda Vargas y Francisco Vivanco.

RESUMEN

Este trabajo de tesis forma parte de una investigación de un proyecto Dicyt, del Arquitecto Rodolfo Jiménez sobre el estado de conservación y comportamiento de un grupo de viviendas sociales realizadas con un sistema constructivo original denominado LAD-MA, entre fines de los años 80' y comienzos de los años 90' del siglo XX por la ONG Centro Urbano de Asistencia Técnica Taller Norte, en la comuna de Peñalolén, región metropolitana de Santiago. En particular la tesis se centra en la evaluación de bienestar y confort térmico en viviendas sociales mediante un monitoreo ambiental realizado con estaciones meteorológicas instaladas durante seis meses en las viviendas.

Se establecen los periodos de confort térmicos que poseen las viviendas y se determina que estas no logran cumplir con los parámetros establecidos en función de las normativas internacionales ISO 7730 y ASHRAE 55, por otro lado, por medio de simulaciones de transmitancia térmica se presentan mejoras tanto a la construcción de las actuales viviendas como a un próximo levantamiento de viviendas con el proceso constructivo LAD-MA para cumplir con parámetros de aislación térmica dados en el anteproyecto de norma NTM 11.

Se realiza una evaluación de la correlación de calefacción en invierno y el aumento en la concentración de CO₂ con los medios de calefacción de cada usuario de las viviendas.

Finalmente se realiza una propuesta de norma en los parámetros del confort higrotérmico, ya sea para una norma independiente o como agregar en términos de parámetros ambientales en el anteproyecto de norma NTM 11.

Palabras clave: Proceso constructivo, confort higrotérmico, bienestar ambiental.

“Rechaza el sentido común para hacer posible lo imposible”

T.T.G.L.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Santiago de Chile, quien otorgó los fondos del proyecto DICYT “Evaluación de un sistema constructivo no convencional con componentes prefabricados que emplea madera y ladrillo de canto como componentes estructurales”.

Agradezco al Profesor Ernesto Gramsh, quien me brindó la oportunidad de trabajar con él en su laboratorio cuando recién cursaba mi segundo año en mi carrera, brindándome la oportunidad de desarrollarme en aspectos experimentales que no se pueden generar de otra forma que no sea mediante la aplicación, y quien, aunque tuve que optar por dejar esa tarea, me siguió considerando y me trajo a este proyecto depositando una gran confianza en mí.

Agradezco a los profesores Rodolfo Jiménez y Hugo Pérez de la Escuela de Arquitectura, quienes me brindaron su apoyo y su conocimiento para poder ejecutar este proyecto de la mejor manera.

Y a pesar de que sea un agradecimiento más general, no puedo dejar de mencionar a todos mis compañeros tanto de generación, anteriores y posteriores, quienes de una o de otra forma fueron depositando su confianza en mí, quienes me apoyaron de forma directa o silenciosa, acompañándome en la construcción del largo y difícil camino que he atravesado, y espero poder estar ahí para todos como ustedes lo estuvieron para mí.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.....	7
1.1. Confort térmico.....	7
1.1.1. Norma UNE-EN ISO 7730:2006.....	8
1.1.2. Norma ANSI/ASHRAE 55:2017	9
1.1.3. Anteproyecto de norma NTM 11:2014	12
1.2. Bienestar ambiental.....	13
1.2.1. Dióxido de carbono	13
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	15
2.1. Equipos de medición.....	15
2.1.1. NetAtmo	16
2.1.2. Sistema alternativo	17
2.2. Metodología para el análisis de equipos de medición similares.....	18
2.2.1. Coeficiente de Pearson	18
2.2.2. Método gráfico de Bland-Altman.....	19
2.3. Análisis de datos	20
2.4. Simulaciones de aislación térmica.....	21
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22

3.1. Propuesta para normativa.....	22
3.1.1. Introducción.....	22
3.1.2. Determinación de PMV y PPD.....	23
3.1.3. Rangos operativos de condiciones higrotérmicas.....	25
3.2. Comparación de sistemas de adquisición	29
3.3. Realidad de contexto ambiental	34
3.3.1. Vivienda 01	37
3.3.2. Vivienda 02	37
3.3.3. Vivienda 03	38
3.3.4. Vivienda 04	38
3.4. Comportamiento de las variables en las viviendas mensual y promedios diarios	38
3.5. Confort térmico de las viviendas	49
3.6. Variación de CO ₂ en función del uso de la vivienda	53
3.7. Simulaciones de aislación térmica con THERM	59
CONCLUSIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXO	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Categorías de ambiente térmico, según norma ISO 7730:2006 Anexo A, Tabla A-1	8
Tabla 1-2: Transmitancia térmica "U" máxima y resistencia térmica "RT" mínima para complejo de techumbre, muro y piso para uso de residencia, educación y salud de la zona térmica 3.	12
Tabla 2-1: Rango de temperaturas para invierno y verano, según rangos de aislación térmica de la ropa y actividad metabólica de la Figura 2-1.....	21
Tabla 3-1: Escala de sensación térmica verbalizada según la sensación térmica.....	23
Tabla 3-2: Valores de constantes a, b y c para utilizar en la ecuación de estimación del PMV.	24
Tabla 3-3: Categorías de aceptabilidad según los niveles de PMV.....	25
Tabla 3-4: Resultados de la comparación de sistemas de medición mediante el coeficiente de Pearson y el método de Bland-Altman.	34
Tabla 3-5: Detalle del uso de calefacción según los usuarios de las viviendas.....	49
Tabla 3-6: Resultados de transmitancia térmica y resistencia térmica de las distintas configuraciones de murallas	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0-1: Esquema de panel de muro LAD-MA (Rodolfo Jiménez)	2
Figura 0-2: Paneles de muro LAD-MA	3
Figura 0-3: Isométrica de construcción tipo y casa tipo con segundo piso en madera tradicional (Rodolfo Jiménez)	4
Figura 1-4: Gráficos que relacionan nivel de vestimenta y actividad con temperatura operativa y rangos de confort según categorías A, B, y C, ordenados respectivamente de izquierda a derecha.....	9
Figura 1-5: Zona de confort para edificios ventilados mecánicamente. (ASHRAE 55:2017). 11	
Figura 1-6: Datos de medición por medio de testigos de hielo para datos antes de 1958 y de la estación atmosférica Mauna Loa para después de 1958.....	14
Figura 2-1: Circuito esquemático de equipo de medición conectado a raspberry.....	18
Figura 2-2: Ejemplo de gráfico de Bland-Altman.....	20
Figura 3-1: Variación de PPD en función del PMV	25
Figura 3-2: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría A.	26
Figura 3-3: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría B.....	27
Figura 3-4: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría C.....	27
Figura 3-5: Curva de valor máximo de humedad relativa en función de la temperatura para condiciones higrotérmicas de confort.....	28

Figura 3-6: Comparación de correlación de mediciones de sensores de temperatura externo.	29
Figura 3-7: Gráfico de Bland-Altman para los sensores exteriores de temperatura.....	29
Figura 3-8: Comparación de correlación de mediciones de sensores de temperatura interno.	30
Figura 3-9: Gráfico de Bland-Altman para los sensores interiores de temperatura.	30
Figura 3-10: Comparación de correlación de mediciones de sensores de humedad externo. ..	31
Figura 3-11: Gráfico de Bland-Altman para los sensores exteriores de humedad.	31
Figura 3-12: Comparación de correlación de mediciones de sensores de humedad interno....	32
Figura 3-13: Gráfico de Bland-Altman para los sensores interiores de humedad.....	32
Figura 3-14: Comparación de correlación de mediciones de sensores de CO ₂	33
Figura 3-15: Gráfico de Bland-Altman para los sensores de concentración de CO ₂	33
Figura 3-16: Ciudad de Santiago, destacando la comuna de Peñalolén y marcando la ubicación de las viviendas donde se realiza la medición.....	35
Figura 3-17: Histograma de temperaturas por mes del año 2018 en la comuna de Peñalolén.	35
Figura 3-18: Histograma de velocidad del viento por mes del año 2018 en la comuna de Peñalolén.	36
Figura 3-19: Rosa de vientos del año 2018 en la comuna de Peñalolén.	36
Figura 3-20: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de febrero.....	39
Figura 3-21: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de febrero.....	40
Figura 3-22: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de abril.....	40
Figura 3-23: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de abril.....	41
Figura 3-24: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de mayo.	41
Figura 3-25: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de mayo.	42
Figura 3-26: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de junio.	42

Figura 3-27: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de junio.....	43
Figura 3-28: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de julio.....	43
Figura 3-29: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de julio.....	44
Figura 3-30: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	44
Figura 3-31: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	45
Figura 3-32: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	45
Figura 3-33: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	46
Figura 3-34: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	46
Figura 3-35: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	47
Figura 3-36: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	47
Figura 3-37: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	48
Figura 3-38: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	48
Figura 3-39: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.....	49

Figura 3-40: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas a lo largo de los meses de medición según la norma ISO 7730.....	50
Figura 3-41: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas a lo largo de los meses de medición según la norma ASHRAE 55.	50
Figura 3-42: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas en un horario acotado a lo largo de los meses de medición según la norma ISO 7730.....	51
Figura 3-43: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas en un horario acotado a lo largo de los meses de medición según la norma ASHRAE 55.	52
Figura 3-44: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante febrero en la vivienda 01.	53
Figura 3-45: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante febrero en la vivienda 02	54
Figura 3-46: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante febrero en la vivienda 03	54
Figura 3-47: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante febrero en la vivienda 04	55
Figura 3-48: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante julio en la vivienda 01.	56
Figura 3-49: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante julio en la vivienda 02.	56
Figura 3-50: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante julio en la vivienda 03	57

Figura 3-51: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO ₂ durante julio en la vivienda 04.	57
Figura 3-52: Variación de CO ₂ en función de la temperatura de todas las viviendas en el mes de febrero.	58
Figura 3-53: Variación de CO ₂ en función de la temperatura de todas las viviendas en el mes de julio.	59
Figura 3-54: Modelos de pared LAD-MA simulados, en la parte superior de las imágenes corresponde a la parte exterior de los módulos, y la inferior a la interior. Los colores representan lo siguiente; gris es cemento, café es madera de pino, burdeo es ladrillo y verde es lanilla de vidrio; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad	60
Figura 3-55: Variación de temperatura en las distintas configuraciones de murallas; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad; (f) Leyenda de colores según temperatura.	61
Figura 3-56: Variación de flujo de calor según las distintas configuraciones de murallas; ; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad; (f) Leyenda de colores según densidad de calor.	62

INTRODUCCIÓN

A finales de los años 80's y principios de los 90's, el país tenía una gran cantidad de campamentos con mediaguas, (Secretaría Ejecutiva de Campamentos, 2013) con serios problemas de habitabilidad para las familias, esto llevo a las autoridades de la época a implementar un programa de urbanización consistente en la construcción de módulos básicos de cocina y baño denominado “caseta sanitaria” que aportaba el suministro de agua potable, servicio de aguas servidas y electricidad. En este contexto la una ONG Centro Urbano de Asistencia Técnica "TALLER NORTE", que se encontraba trabajando en el sector en programas de mejoramiento habitacional en el programa “Construyendo Juntos” desarrolla el sistema Constructivo LAD-MA para la construcción de viviendas adosadas a la caseta sanitaria. La vivienda consistía en un primer piso realizado con el sistema LAD-MA y un segundo piso construido en madera.

Descripción del sistema constructivo LAD-MA

El sistema LAD-MA consiste un conjunto de 4 paneles de muro típicos, (Figura 0-2) que se pueden organizar de acuerdo con el proyecto de arquitectura. Se componen de un entramado estructural de pies derechos y soleras superiores de madera de pino sin tratar de 2x4”, arriostrados con diagonales de pino de 1x4”, que actúan solidariamente con un cuerpo de losetas prefabricada hechas con ‘ladrillo fiscal’. Las losetas de ladrillo se fijan a la estructura de madera y entre sí mediante mortero de cemento de 400 [kg/cm³] y con una armadura horizontal para el esfuerzo de corte de fierro redondo liso de 6 [mm], fijada mediante doblez y grampas en uno de sus extremos de panel de muro, fijada y tensada en el otro extremo con

tuercas con golillas. Para su fijación a las fundaciones se usa una barra de acero estriado de 8 [mm] en cada extremo del panel de muro con una fijación superior con grampas (Figura 0-1).

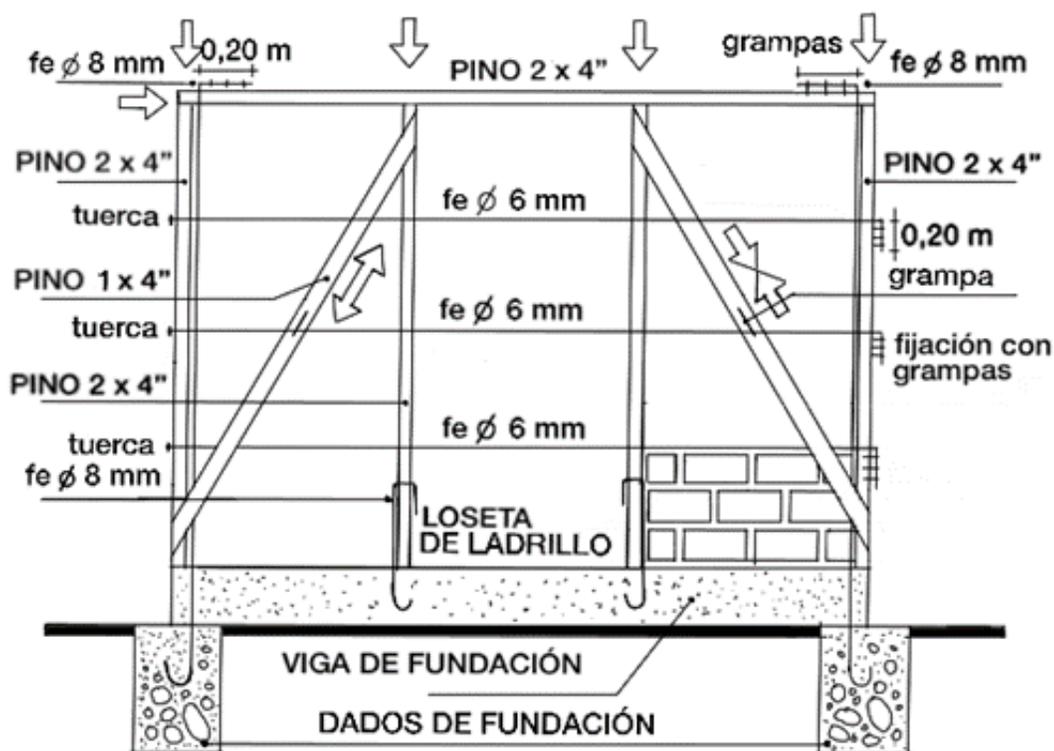


Figura 0-1: Esquema de panel de muro LAD-MA (Rodolfo Jiménez)

En obra se hacen los dados de fundación directamente sobre una excavación y sin moldes. Las vigas de fundación son prefabricadas a pie de obra usando moldes que contienen guías para ubicar los anclajes de fe de 8[mm] del pie derechos centrales. Las vigas de fundación se montan sobre los dados de fundación perfectamente nivelados en su cara superior. Sobre la estructura de LAD-MA se dispone un entramado de piso de madera, para habilitar un segundo piso, que se soluciona totalmente con una estructura de madera tradicional que en muchos casos provenía del reciclaje de la vivienda precaria (Figura 0-3).

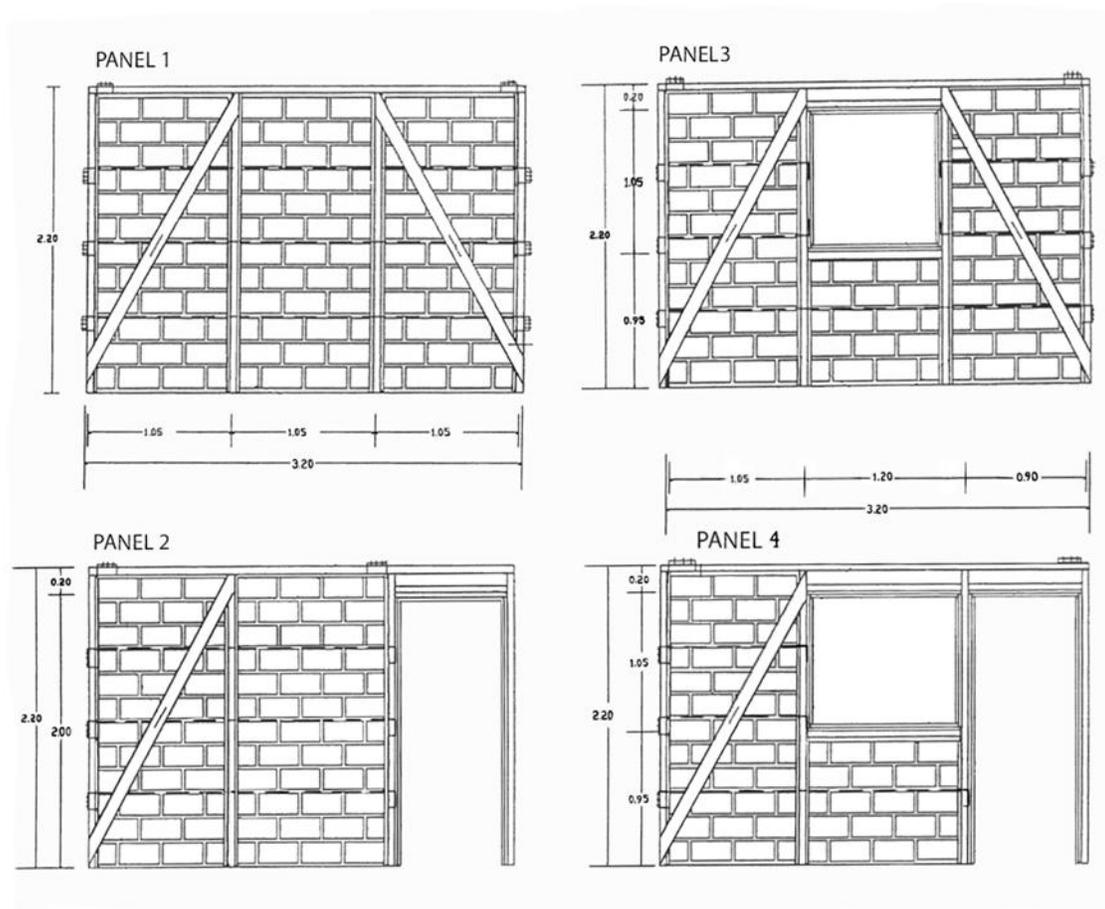


Figura 0-2: Paneles de muro LAD-MA

Este sistema constructivo tiene un enfoque social, por lo que por un lado debe ser apto para la construcción de dar como resultado una vivienda confortable para las personas, siendo uno de los principales factores de esto el confort térmico. Por otro lado, ya que será una vivienda social, debe ser de bajo costo para que así aumente la factibilidad de construcción por parte del Estado.

El sistema constructivo LAD-MA posee las siguientes características:

- Posibilita y facilita el trabajo con auto-construcción.
- Se basa en la prefabricación de componentes.

- Usa materiales locales de bajo costo y materiales reciclados.
- Es intensivo en mano de obra no especializada.
- Se apoya en la gestión social.
- Realiza trabajos en taller y a pie de obra.
- Considera acompañamiento técnico y de monitores y capacitación.
- Permite el trabajo de diseño participativo.

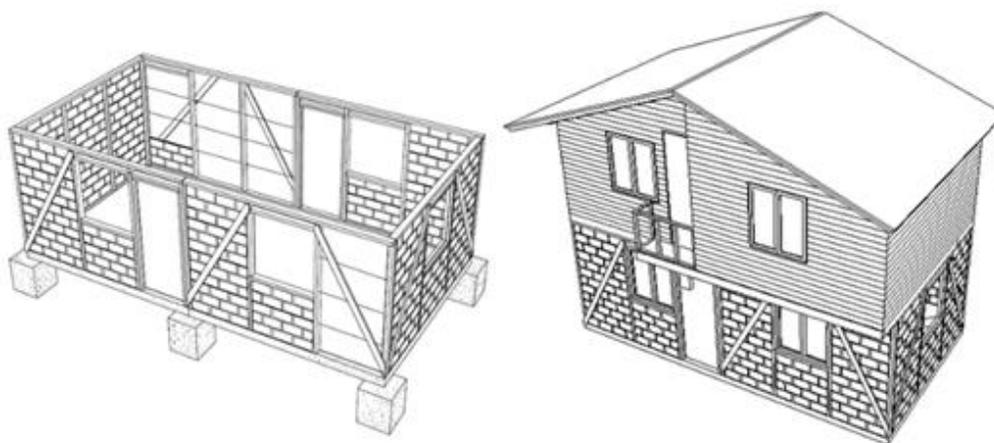


Figura 0-3: Isométrica de construcción tipo y casa tipo con segundo piso en madera tradicional (Rodolfo Jiménez)

Estudio de las condiciones de confort del sistema LAD-MA

Para poder determinar las condiciones de confort térmico, se realizará un estudio de las normativas ISO 7730, ASHRAE 55 y el anteproyecto de norma nacional NTM 11, las cuales abordan de forma distinta el tema del confort térmico. De forma análoga, en función de los estudios realizados se propondrá una norma chilena para determinar las condiciones necesarias en una vivienda para el confort térmico.

La norma ISO 7730, se enfoca en la predicción del confort que tendrán las personas en un determinado contexto de variables, por lo que es posible realizar un proceso inverso, donde

fijando el factor de confort objetivo, se puede determinar las condiciones, en este caso higrotérmica, que se deben tener para cumplir.

En el caso de la norma ASHRAE 55, se enfoca directamente en cuales son los factores que se necesitan para tener un ambiente de confort higrotérmico, agregando además una división entre los edificios con calefacción mecánica y aquellos que usan calefacción natural.

El anteproyecto de norma NTM 11 - Parte 2, define los parámetros necesarios de transmitancia y resistencia térmica necesaria para otorgar confort térmico según la zona geográfica correspondiente, que en el caso de la región Metropolitana es la Zona C.

Considerando que durante el invierno es común la implementación de calefacción, esto puede traer consecuencias adversas debido al aumento de CO₂, por lo que también se evaluará como este se ve afectado en función de la temperatura alcanzada y el tipo de calefacción utilizado.

Para poder determinar si la vivienda cumple o no con los parámetros de confort térmico, es menester realizar mediciones de temperatura y humedad de forma continua en viviendas fabricadas con el sistema constructivo LAD-MA. Para esto, se utilizará un sistema de medición y adquisición comercial conocido como NetAtmo, el cual fue elegido por el equipo del proyecto por ser el mismo utilizado en la Red Nacional de Monitoreo (RENAM) del Ministerio de Vivienda para el monitoreo y estudio de distintas viviendas a lo largo del país, esto con el propósito futuro de realizar un estudio que pueda contrastar distintas viviendas con las realizadas con el sistema constructivo LAD-MA.

El módulo de medición NetAtmo, se enfoca en poder tener al alcance del usuario la información de las condiciones ambientales de un espacio específico, y poder tomar medidas

al respecto. El módulo posee un sensor exterior que mide temperatura y humedad, el cual se conecta a un sensor interior vía bluetooth, el cual mide temperatura, humedad, ruido y concentración de CO₂, además de conectarse a internet por Wi-Fi para enviar los datos a un servidor, donde se puede tener acceso tanto por una página web o por medio de una aplicación.

Por otro lado, se fabricará un módulo de medición con características similares al módulo comercial, utilizando en este caso transductores de temperatura, humedad y concentración de CO₂ a un voltaje análogo, pasando por un conversor análogo digital, y leído por una Raspberry, la cual leerá, guardará y enviará los datos a un servidor propio. Esto para poder contrastar las mediciones entre el equipo ya mencionado, y el módulo NetAtmo.

El estudio se realizará en cuatro viviendas que fueron construidos en 1990 con el sistema constructivo LAD-MA en Peñalolén, las cuales poseen distintos grados de mantención y distintas modificaciones. Los propietarios accedieron a instalar los sistemas de medición con el acuerdo de no divulgar información personal, entrega de planos de sus viviendas y entrega de los resultados del estudio. Las cuatro viviendas contarán con un módulo NetAtmo, y en una de estas, se instalará en paralelo el módulo fabricado.

Una vez realizada la evaluación, se determinará si las viviendas fabricadas con LAD-MA cumplen con las normativas, y se propondrá una mejora en base a simulaciones que solucionen las problemáticas encontradas.

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Confort térmico

La palabra *confort* es de origen francés y es aceptado por la RAE definiéndolo como *Aquello que brinda comodidades y genera bienestar.*

Si bien una característica del ser humano es modificar su entorno para crear condiciones que faciliten su adaptación, el concepto de confort térmico en las viviendas empezó a ser una preocupación a finales del siglo XVIII debido a problemas de salubridad en las construcciones generadas alrededor de los nuevos centros de trabajo adoptados por la revolución industrial, lugares donde se generaron problemas de salubridad debido a que las viviendas eran principalmente de bajo costo y autoconstruidas. Es en función de esta problemática que se establecen medidas para que el común de las personas habite de manera confortable. Es también en este periodo, precisamente en el año 1894 que se funda la Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción; ASHRAE por sus siglas en inglés. (Godoy Muñoz, 2012)

Actualmente uno de los principales factores que se debe tener en consideración al momento de diseñar una construcción habitable, es el confort térmico, teniendo siempre como objetivo obtener una climatización natural y así minimizar el uso energía en sistemas de calefacción alternativos como son estufas, ventiladores o aire acondicionado, pero para esto es necesario cuantificar la magnitud de la temperatura y sus variables asociadas. Es tanto en la norma ISO 7730 como en la AHSRAE 55 que esto se realiza, abordando y solucionando el tema con diferentes enfoques. Por otro lado, en Chile existe el anteproyecto de norma NTM 11 la cual aborda el comportamiento higrotérmico en su Parte 2, establece las condiciones de

transmitancia y resistencia térmica que deben tener las construcciones según la zona del país para dar un escenario de confort térmico.

1.1.1. Norma UNE-EN ISO 7730:2006

“Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local” (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

La norma tiene el propósito de presentar un método para predecir la sensación térmica y el grado de incomodidad mediante el cálculo de los índices PMV (Voto Medio Estimado) y PMD (Porcentaje Estimado de Insatisfechos), tomando en consideración principalmente factores de vestimenta y actividad realizada, además de velocidad del viento, turbulencia porcentual, entre otros, pero que son de menor influencia.

Si bien la norma no busca establecer parámetros para el confort térmico, si no que establecer un método que, dadas las condiciones, se estime un porcentaje de insatisfechos. No obstante, es posible realizar el proceso inverso en función de los porcentajes de satisfacción que se consideren como aceptables. La norma muestra temperaturas de operación en el anexo A, el cual es de carácter informativo y se titula “Ejemplo de Requerimientos de confort térmico para diferentes categorías de ambientes y espacios”, y como lo menciona el título, se establecen categorías de ambiente térmico los cuales se expresan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Categorías de ambiente térmico, según norma ISO 7730:2006 Anexo A, Tabla A-1

Categoría	Estado térmico del cuerpo en su conjunto		Incomodidad local	
	PPD %	PMV	DR %	PD %

				Diferencia de temperatura vertical del aire	Provocada por suelo caliente o frío	Asimetría radiante
A	< 6	- 0.2 < PMV < + 0.2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0.5 < PMV < + 0.5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0.7 < PMV < + 0.7	< 30	< 10	< 15	< 10

Donde DR es la tasa de corriente de aire y PD es el porcentaje de insatisfechos

Es luego de esta categorización que la norma muestra gráficos de temperatura de confort en función del aislamiento térmico de la ropa y la tasa metabólica.

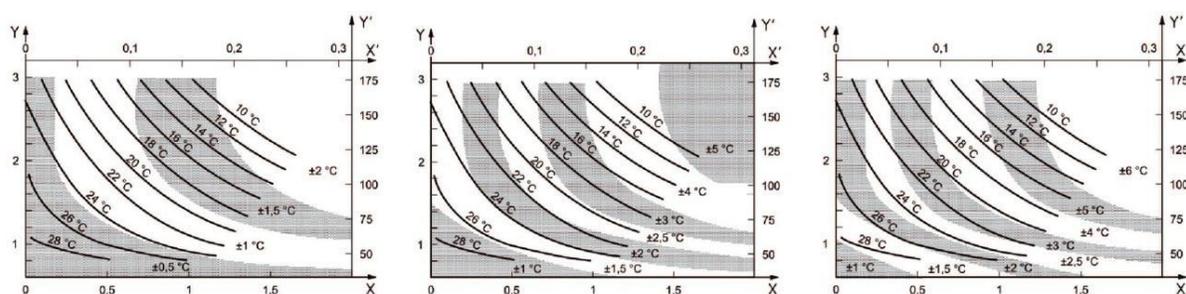


Figura 1-1: Gráficos que relacionan nivel de vestimenta y actividad con temperatura operativa y rangos de confort según categorías A, B, y C, ordenados respectivamente de izquierda a derecha.

Donde el eje X es el aislamiento térmico de la ropa en $[clo]$ y X' en $[m^2 \text{ } ^\circ C/W]$, y el eje Y es la tasa metabólica en $[met]$, mientras que en Y' es en $[W/m^2]$.

Respecto a la humedad, la norma no establece ningún parámetro de confort, pero si considera que se afecta la sensación térmica tal que cada 10% de aumento en la humedad relativa, se genera un aumento de $0.3[^\circ C]$ en la sensación térmica.

1.1.2. Norma ANSI/ASHRAE 55:2017

“Thermal environmental conditions for human occupancy”. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2017)

Esta norma tiene como enfoque determinar la orientación de las variables ambientales que influyen en la temperatura de confort humano, en la cual se consideran las mismas variables de la norma ISO 7730 que se mencionaron con anterioridad, generando un símil de las variables que se considerarán para este proyecto.

La diferencia con la norma ISO 7730 se genera principalmente porque esta busca de forma directa determinar los rangos de temperatura de confort y luego determina los valores de PMV-PPD, derivando así en dos formas para determinar el confort térmico basados en los estudios de De Dear.

El primero está enfocado en edificios acondicionados térmicamente de forma mecánica, considerando una velocidad de aire de $0.2[m/s]$, una actividad metabólica sedentaria entre $1[met]$ y $1.3[met]$, y varía la opción de aislación de la ropa entre $0.5[clo]$ y $1.0[clo]$, análogo a lo descrito anteriormente, correspondiente al verano e invierno respectivamente. Basándose en el balance térmico de Fanger, se determina un rango de confort higrotérmico ilustrado en la Figura 1-2.

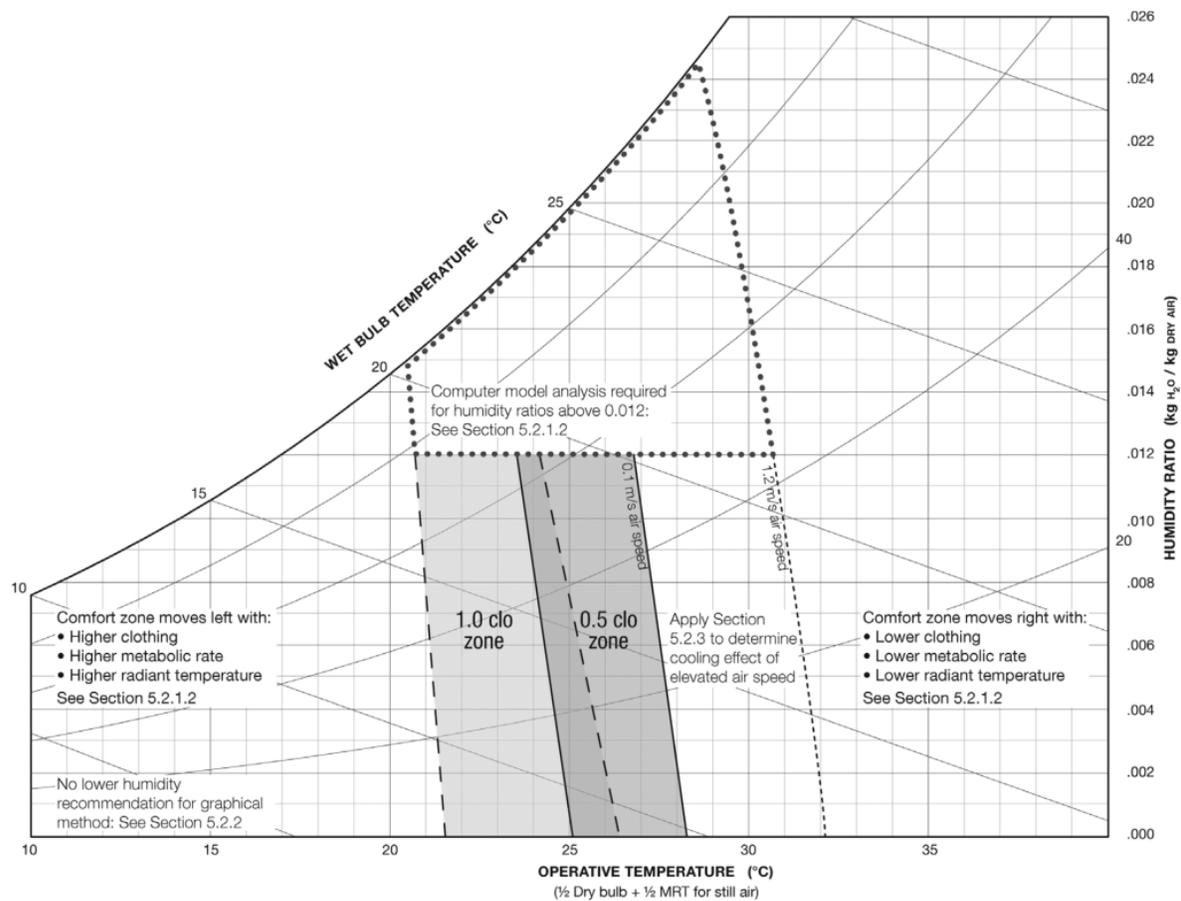


Figura 1-2: Zona de confort para edificios ventilados mecánicamente. (ASHRAE 55:2017)

El segundo método se enfoca en edificios sin sistemas de calefacción mecánicos, y determina una temperatura de confort dinámica en función del promedio de la temperatura ambiente del exterior de los edificios, esta sigue manteniendo como requisito que se tenga una actividad metabólica sedentaria entre $1[met]$ y $1.3[met]$, y que las personas puedan variar la opción de aislación de la ropa entre $0.5[clo]$ y $1.0[clo]$, no obstante este método es válido solo si la temperatura exterior oscila entre $10[°C]$ y $33.5[°C]$, y que las mediciones de estas sean mayores a 7 días y máximo 30 días, generando así las ecuaciones de temperatura mínima y máxima de confort.

$$T_{\min, \max} = 0.31 \cdot T_{Ext} + 17.80 \pm 3.50$$

Referente a la humedad, la norma establece un máximo de radio de humedad de 0.012, equivalente a una presión de vapor de 1.910 [kPa] y no determina un mínimo. Además, considera un índice de aceptabilidad del 80%.

1.1.3. Anteproyecto de norma NTM 11:2014

“Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico”. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014)

Este anteproyecto de norma es la base del texto de reglamentación térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, bajo la Ordenanza general de urbanismo y construcciones.

El documento se enfoca en las características de transmitancia y resistencia térmica total de los muros, techumbre y pisos ventilados. Donde además zonifica el país, dividiéndolo en 7 tipos de ambientes que harán variar los parámetros mencionados al principio.

Considerando que la medición es en la región metropolitana, según los planos de zonificación térmica, esto corresponde a la Zona 3, dejando la Tabla 1-2 como resultado.

Tabla 1-2: Transmitancia térmica "U" máxima y resistencia térmica "RT" mínima para complejo de techumbre, muro y piso para uso de residencia, educación y salud de la zona térmica 3.

...	U [W/m ² K]	R _T [m ² K/W]
Techumbre	0.47	2.13
Muros	0.80	1.25
Pisos	0.87	1.15

El documento también establece un máximo porcentual de superficie vidriada, caso que no aplica ya que, en las viviendas en estudio, los vidrios son solo para ventanas de ventilación y entrada de luz.

Análogo a este documento, existe la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones del año 2006, (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006) la cual es el reglamento vigente ante la ley que establece estos mismos parámetros, los cuales varían en sus valores del anteproyecto antes mencionado, como se muestra en la

...	U [W/m ² K]	R _T [m ² K/W]
Techumbre	0.47	2.13
Muros	1.90	0.53
Pisos	0.70	1.43

1.2. Bienestar ambiental

Cuando se habla de bienestar se consideran las condiciones físicas y mentales que proporcionan satisfacción y tranquilidad. El bienestar ambiental esta dado por la naturaleza en sí, por lo que son las actividades no naturales las que perturban el estado de bienestar ambiental, como es el caso de la combustión generada para la calefacción, la cual libera distintos tipos de gases como es el caso del CO₂.

1.2.1. Dióxido de carbono

EL dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, el cual se encuentra en estado natural en el ambiente. Es utilizado por las plantas para su proceso de fotosíntesis y a su vez es exhalado en la respiración por los animales. Por un estudio realizado en el hielo del polo sur, se determinó como los niveles de concentración de CO₂ han aumentado en los últimos 300 años

y como el aumento creció aún más abruptamente en los últimos 50 años, teniendo un nivel de concentración en el ambiente de 400[ppm]. (NASA, 2018)

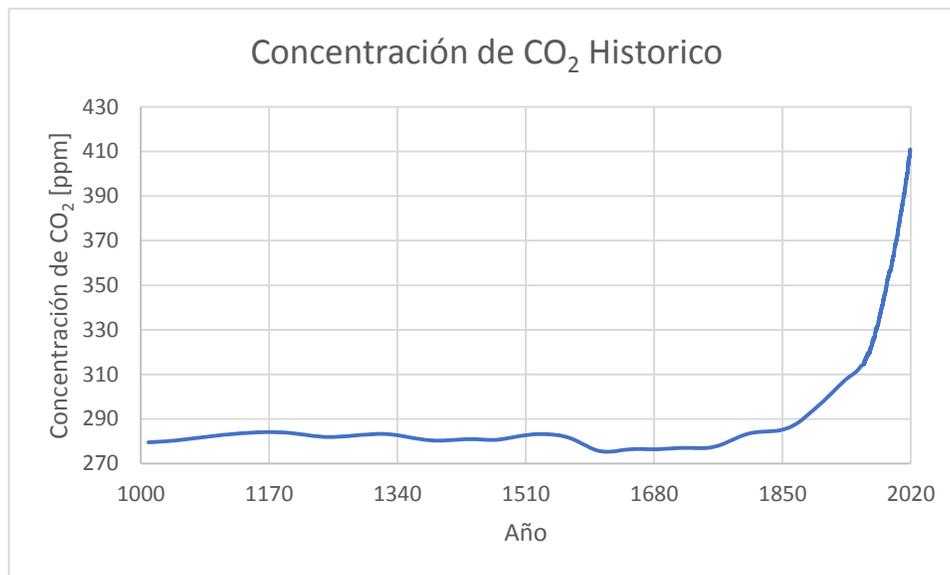


Figura 1-3: Datos de medición por medio de testigos de hielo para datos antes de 1958 y de la estación atmosférica Mauna Loa para después de 1958.

En sí el principal problema del dióxido de carbono se produce no por ser nocivo en la salud, ya que hay que considerar que los humanos generamos este gas, si no que las altas concentraciones de éste generan asfixia por el desplazamiento del oxígeno, pudiendo reducir su concentración por debajo del 20%. Las concentraciones altas de CO₂ a niveles de 30.000[ppm] producen dolores de cabeza, falta de concentración, somnolencia, mareos y problemas respiratorios. En España se establece para exposiciones de trabajo en un periodo de 8 horas es de 5.000[ppm] y establece un límite para exposiciones cortas de 15 minutos de 15.000[ppm]. Estos valores son difíciles de encontrar en ambientes interiores no industriales como son oficinas, escuelas y servicios en general. En la práctica, en estos recintos se encuentran valores de 2.000[ppm] y hasta 3.000[ppm]. Si se superan estos niveles puede deberse a una combustión incontrolada, en cuyo caso el riesgo para la salud puede no ser

debido al dióxido de carbono sino a la presencia de otros subproductos de la combustión, principalmente el monóxido de carbono (CO), cuyo límite de exposición es muy inferior (25[ppm]). (Ministerio de trabajo y Asuntos sociales, 2000)

El dióxido de carbono emitido en la respiración se liga a otros productos del metabolismo humano (agua, aerosoles biológicos, partículas, alcoholes, aldehídos, etc.) llamados bioefuentes, los cuales son los que, en consecuencia, generan olor por ocupación humana en un espacio. Según la norma española *NTP 549*, existen estudios que para personas más sensibles manifiestan incomodidad con 600[ppm], no obstante, la misma norma acepta que no se debe superar una concentración de 1000[ppm] de dióxido de carbono para una conformidad del 80%. Por otro lado, se indica que para las personas que están adaptadas en el ambiente, pueden sentirse en confort, en función del olor corporal, mientras el dióxido de carbono no supere los 2000[ppm] de concentración.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1. Equipos de medición

Para la adquisición de datos es necesario determinar ciertos factores alrededor de las variables que se desean observar, como el rango en el que estas oscilan, la precisión que se desea y los factores externos que pueden afectar a la medición, con estos elementos será posible elegir el correcto sensor o transductor asociado a la variable a medir.

Por otro lado, si se desea realizar una medición a largo plazo, es necesario considerar la forma en que se realizará la adquisición de datos, ya que, en el caso de una vivienda es menester no interrumpir el comportamiento natural que se ejerza en el lugar, por lo que los datos deben ser

tomados y almacenados sin generar una interferencia en el lugar donde se encuentren los sensores, para esto se aborda de dos formas la problemática.

2.1.1. NetAtmo

El control de las condiciones de confort de los espacios de habitabilidad es una preocupación que aumenta cada día en las personas, y como respuesta se puede obtener en el mercado distintos dispositivos para poder realizar esta función. Uno de estos es el sistema NetAtmo, el cual se describe como un *medidor de calidad de aire interior inteligente*, el cual consta de dos módulos de medición, uno externo y uno interno, donde el externo mide temperatura y humedad, mientras que el interno mide temperatura, humedad, concentración de CO₂ y ruido. El módulo interior es el principal y se conecta con el externo por medio de bluetooth, para el almacenaje de datos, el módulo interno se conecta a internet por Wi-Fi y guarda los datos en un servidor. Para tener acceso a los datos, se hace una cuenta en la página web del sistema de NetAtmo, donde se pueden ver las gráficas en el tiempo de la medición y se pueden descargar los datos fijando el periodo de tiempo deseado en un archivo con extensión “.xlsx”. Además, el sistema posee una aplicación para sistemas móviles, el cual da acceso inmediato a los datos en tiempo real, el cual muestra la última medición que realizó, y puede mostrar las gráficas de las mediciones en función del tiempo, la aplicación es la que permite realizar la configuración del dispositivo para la conexión a internet sincronizándose en primera instancia mediante bluetooth al dispositivo. (NetAtmo, 2018)

2.1.2. Sistema alternativo

Para realizar la medición de las mismas variables que el sistema NetAtmo, se realiza la fabricación de un sistema electrónico para cumplir las mismas funciones. Se mencionarán los principales componentes utilizados para cumplir las funciones requeridas.

- Medición de temperatura y humedad: El sensor SHT31, contiene un circuito que puede ser alimentado de 2.4[V] a 5.5[V] y entrega dos señales análogas en función de la temperatura y la humedad de su entorno. La temperatura con un rango de entre -40[°C] y 125[°C], y la humedad relativa entre 0% y 100%.
- Medición de concentración de CO₂: El sensor electroquímico MG810 tiene un circuito asociado que al ser alimentado con 5[V], entrega una señal análoga en función de la concentración de CO₂ y posee un rango entre 350[ppm] y 10.000[ppm].
- Adquisición y guardado de datos: Una de las formas actuales para generar proceso de datos, guardado de datos y conexión a servidor para almacenaje externo es utilizando un conversor análogo digital conectado a una raspberry, generando así un módulo de pequeño tamaño solo con circuitos asociados para la alimentación y conversión de datos de los sensores.

De esta forma se fabrica un circuito que se conecta a una raspberry, ya que esta tiene un tamaño menor, posee memoria interna para guardar los datos y, además, se conectará a un servidor externo para enviar los datos ya que también posee conexión a internet mediante Wi-Fi.

El circuito completo por utilizar se ilustra en la Figura 2-1.

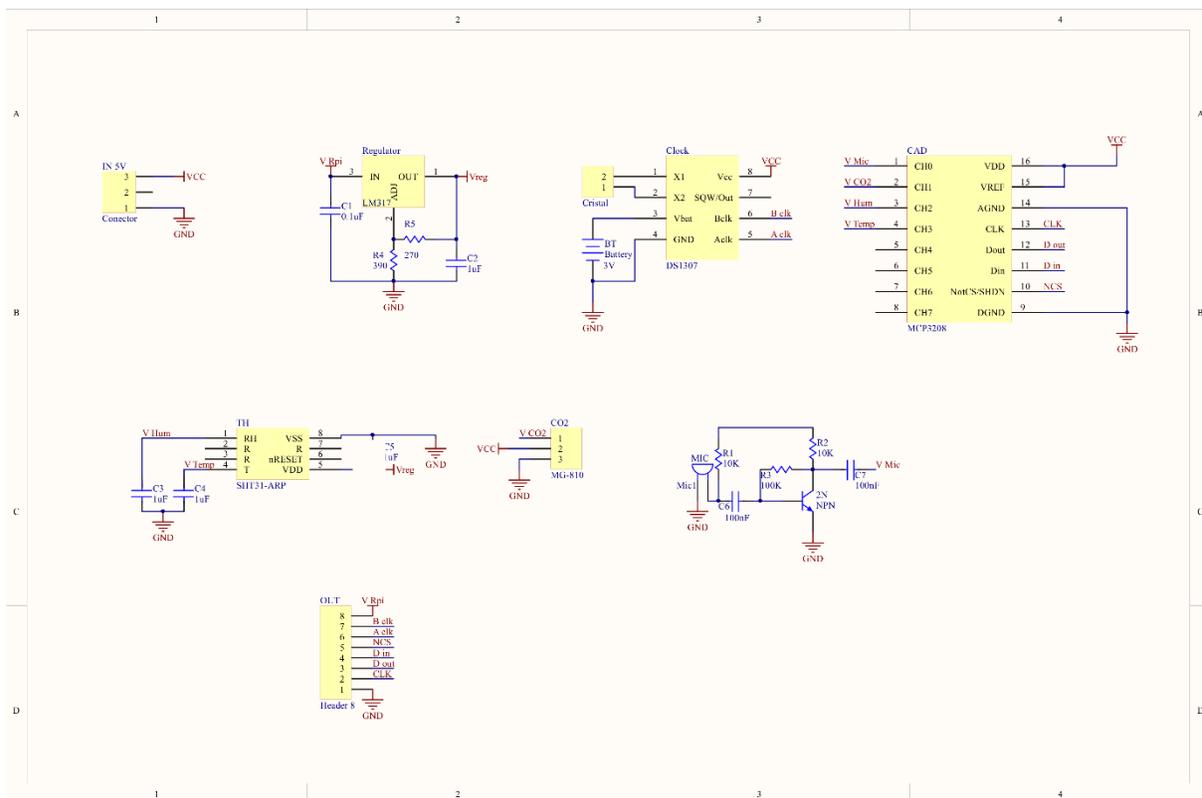


Figura 2-1: Circuito esquemático de equipo de medición conectado a raspberry.

2.2. Metodología para el análisis de equipos de medición similares.

Para comparar dos sistemas de medición de la misma variable, se realiza una relación entre las variables que fueron medidas por ambos equipos, ya que, si estas son coherentes, entonces siempre deben marcarán el mismo valor. Para esto se utilizarán 2 formas de verificar la concordancia de las mediciones.

2.2.1. Coeficiente de Pearson

También conocido como coeficiente de correlación, es una medida lineal de variables cuantitativas y es independiente de la escala de estas que entrega un valor para determinar el grado de relación de dos variables, con la condición de que estas sean cuantitativas y continuas.

Para una muestra de pares ordenados, el coeficiente se calcula bajo la siguiente expresión

$$r_{xy} = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Donde n es el número de pares ordenados, x e y son las variables del par ordenado.

El valor r varía en el intervalo $[-1,1]$, donde el signo indica el sentido de la relación.

Mientras que si $|r|$ es más cercano a 1, entonces existe una mayor correlación. (Pearson, 1986)

2.2.2. Método gráfico de Bland-Altman

Un gráfico de Bland-Altman es un gráfico en función de las diferencias de las muestras, siendo un método de análisis de datos para identificar el acuerdo entre dos ensayos diferentes, ya que si bien, dos variables pueden tener una correlación, esto no asegura que haya un buen acuerdo entre estas.

Para construir el diagrama de Bland-Altman se generan las coordenadas cartesianas de una muestra S con valores S_1 y S_2 determinado por los dos sistemas de medición es

$$S(x', y') = \left(\frac{S_1 + S_2}{2}, S_1 - S_2 \right)$$

De esta construcción se determina el valor promedio el cual debe tender a 0, la lejanía de este valor es la parcialidad.

$$Parcialidad = \frac{\sum \frac{y'_i}{x'_i}}{n}$$

Mientras que el rango permitido será restringido en el eje y por $\pm 1.96\sigma$, donde σ es la desviación estándar de los valores de este eje.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\bar{x}' - x'_i)^2}$$

De esta forma se genera un gráfico tipo como el que se ilustra en la Figura 2-2.

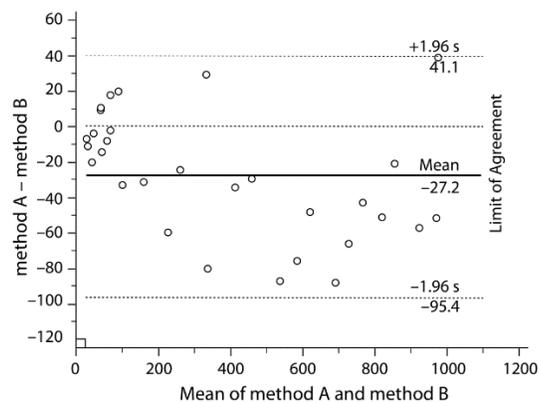


Figura 2-2: Ejemplo de gráfico de Bland-Altman.

De esta forma, los puntos que no se encuentran en el rango de $\bar{x} \pm 1.96\sigma$ se considera fuera del rango de correlación, mientras que si el valor de la parcialidad tiende a 0, entonces hay acuerdo entre las variables, siendo el máximo valor 1, y en este punto no existe acuerdo alguno entre las variables. (Gill Martínez, 2017)

2.3. Análisis de datos

La parte fundamental para realizar el análisis de datos se encuentra en conocer los rangos de las variables ambientales a evaluar y bajo que normativa se aplicará. Para esto se utilizarán los softwares necesarios para el trabajo de datos como Matlab y Excel.

La normativa ASHRAE 55 es específica en los rangos de operación al aplicar la norma, por otro lado, la norma ISO 7730, al no ser una norma de condiciones ambientales, los rangos se derivan al fijar el resto de parámetros que como se mencionó antes, existen varias consideraciones para la aplicación de esta norma, pero dado que el estudio que se realiza es en función de la temperatura exterior e interior, los factores de la incomodidad local no son relevantes, ya que en este caso la norma busca ser más específico en los valores de PPD y PMV, y como se mencionó anteriormente, se busca determinar los rangos de temperatura de confort en función de establecer estos valores, y es la misma norma la que define los valores típicos de aislamientos térmicos de ropa en periodos de verano e invierno, con valores de 0.5 [clo] y 1.0 [clo] respectivamente, y los valores que toma la tasa metabólica según la actividad que se esté realizando, siendo de 1.0[met] estando en reposo, sentado y de 1.6 [met] estando en una actividad ligera, de pie. Con estos valores, mediante los gráficos de la Figura 1-1, es posible determinar que en las 3 categorías la temperatura de confort es la misma, por lo que se fijan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Rango de temperaturas para invierno y verano, según rangos de aislación térmica de la ropa y actividad metabólica de la Figura 1-1.

Temporada	T° Mínima [°C]	T° Máxima [°C]
Verano	23	26
Invierno	18	23

2.4. Simulaciones de aislación térmica

Para verificar el comportamiento de los materiales de construcción del módulo LAD-MA, según lo especificado en la Tabla 1-2, se realizarán simulaciones de un trozo de muralla que contenga todos los materiales del sistema LAD-MA, las modificaciones que le hicieron los

usuarios, y posibles mejoras según la misma Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Para esto se utilizará el software Therm, que es utilizado para estos propósitos en el área de la arquitectura y la ingeniería mecánica.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propuesta para normativa

3.1.1. Introducción

Este documento tiene la finalidad de generar una propuesta para normativa chilena en la regulación de las condiciones ambientales térmicas que deben generarse en un espacio de ocupación humana. El desarrollo de esta propuesta se basa en las normativas internacionales ISO 7730 y ASHRAE 55.

La sensación térmica en los seres humanos está directamente relacionada con el equilibrio térmico de su cuerpo. Los factores que afectan a esto se pueden dividir en el calor generado, la aislación térmica y las condiciones ambientales higrotérmicas. De este último, los principales factores son la temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y la humedad. Teniendo todos los factores mencionados, ya sean estimados o medidos, es posible determinar el nivel de conformidad que tendrán las personas en el espacio determinado mediante el “voto medio estimado” (PMV – predicted mean vote).

El confort térmico es una condición mental que expresa la satisfacción con el entorno térmico. Ya que existen variaciones, tanto psicológicas como fisiológicas entre todas las personas, no es posible satisfacer a todos en un determinado espacio, no obstante, en función del PMV se

puede estimar el porcentaje de insatisfacción que habrá al momento de la ocupación del espacio mediante el “porcentaje estimado de insatisfechos” (PPD – predicted percentage dissatisfied).

Finalmente, son los factores PMV y PPD los que reflejarán si las condiciones ambientales en el espacio a evaluar cumplen con un estado de confort, donde se busca que el valor de PMV sea lo más cercano a 0, y el PPD sea el menor posible.

3.1.2. Determinación de PMV y PPD

El PMV es un valor que refleja un valor medio de votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto a una escala de sensación térmica de 7 niveles, los cuales se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Escala de 7 niveles verbalizada según la sensación térmica.

+3	Caluroso
+2	Cálido
+1	Ligeramente cálido
0	Neutro
-1	Ligeramente Fresco
-2	Fresco
-3	Frío

El PMV puede ser estimado para diferentes combinaciones de tasa metabólica, aislamiento de ropa, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire y humedad del aire, para efectos del propósito de la norma, se utiliza la expresión simplificada de esta:

$$PMV = aT + bP_v - c$$

Donde T es la temperatura ambiente en [°C] y P_v la presión de vapor de agua en el ambiente en [kPa].

Los valores de a , b y c se obtienen de la siguiente tabla en función del tiempo de exposición en el ambiente interior y sexo.

Tabla 3-2: Valores de constantes a , b y c para utilizar en la ecuación de estimación del PMV.

Tiempo	Sexo	a	b	c
1 hora	Masculino	0.220	0.233	5.673
	Femenino	0.272	0.248	7.245
	Ambos	0.245	0.248	6.475
2 horas	Masculino	0.221	0.270	6.024
	Femenino	0.283	0.210	7.694
	Ambos	0.252	0.240	6.859
3 horas	Masculino	0.212	0.293	5.949
	Femenino	0.275	0.255	8.620
	Ambos	0.243	0.278	6.802

Por otro lado, el PPD se determina en función del PMV expresada en la siguiente ecuación y el grafico de la figura

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

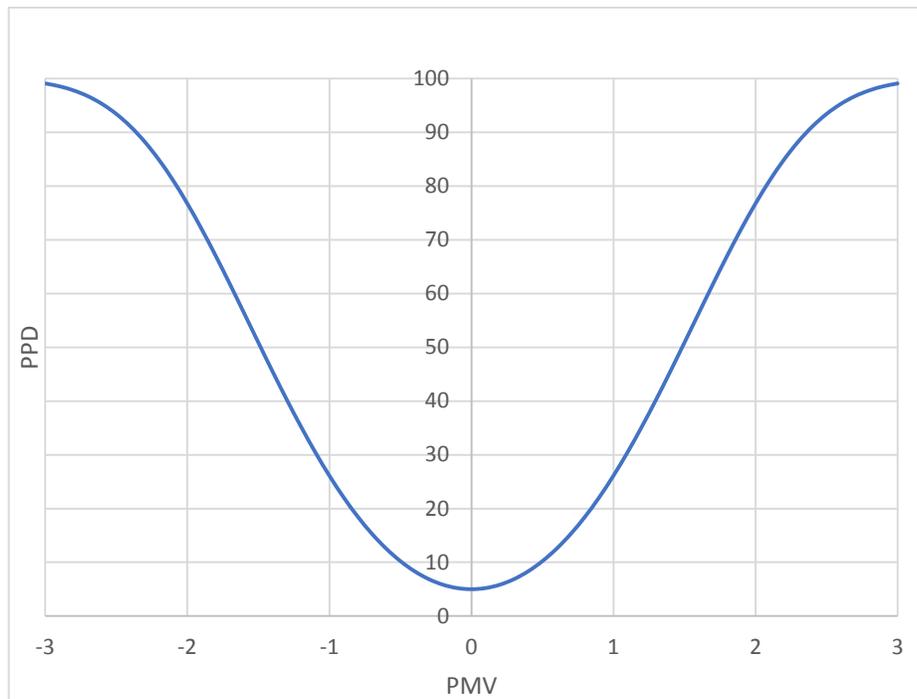


Figura 3-1: Variación de PPD en función del PMV

3.1.3. Rangos operativos de condiciones higrotérmicas

3.1.3.1. Temperatura operativa según aislación térmica y actividad metabólica

Para definir el rango de temperatura se consideran dos métodos, dependiendo del tipo de calefacción utilizada, ya sea natural o mecánica. En el caso de una calefacción natural, se generan 3 categorías de niveles de aceptabilidad expresados en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Categorías de aceptabilidad según los niveles de PMV

Categoría	Estado térmico del cuerpo en su conjunto	
	PPD %	PMV
A	< 6	- 0.2 < PMV < + 0.2
B	< 10	- 0.5 < PMV < + 0.5
C	< 15	- 0.7 < PMV < + 0.7

Como las condiciones de aislación térmica de la ropa varían según el clima del ambiente, es posible estandarizar la variable de las condiciones de un lugar según la cantidad y el tipo de ropa que usualmente se use para determinar el rango de aislamiento térmico. VER ANEXO

Análogo a la aislación térmica, se puede determinar la cantidad de calor generado por las personas en su tasa metabólica según la actividad realizada VER ANEXO.

Estableciendo la categoría a la que se dese a apuntar, y ya definidos los rangos de aislación térmica y actividad metabólica, se determina el rango de temperatura operática según los gráficos de la Figura 3-2, la Figura 3-3 y la Figura 3-4.

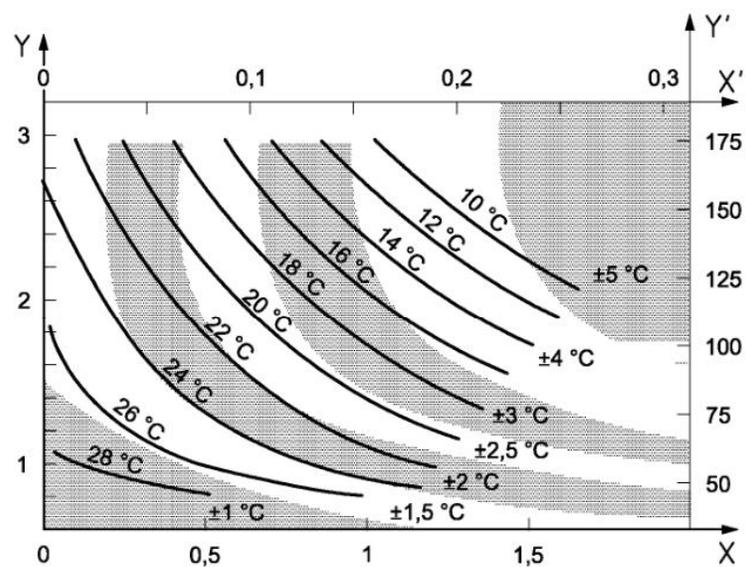


Figura 3-2: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría A.

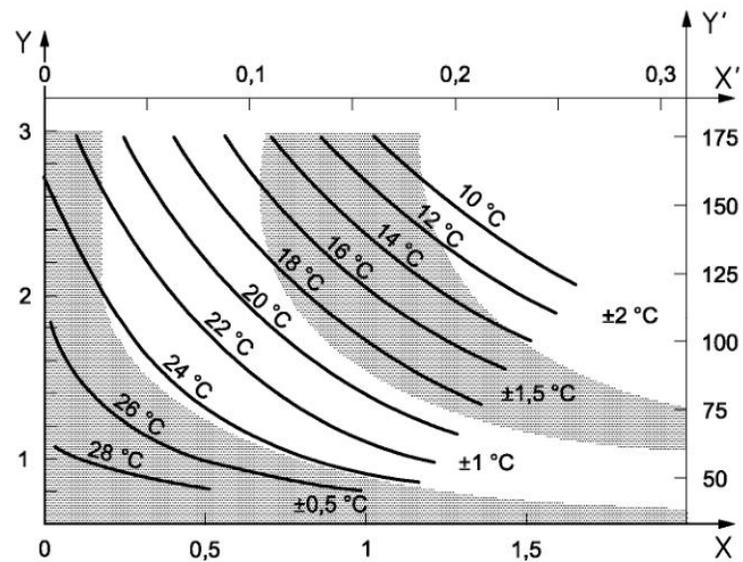


Figura 3-3: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría B.

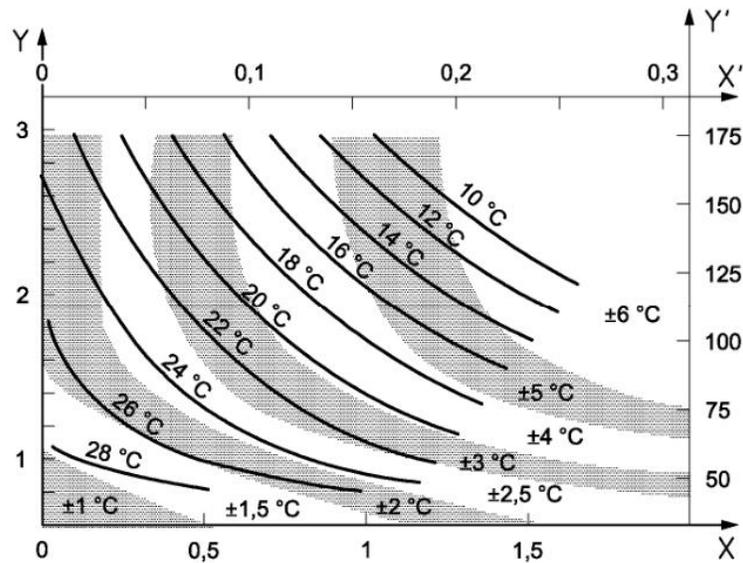


Figura 3-4: Niveles de temperatura de confort según la aislación de la ropa y la actividad realizada para la categoría C.

3.1.3.2. Temperatura operativa con calefacción mecánica

Cuando se tiene calefacción mecánica se debe considerar que el espacio utilizado no es constante en el tiempo por la movilidad intrínseca del humano, por lo que el rango de

temperatura está directamente relacionado con la temperatura exterior como se definen en la siguiente ecuación:

$$T_{m\acute{a}x,m\acute{i}n} = 0.31 \cdot T_{Ext} + 17.8 \pm 3.5$$

3.1.3.3. Condiciones de humedad relativa

Normalmente la humedad relativa afecta en la sensación térmica tal que cada 10% de aumento de esta, la sensación térmica se eleva en $0.3[^\circ\text{C}]$.

En general, no existen valores mínimos de humedad para un ambiente de confort, casos especiales son patologías como sequedad de la piel o irritación de ojos no se encuentran considerados. El valor máximo de humedad se establece respecto a una presión de vapor del agua de $1.910[\text{kPa}]$, generando que la máxima humedad relativa quede en función de la temperatura ambiente, la cual es ilustrada en la Figura 3-5.

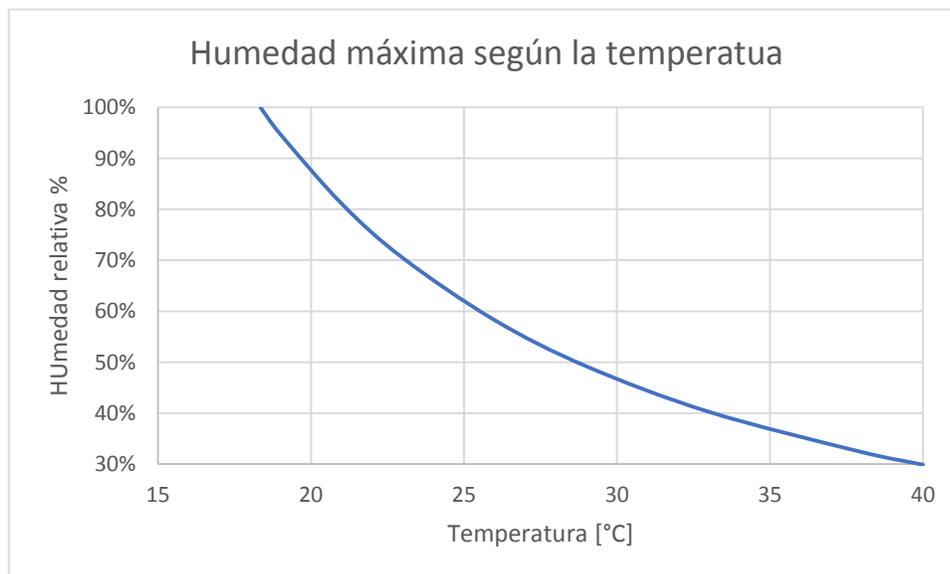


Figura 3-5: Curva de valor máximo de humedad relativa en función de la temperatura para condiciones higrotérmicas de confort.

3.2. Comparación de sistemas de adquisición

Se grafican los datos de mediados del mes de febrero de los distintos sistemas de medición y se generan los gráficos de Bland-Altman, obteniendo las siguientes figuras.

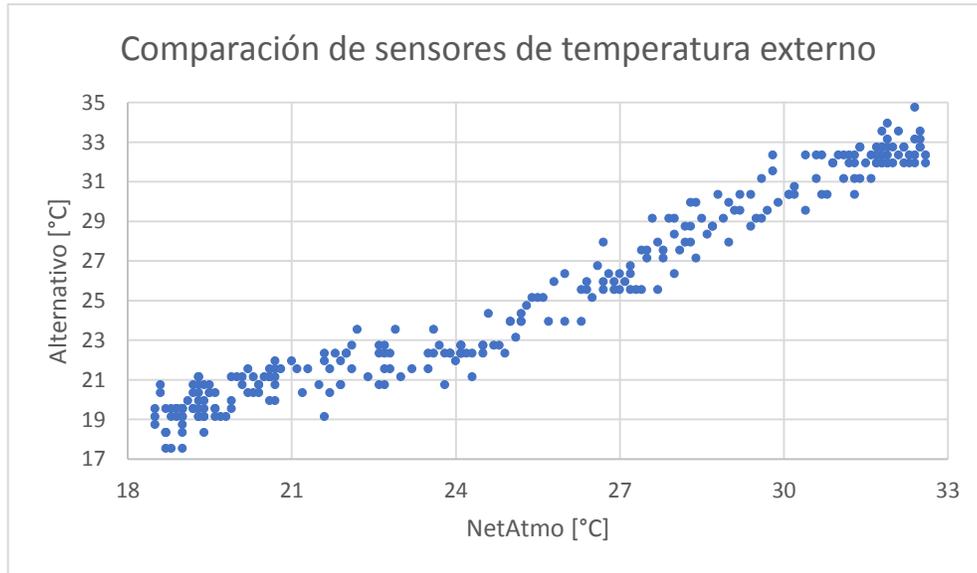


Figura 3-6: Comparación de correlación de mediciones de sensores de temperatura externo.

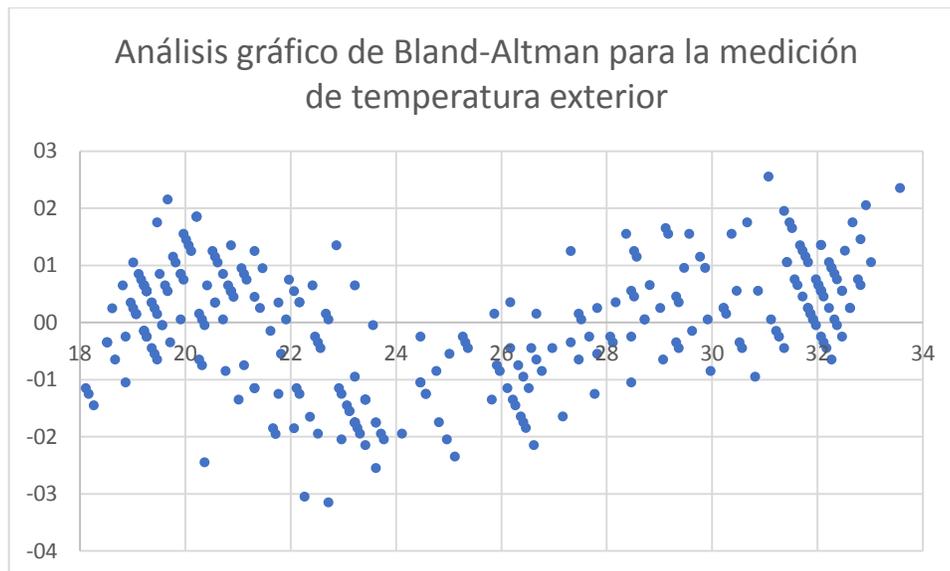


Figura 3-7: Gráfico de Bland-Altman para los sensores exteriores de temperatura.

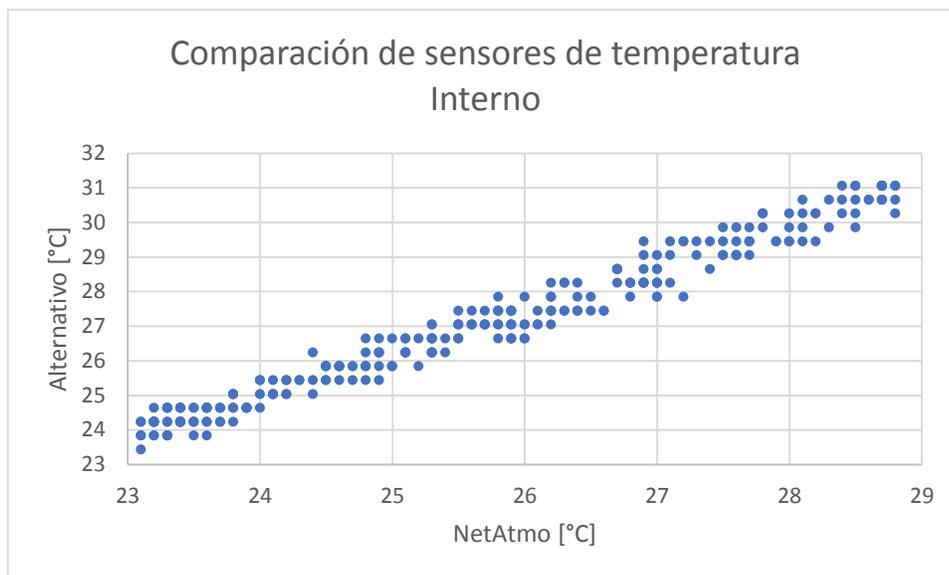


Figura 3-8: Comparación de correlación de mediciones de sensores de temperatura interno.

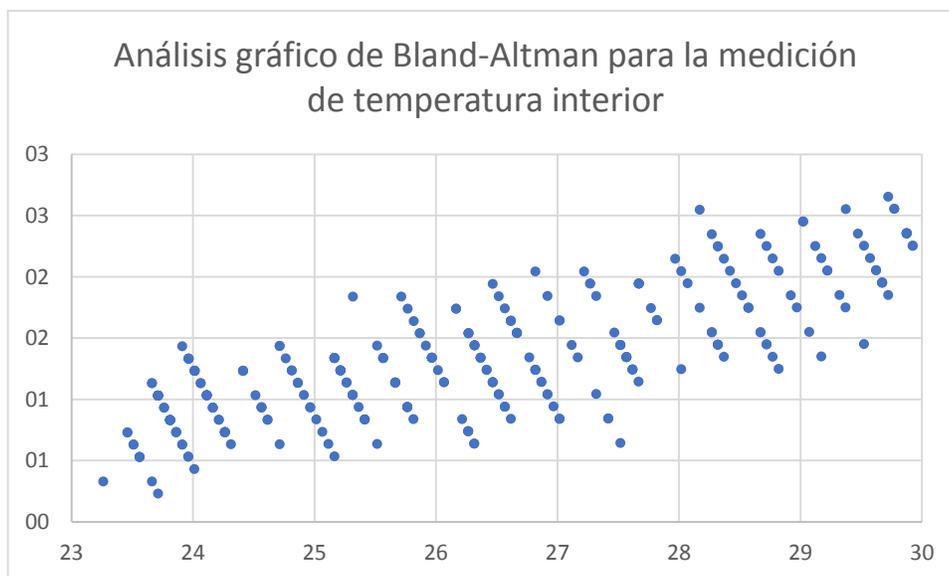


Figura 3-9: Gráfico de Bland-Altman para los sensores interiores de temperatura.

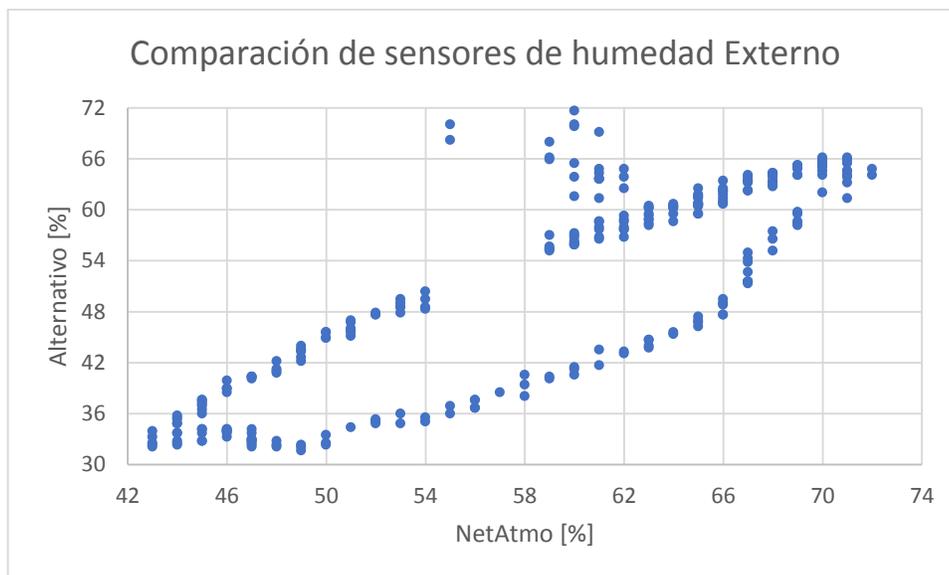


Figura 3-10: Comparación de correlación de mediciones de sensores de humedad externo.

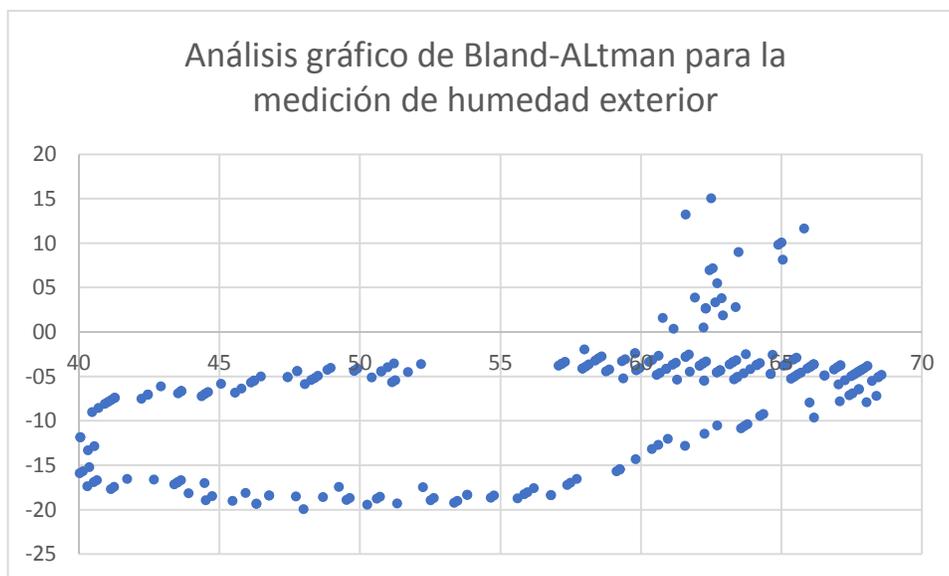


Figura 3-11: Gráfico de Bland-Altman para los sensores exteriores de humedad.

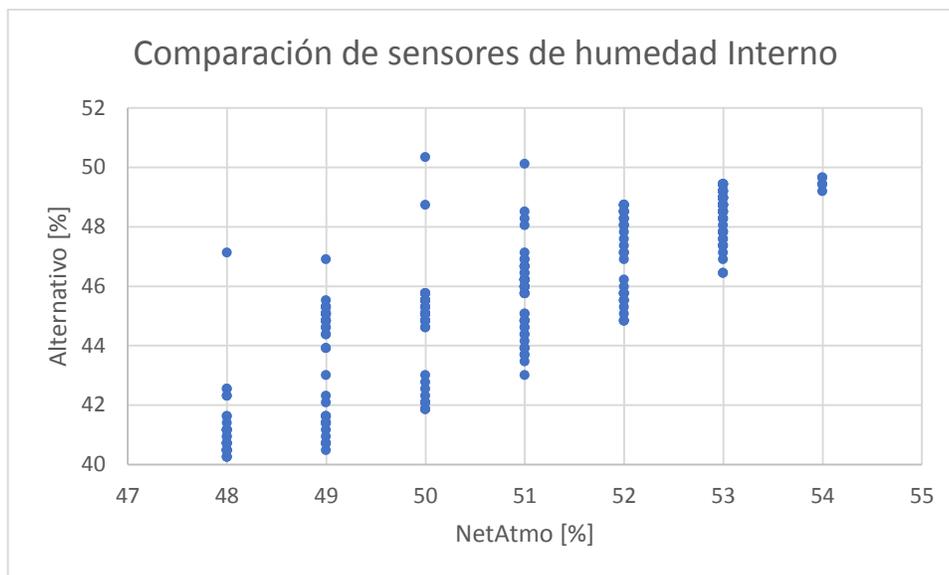


Figura 3-12: Comparación de correlación de mediciones de sensores de humedad interno.

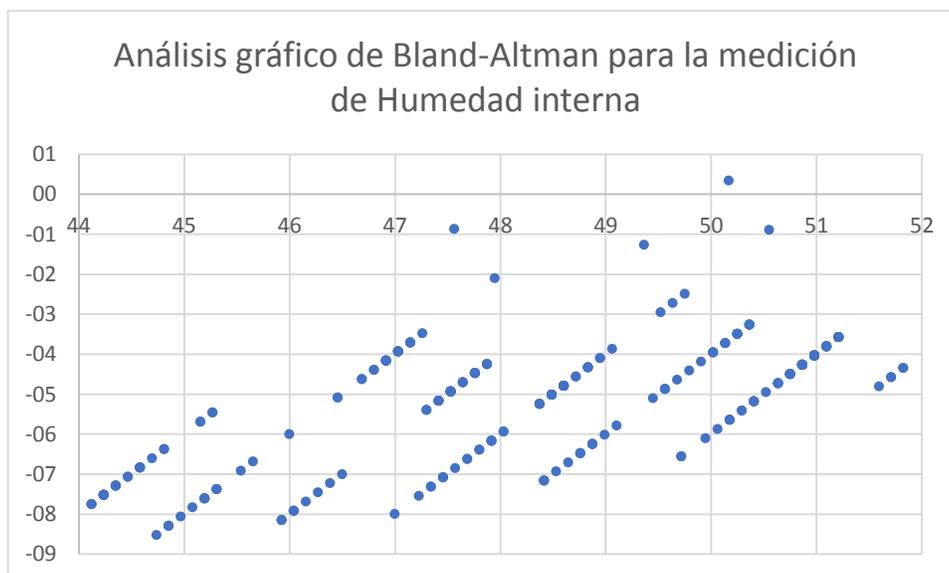


Figura 3-13: Gráfico de Bland-Altman para los sensores interiores de humedad.

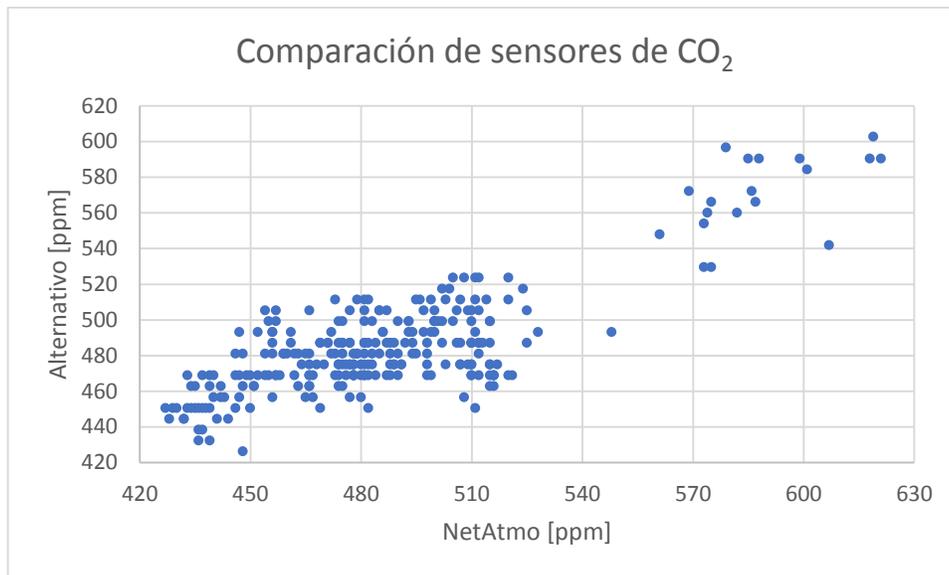


Figura 3-14 Comparación de correlación de mediciones de sensores de CO₂.

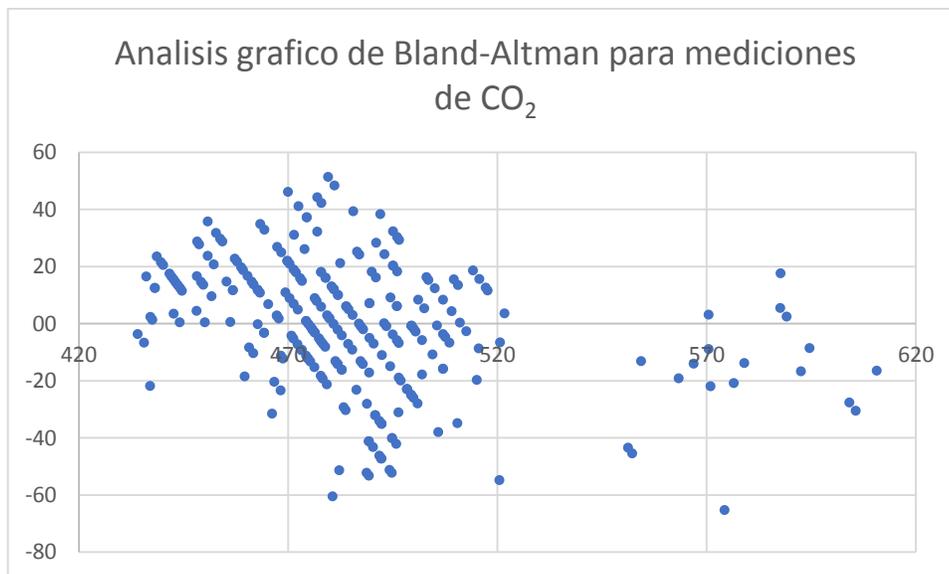


Figura 3-15: Gráfico de Bland-Altman para los sensores de concentración de CO₂.

Al comparar los sistemas de medición bajo los métodos del coeficiente de Pearson y el de Bland-Altman, se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 3-4: Resultados de la comparación de sistemas de medición mediante el coeficiente de Pearson y el método de Bland-Altman.

Variable	Coeficiente de Pearson	Método de Bland-Altman	
		Coeficiente	Parcialidad
Temperatura Exterior	0.97663	0.96479	-0.00229
Temperatura Interior	0.98574	0.93286	0.05016
Humedad Exterior	0.84201	0.96479	-0.15873
Humedad Interior	0.86700	0.95760	-0.10747
Concentración de CO2	0.80570	0.93704	-0.00108

AL observar la Tabla 3-4, se aprecia que según el coeficiente de Pearson, solo la medición de la temperatura, tanto interna como externa se encuentran con un número cercano a 1, mientras que al ver el coeficiente del método de Bland-Altman, este valor, que como se mencionó también debe ser cercano a 1, decae, y solo el valor de la temperatura exterior se considera dentro de un margen válido, esto contrastado con la parcialidad del mismo método, también se considera que solo la temperatura exterior tiene un valor de parcialidad cercano a 0, por lo que el sistema de adquisición solo posee la temperatura exterior como medición válida para la muestra, por lo que no se logró obtener un sistema alternativo válido para la medición de las mismas variables que el módulo de adquisición NetAtmo.

3.3. Realidad de contexto ambiental

El estudio ha sido realizado en la comuna de Peñalolén, ubicada en el sector este de la Región Metropolitana, siendo una comuna precordillerana como se puede observar en la Figura 3-16. En esta también se muestra el sector donde se encuentran las viviendas en estudio, las cuales se localizan al este de la comuna, estando aún más cerca de la Cordillera de los Andes.

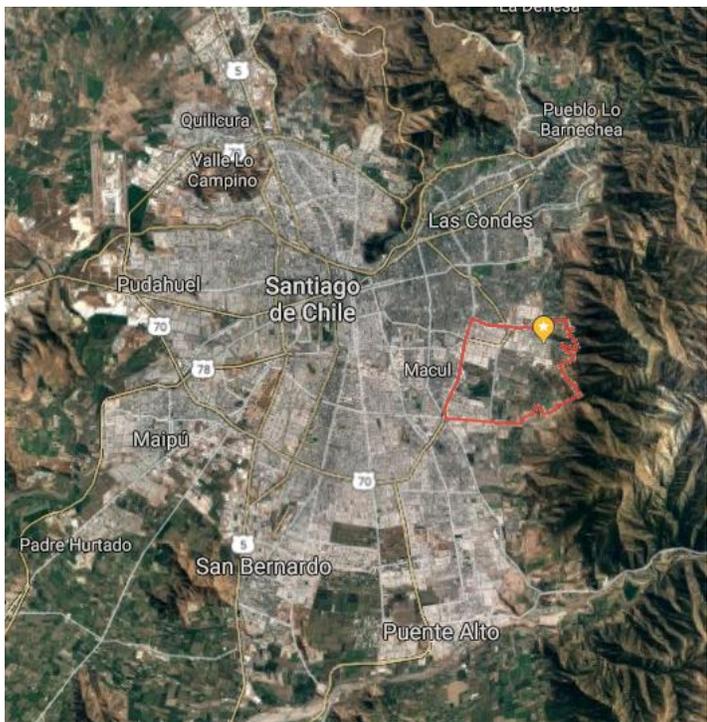


Figura 3-16: Ciudad de Santiago, destacando la comuna de Peñalolén y marcando la ubicación de las viviendas donde se realiza la medición.

Este factor genera que la zona sea más fría y seca durante el invierno alcanzando temperaturas bajo cero durante gran parte de este. Se deja el histograma del año 2018.

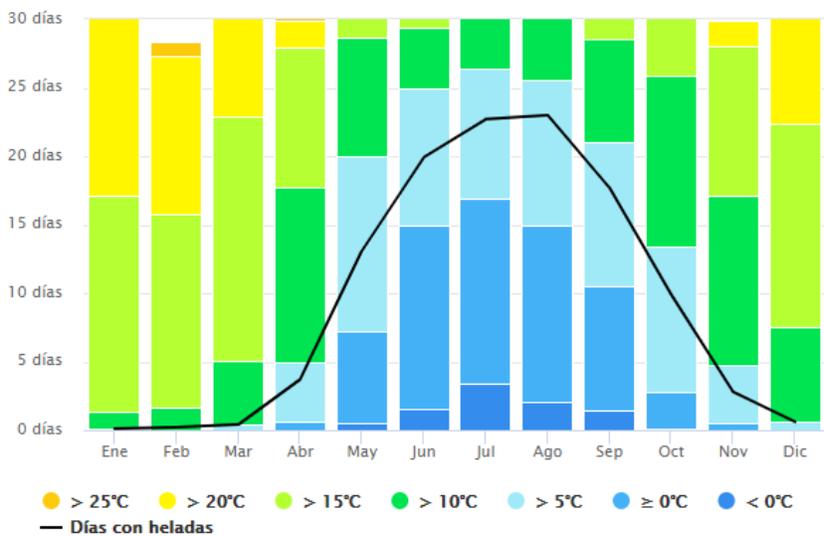


Figura 3-17: Histograma de temperaturas por mes del año 2018 en la comuna de Peñalolén.

Por otro lado, los vientos que se generan por estar en la pendiente a la cordillera desde Santiago, generando por un lado una menor sensación térmica, pero por otro una ventilación natural que evita el acopio de gases contaminantes o nocivos para la salud. La velocidad y la dirección de los vientos se pueden observar en la Figura 3-18 y Figura 3-19 respectivamente

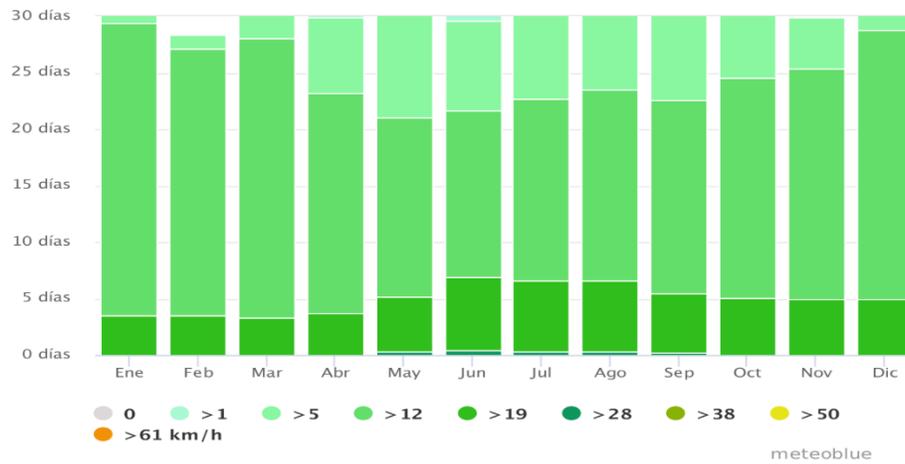


Figura 3-18: Histograma de velocidad del viento por mes del año 2018 en la comuna de Peñalolén.

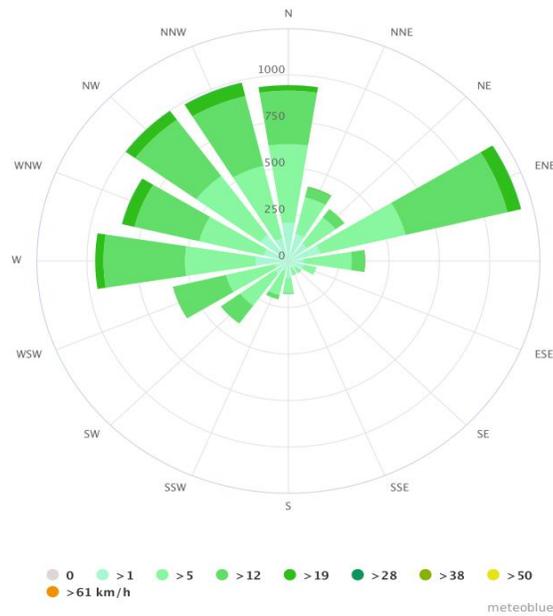


Figura 3-19: Rosa de vientos del año 2018 en la comuna de Peñalolén.

Se puede observar de la Figura 3-18 que no existen vientos sustancialmente fuertes en la zona, por lo que su efecto en temperatura será analizando la Figura 3-19, donde se puede observar que los principales vientos se generan en un abanico que abarca de dirección Norte al Oeste, y que existe un pico hacia el Estenordeste. Se considera que esto se debe a que los vientos principalmente van hacia el Norte, pero como existe la cordillera al Este, actúa como muralla que impide que se generen vientos en esa dirección y que se amplifiquen los vientos hacia el Norte y el Oeste en el abanico mencionado, mientras que el pico hacia el Estenordeste se genere por la geografía específica del sector de Peñalolén y la cordillera que concatene vientos hacia esa dirección.

A continuación, se detalla el espacio de cada vivienda de forma individual

3.3.1. Vivienda 01

- No posee modificaciones ni mantención de los paneles LAD-MA, generando incluso deterioro de este.
- El entorno del módulo se encuentra principalmente cerrado, evitando una buena ventilación del espacio.
- Piso de cemento

3.3.2. Vivienda 02

- Se realizaron modificaciones, estucando el interior de los paneles con cemento, y pintándolos por fuera y por dentro. De cada 3 a 5 años se realizan mantenciones.
- Entorno cerrado, evitando una buena ventilación
- Piso de cerámica

3.3.3. Vivienda 03

- Se realizaron modificaciones, estucando el interior de los paneles con cemento, y pintándolos por fuera y por dentro. De cada 3 a 5 años se realizan mantenciones.
- La vivienda cuenta con un patio amplio y ventanales amplios, además dejaron espacio en la entrada, factores que le dan una muy buena ventilación.
- Piso de cerámica

3.3.4. Vivienda 04

- Se realizaron modificaciones, estucando el interior de los paneles con cemento, y pintándolos por fuera y por dentro. De cada 3 a 5 años se realizan mantenciones.
- La vivienda se encuentra a mayor altura que las demás, teniendo una muy buena entrada para ventilación, no obstante, la salida hacia el patio es más reducida, disminuyendo el potencial de cambio de aire.
- Piso de cerámica

3.4. Comportamiento de las variables en las viviendas mensual y promedios diarios

La instalación de los equipos se realizó efectivamente en las cuatro viviendas en el mes de febrero, no obstante, por problemas logísticos se discontinuó la conexión a internet durante el mes de marzo, impidiendo la adquisición de datos por parte de estos módulos, ya que estos no poseen memoria interna para almacenar datos sin conexión.

Con la toma de datos de los sistemas de medición NetAtmo, se buscó el promedio diario para poder graficar un valor representativo de cada día y poder observar el comportamiento de las variables en medición, correspondiente a Temperatura y Humedad relativa.

Los gráficos mensuales se ordenan por variable medida separada en los meses.

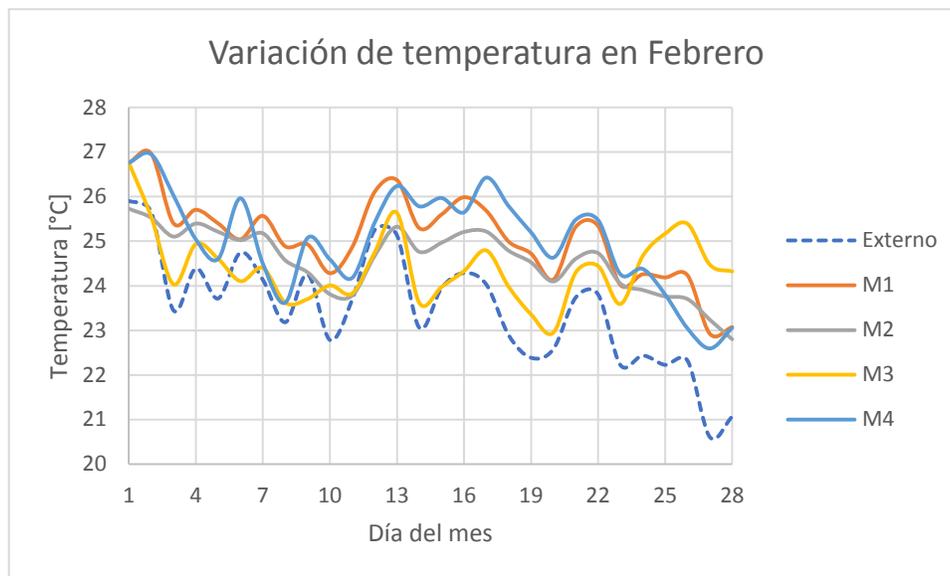


Figura 3-20: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de febrero.

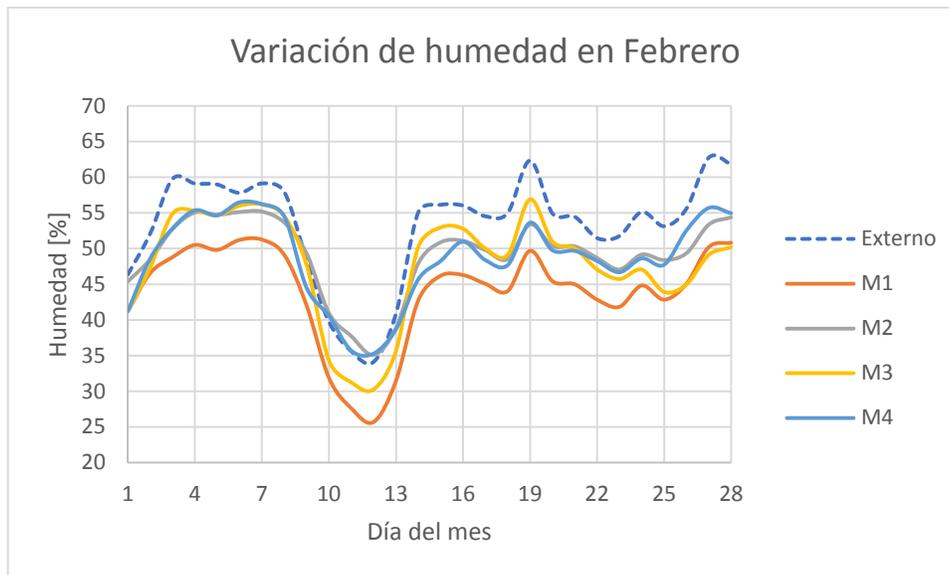


Figura 3-21: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de febrero.

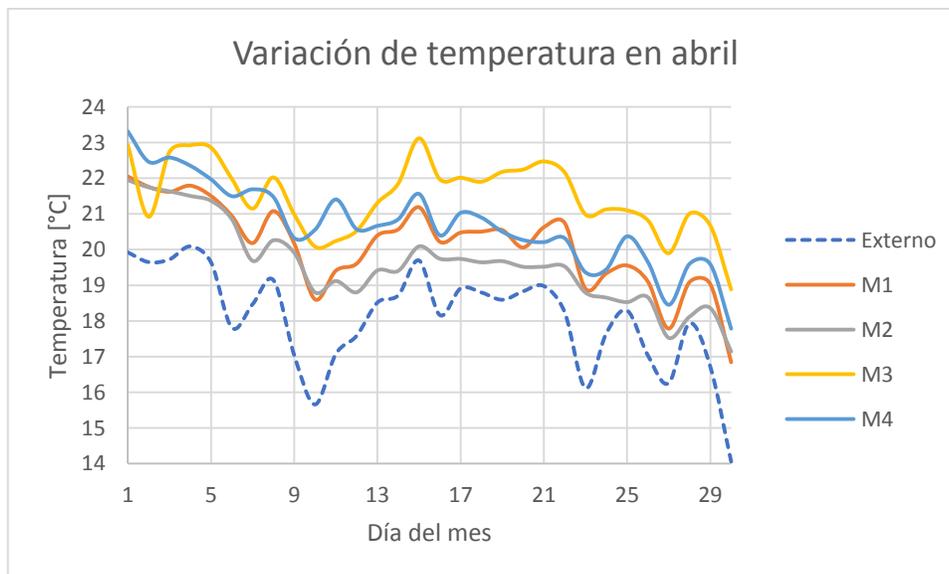


Figura 3-22: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de abril.

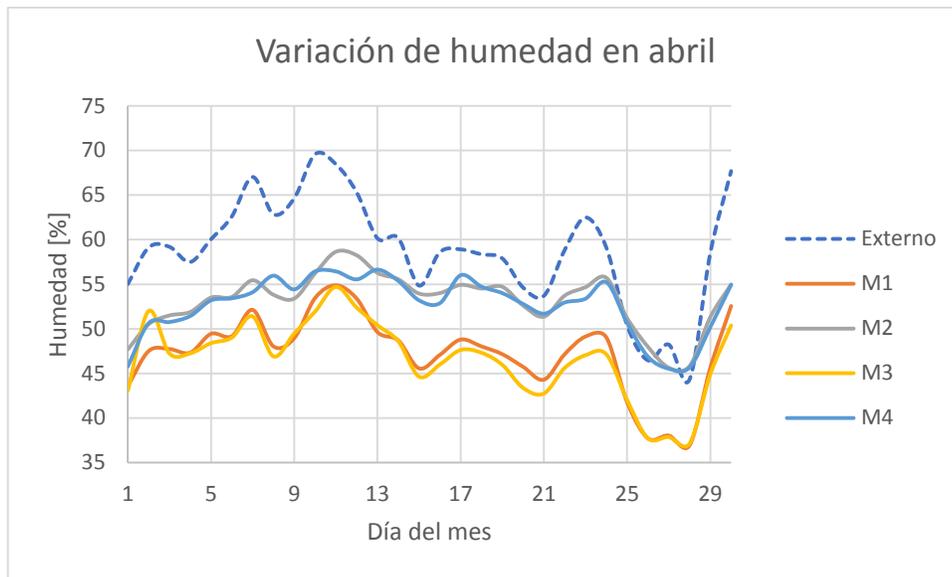


Figura 3-23: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de abril.

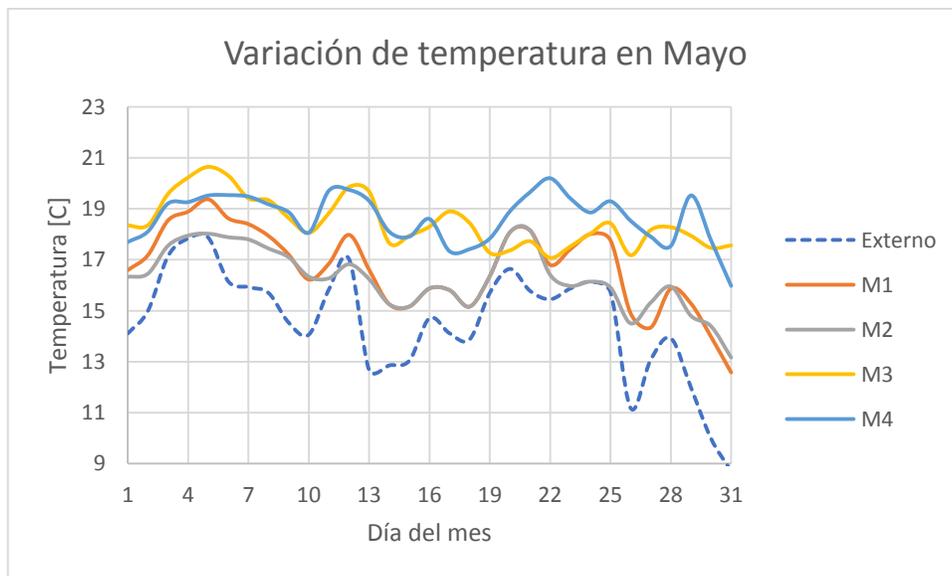


Figura 3-24: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de mayo.

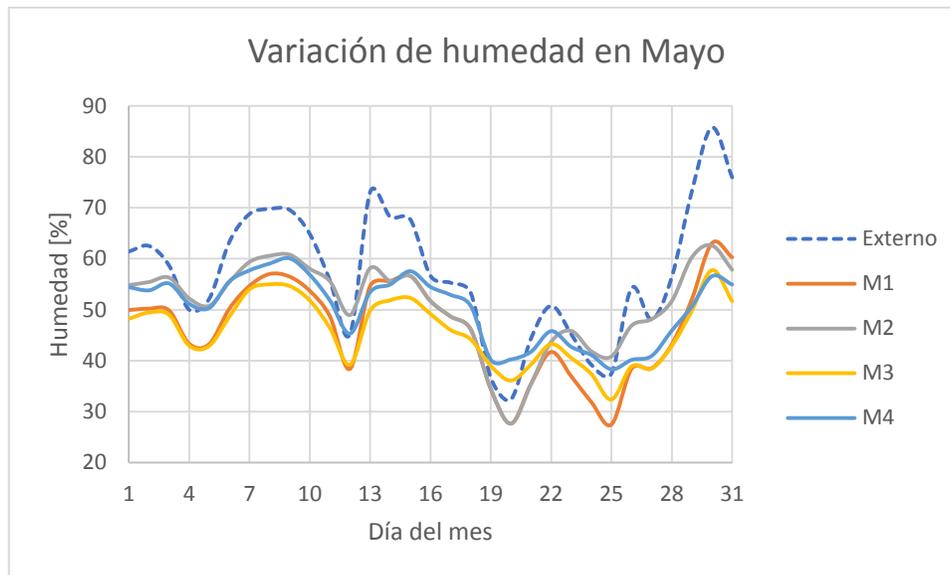


Figura 3-25: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de mayo.

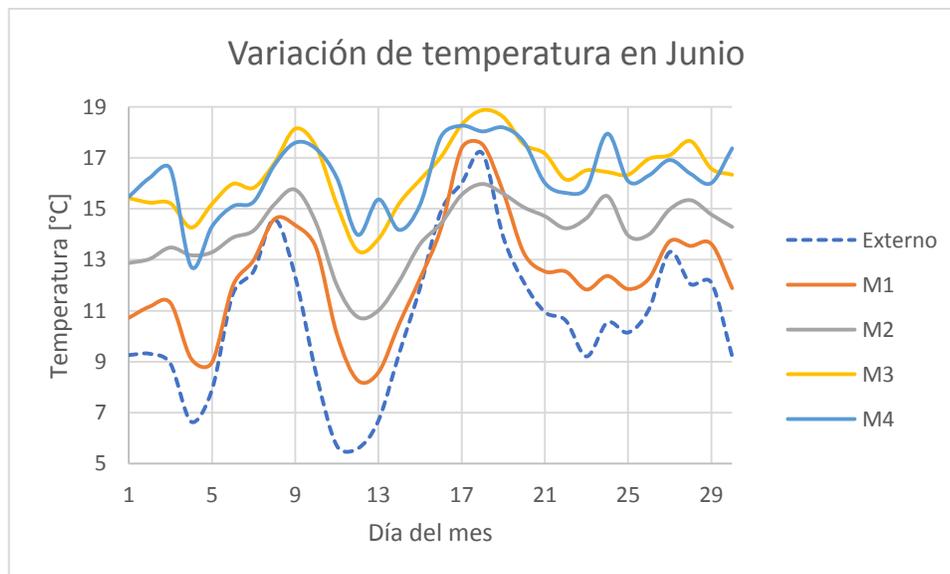


Figura 3-26: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de junio.

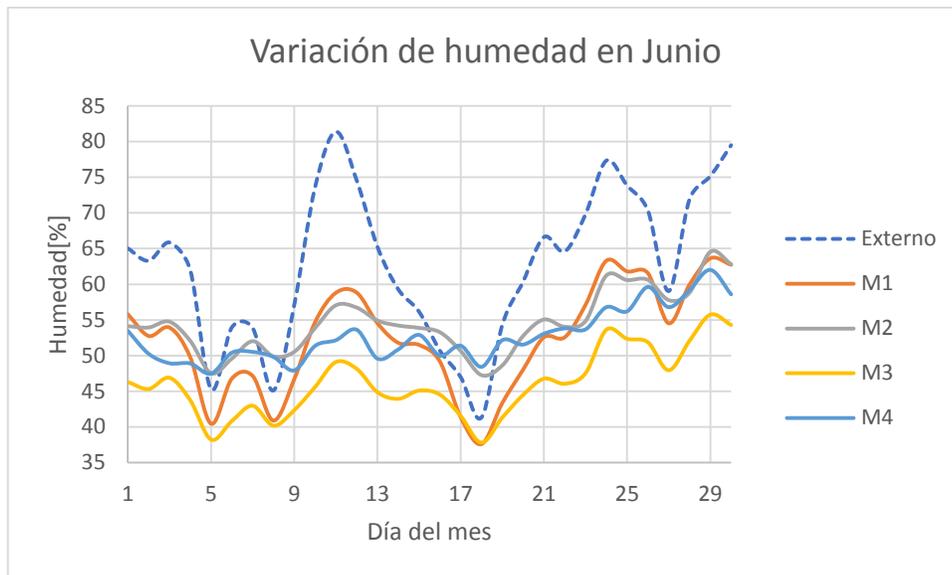


Figura 3-27: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de junio.

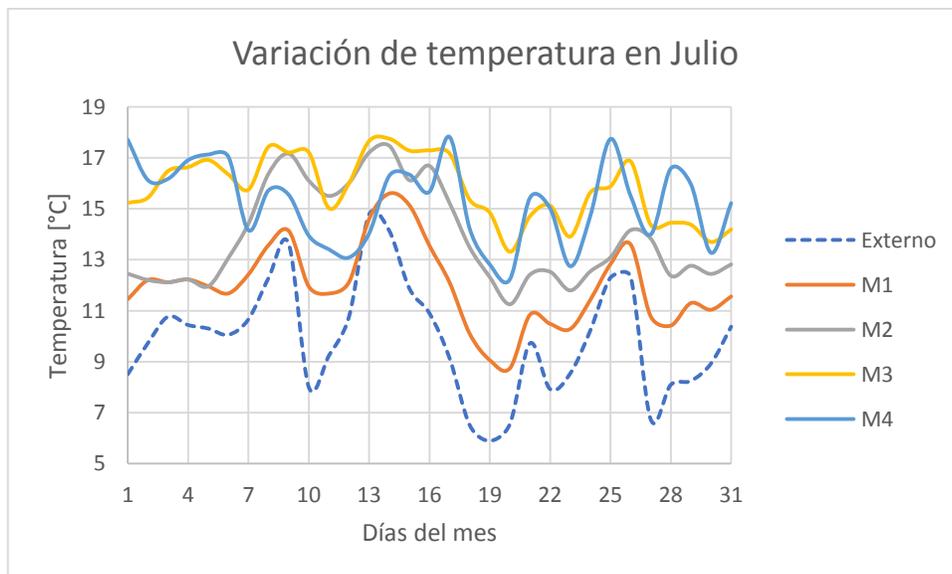


Figura 3-28: Temperatura promedio diaria a lo largo del mes de julio.

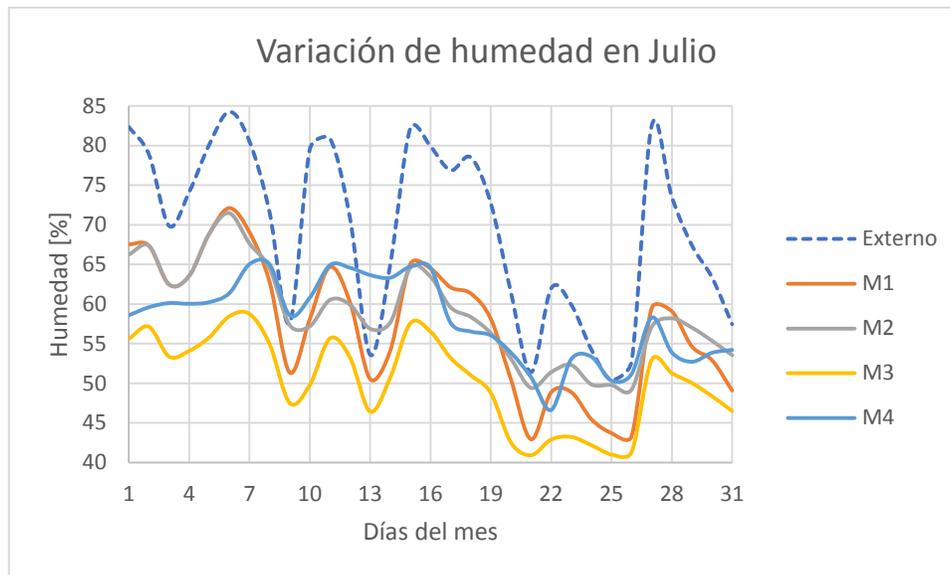


Figura 3-29: Humedad relativa promedio diaria a lo largo del mes de julio.

Análogamente, se realizó un promedio de las horas diarias de los días de cada mes para determinar el comportamiento de las variables interiores en función de las condiciones periódicas del día, las cuales se muestran a continuación.

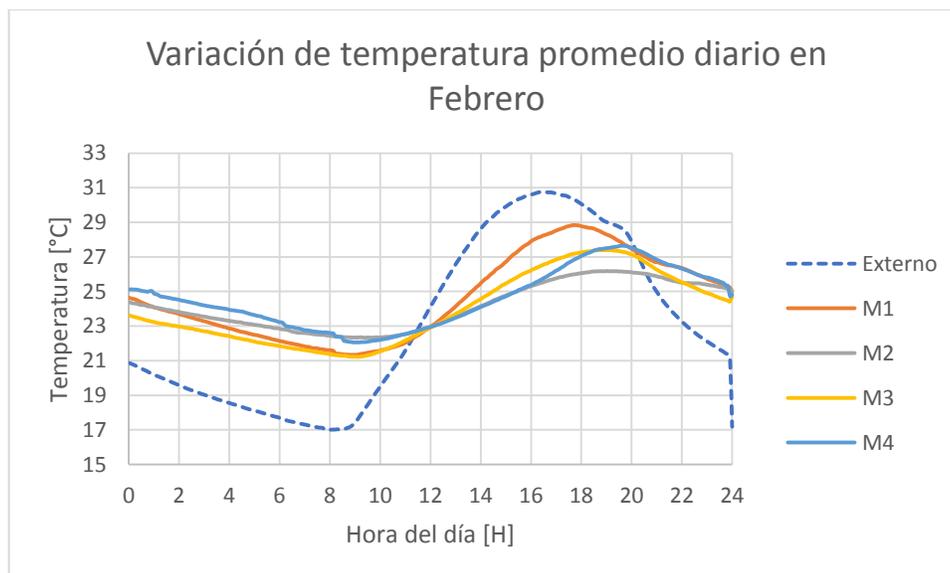


Figura 3-30: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante febrero.

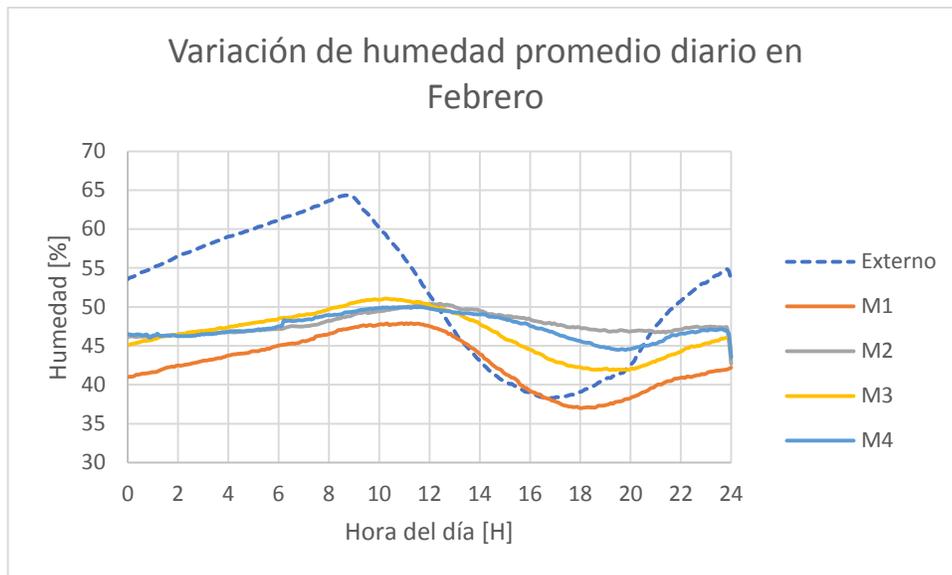


Figura 3-31: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la humedad relativa durante febrero.

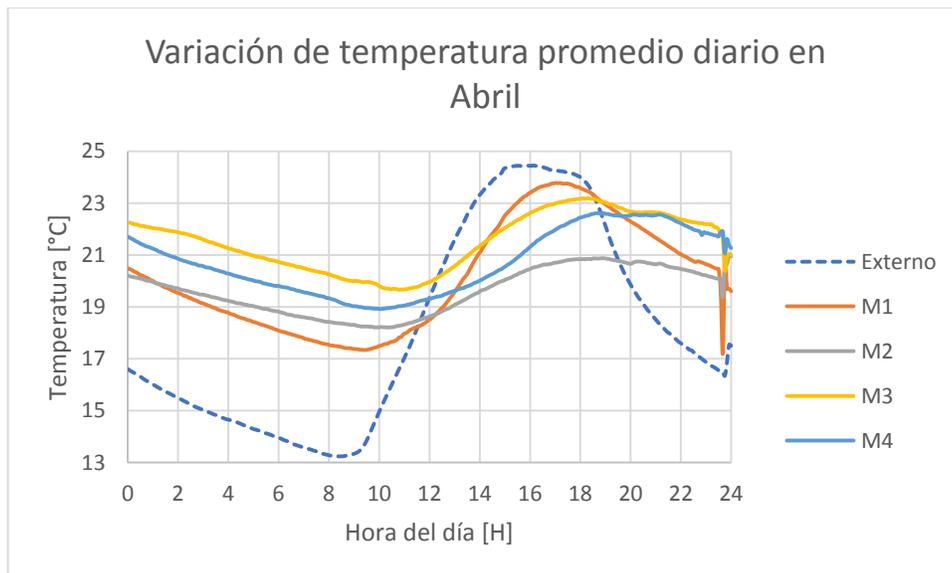


Figura 3-32: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante abril.

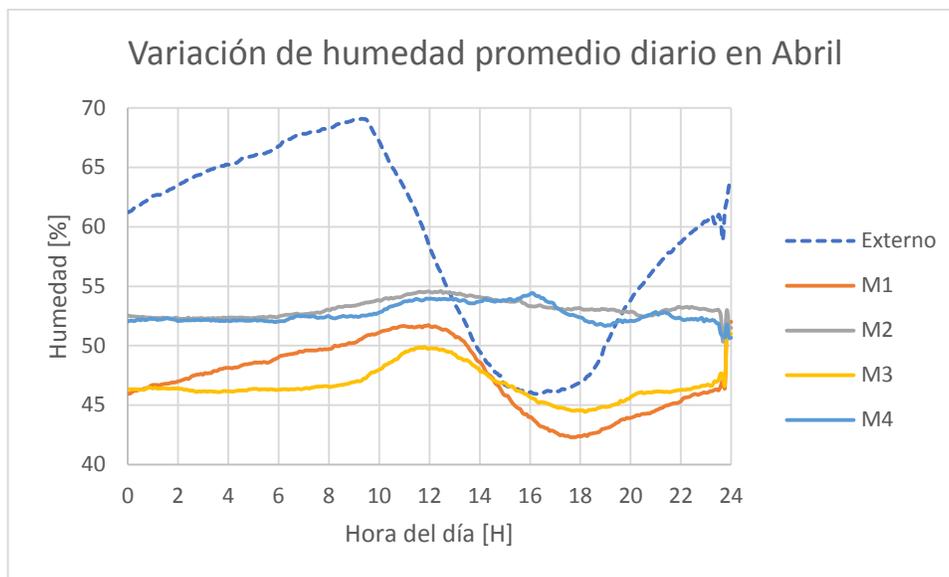


Figura 3-33: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la humedad relativa durante abril.

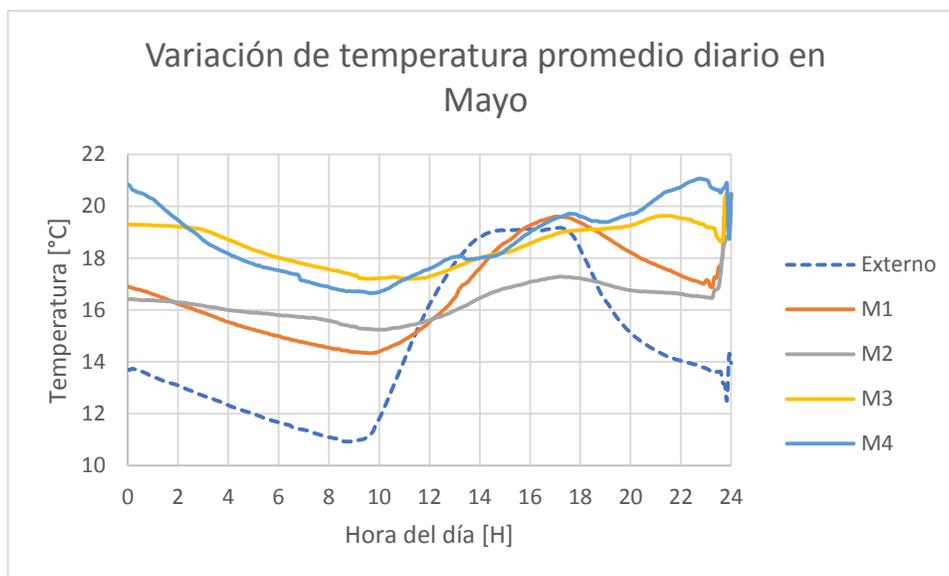


Figura 3-34: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante mayo.

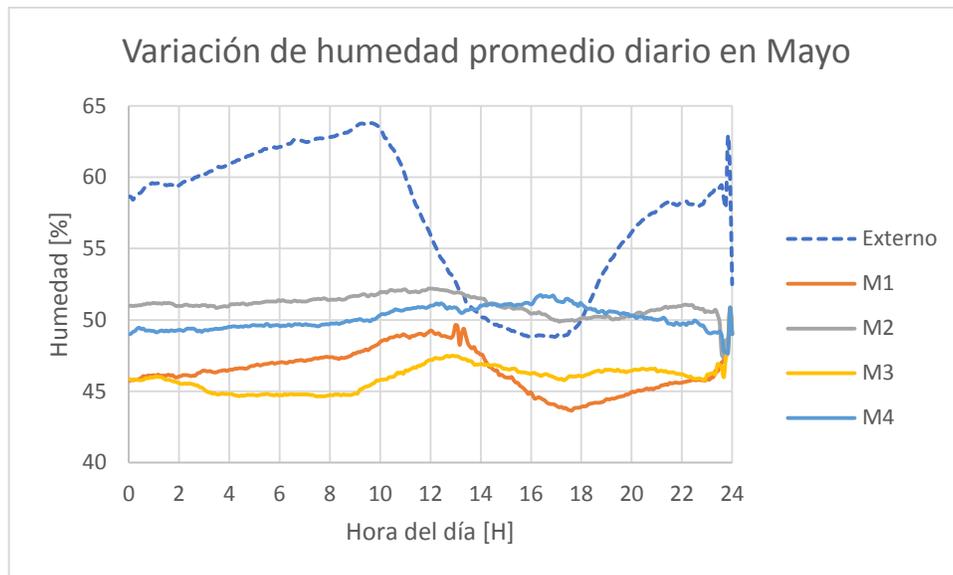


Figura 3-35: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la humedad relativa durante mayo.

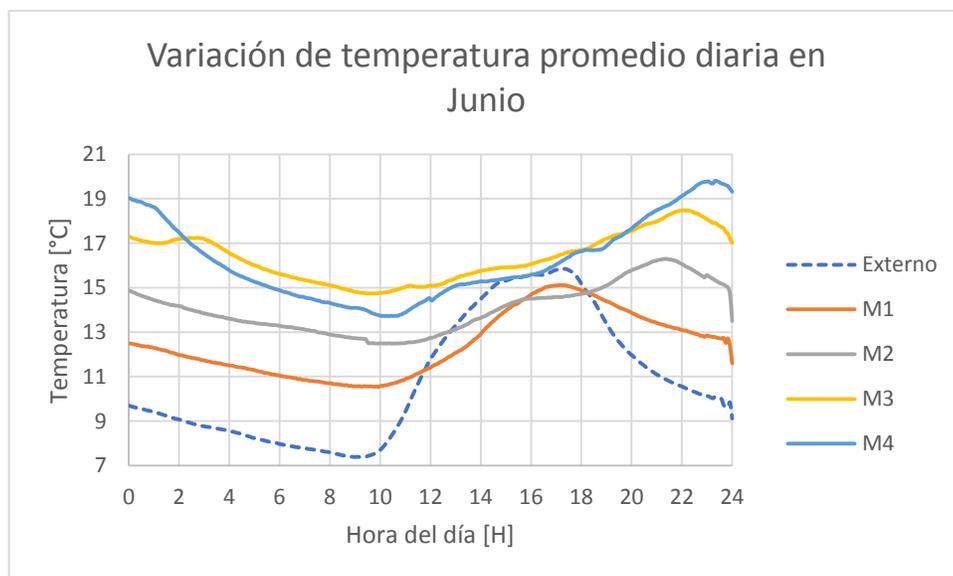


Figura 3-36: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante junio.

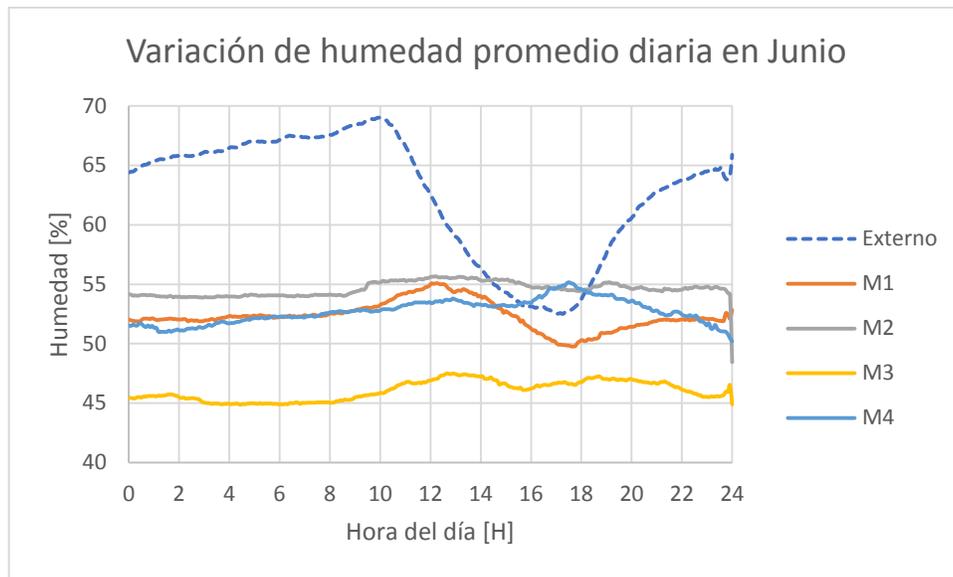


Figura 3-37: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la humedad relativa durante junio.

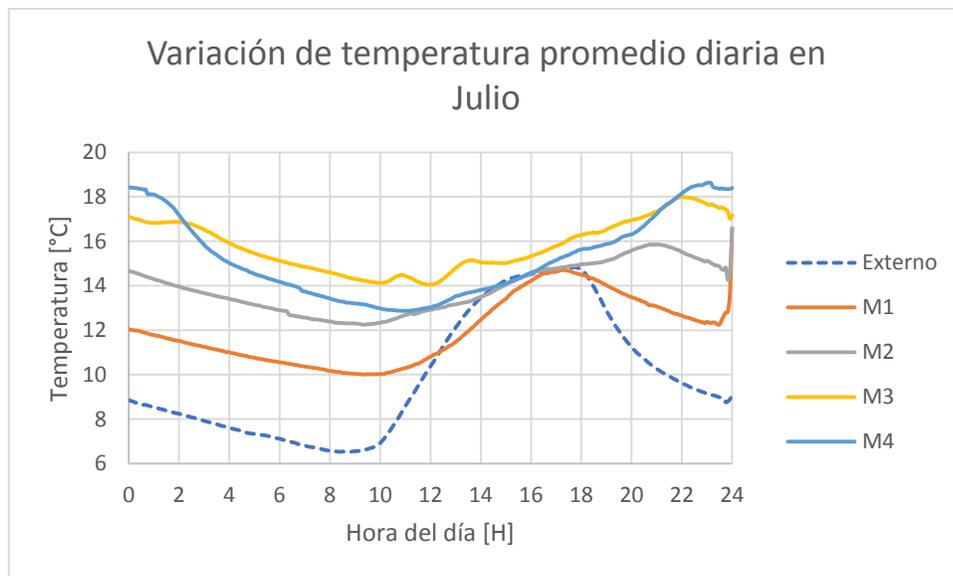


Figura 3-38: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura durante julio.

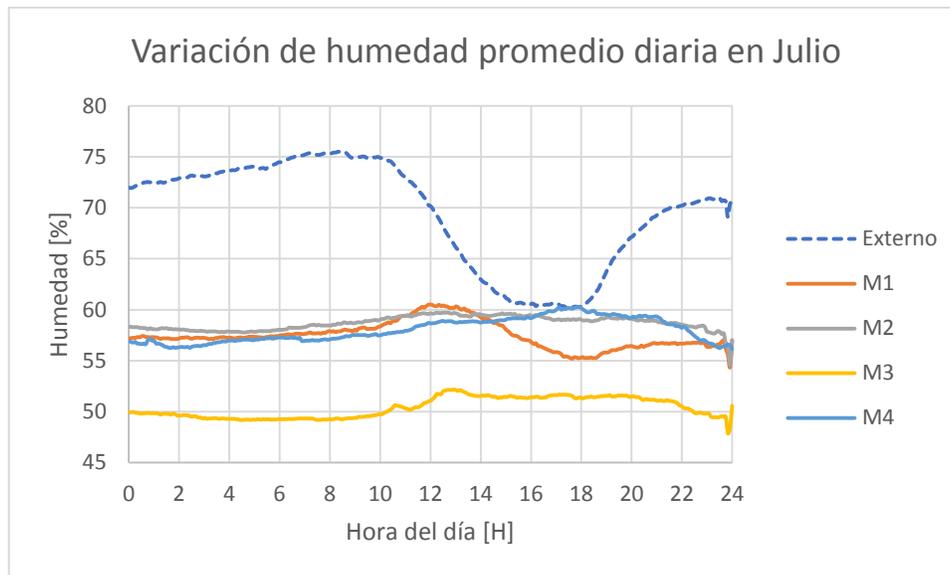


Figura 3-39: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la humedad relativa durante julio.

3.5. Confort térmico de las viviendas

Para poder analizar el confort térmico, los meses de muestra se dividirán en verano e invierno, a pesar de que también está incluido el otoño, no obstante, esta división de verano e invierno se realiza en función del nivel de abrigo utilizado que se expresan en el detalle de las normas del Capítulo 1.1 y no de variables medioambientales. Por otro lado, en el caso de la evaluación según la norma ASHRAE 55 se evaluará para los casos con y sin calefacción, donde esta información fue entregada por los usuarios y es expuesta en la

Tabla 3-5: Detalle del uso de calefacción según los usuarios de las viviendas.

Vivienda	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio
01					
02			*	*	*
03			*	*	*
04			*	*	*

Con lo mencionado se muestran los resultados de confort térmico de cada módulo durante los meses de evaluación.

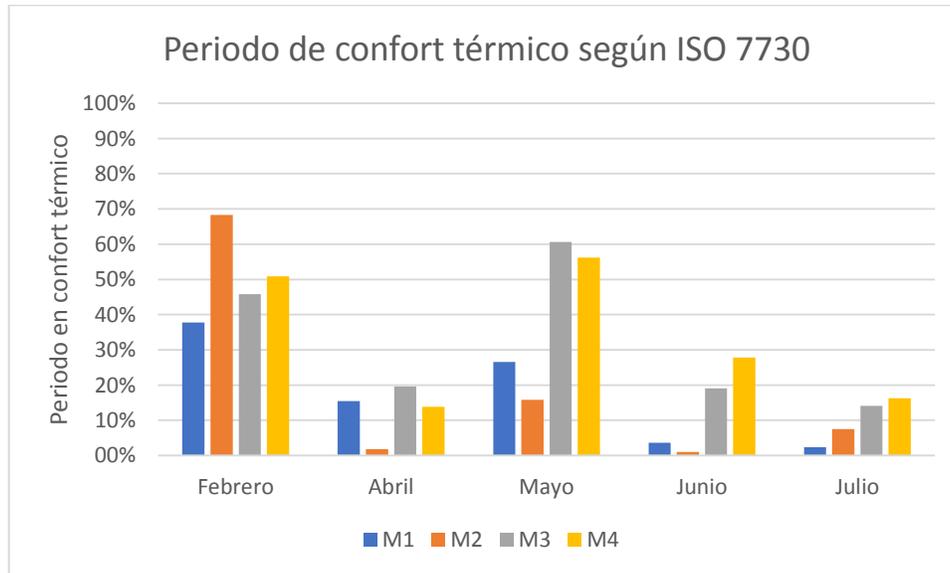


Figura 3-40: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas a lo largo de los meses de medición según la norma ISO 7730.

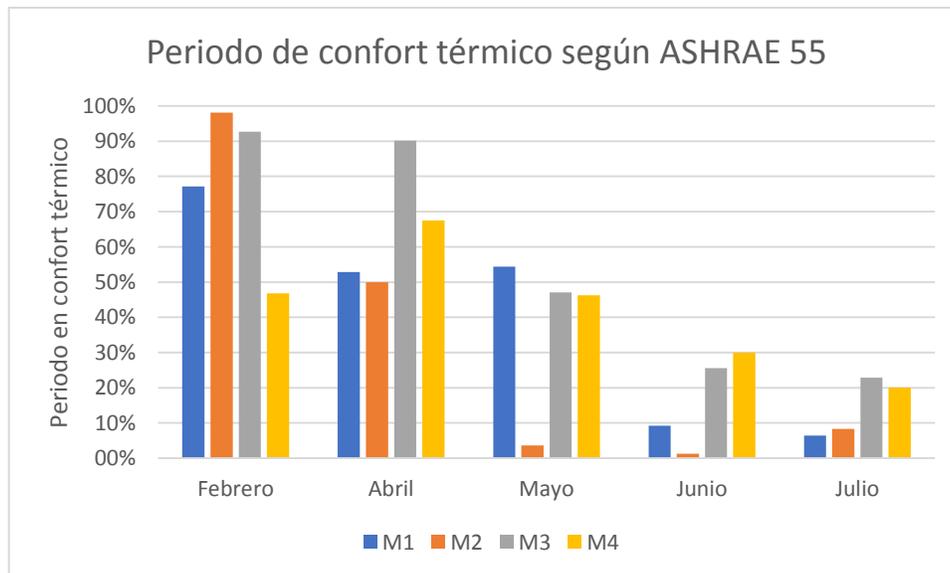


Figura 3-41: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas a lo largo de los meses de medición según la norma ASHRAE 55.

Si bien se busca que las edificaciones con el sistema constructivo LAD-MA siempre cumplan con las condiciones de confort, en el caso de las viviendas en evaluación también se considerará el periodo estimado en el que sea efectivo el uso de ésta. El periodo para evaluar es desde las 7:00 a las 9:00 horas, que es cuando las personas se preparan para salir a trabajar, y luego desde las 16:00 a las 23:00 horas, periodo entre que empiezan a volver a sus casas y se van a acostar.

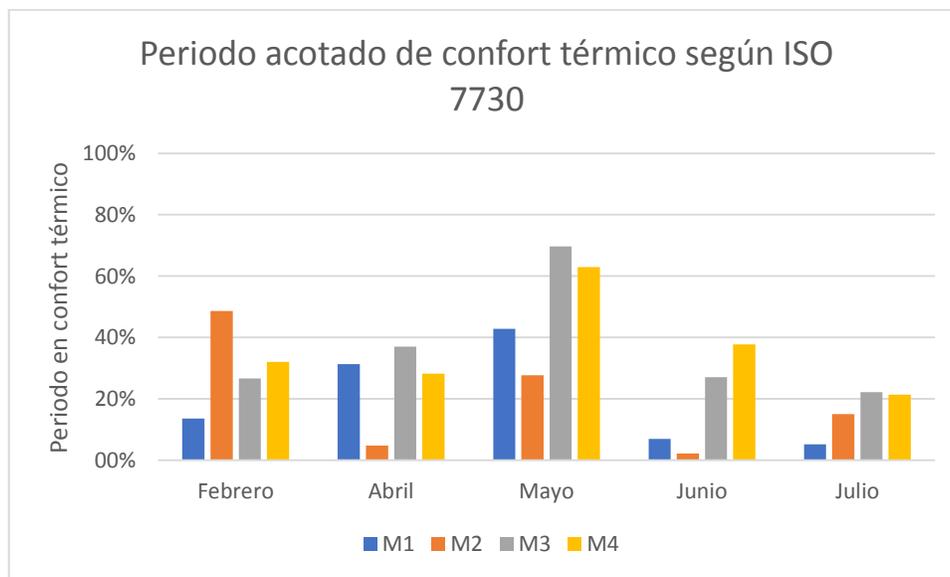


Figura 3-42: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas en un horario acotado a lo largo de los meses de medición según la norma ISO 7730.

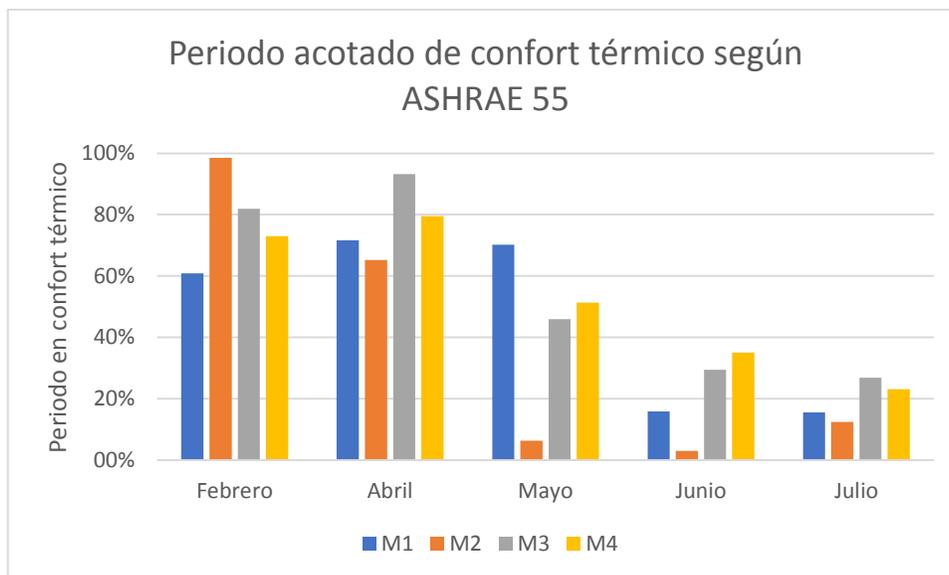


Figura 3-43: Periodo porcentual en confort térmico de las distintas viviendas en un horario acotado a lo largo de los meses de medición según la norma ASHRAE 55.

Al comparar los gráficos según la norma utilizada para la evaluación se puede observar, tanto en los de tiempo completo como los con periodo acotado que el porcentaje de confort térmico es mayor cuando se utiliza la norma ASHRAE 55, no obstante, se ha de considerar que para obtener las condiciones de confort de la norma ISO 7730 se desarrollaron mediante los parámetros de PMV y PPD, pues estos no estaban determinados de forma explícita, mientras que la norma ASHRAE 55 se basa en cuales deben ser las condiciones ambientales para el confort térmico, sino que además estos parámetros son adaptativos, lo que es más coherente considerando que el ser humano es per se un ser adaptativo al ambiente.

En general, se observa que el periodo de confort decae a medida que se acerca el invierno, por lo que se puede inferir que existe una disipación de calor, como puede ser el tipo de material en el piso de la vivienda, ya que cada usuario se encargó de forma independiente, variando desde madera a losa.

3.6. Variación de CO₂ en función del uso de la vivienda

Como se mencionó con anterioridad, en la búsqueda de un estado de confort es común tener fuentes de calor durante el invierno, no obstante, esto puede traer consecuencias adversas en función de qué tipo de calefacción se utilice por la producción de gases contaminantes. Se puede observar de las variaciones mensuales, como en invierno, se genera una correlación entre el aumento de la temperatura, el tipo de calefacción utilizado y el aumento de CO₂, para realizar en detalle la comparativa se observarán en más detalle los meses de febrero y julio como meses representativos de verano e invierno.

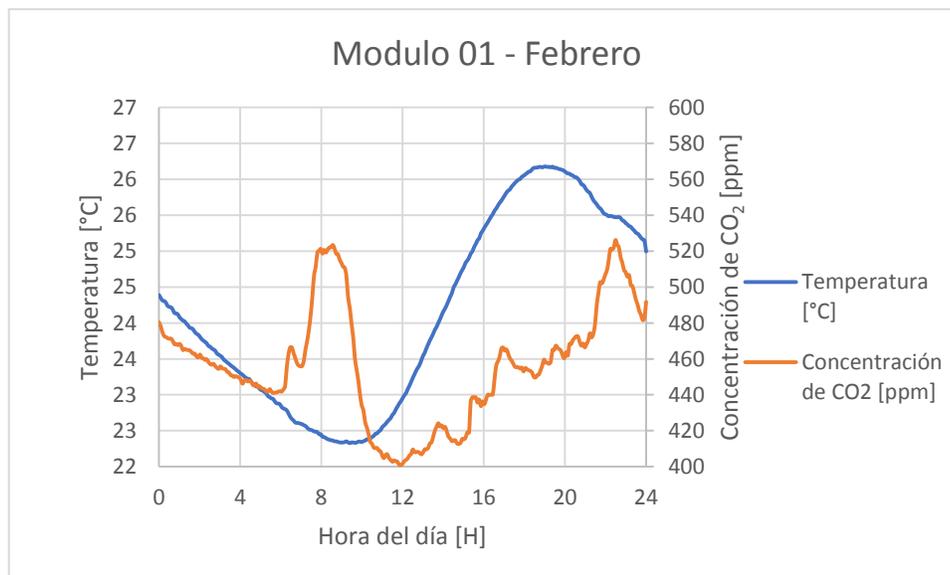


Figura 3-44: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante febrero en la vivienda 01.

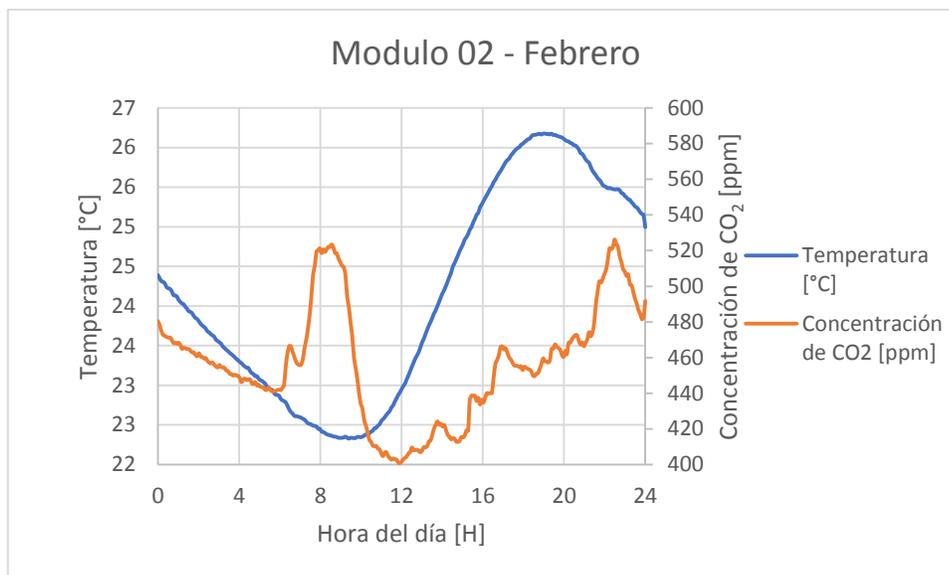


Figura 3-45: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante febrero en la vivienda 02

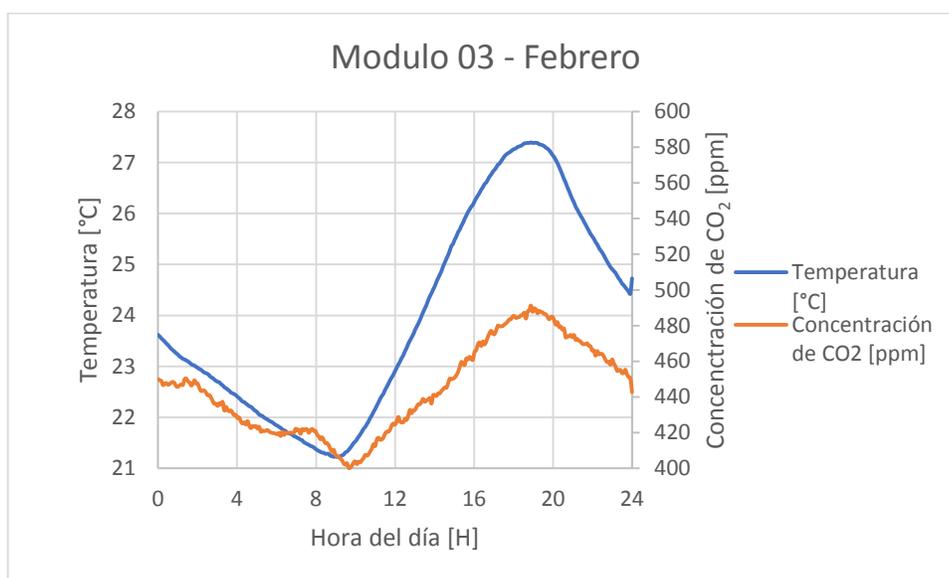


Figura 3-46: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante febrero en la vivienda 03

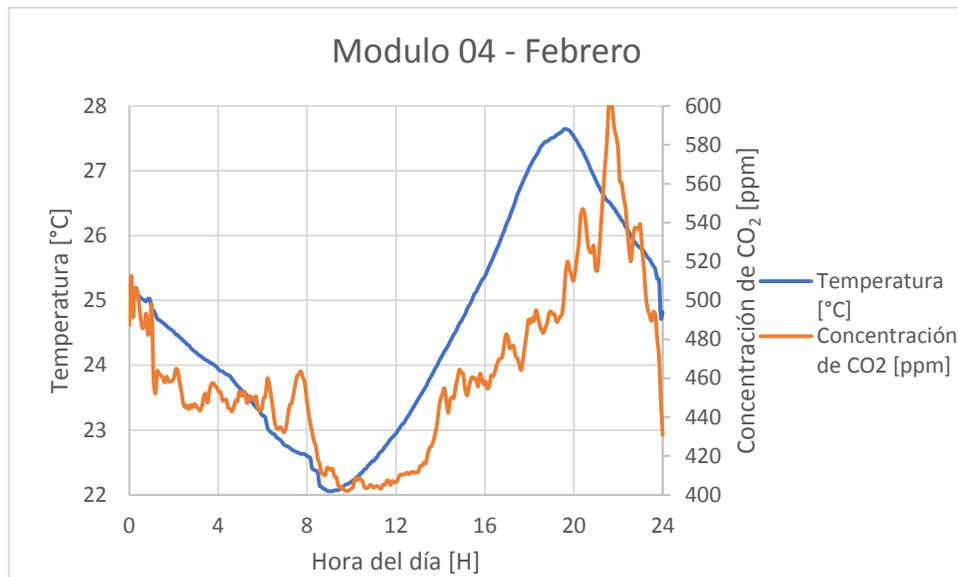


Figura 3-47: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante febrero en la vivienda 04

Se puede observar que existe variación coherente entre CO₂ y la temperatura interior de las viviendas, no obstante, igualmente se puede observar que la concentración de CO₂ tiene quiebres en distintos horarios, específicamente durante la mañana cerca de las 6:00 hasta las 8:00 y luego de las 16:00 en adelante. El primero de estos horarios se puede relacionar con la hora en que en un hogar promedio entra en actividad para ir a trabajar, explicando porque también se genera la baja a las 8:00 hrs. Por otro lado, el segundo horario puede representar el inicio de actividad por retorno al hogar donde se genera un quiebre aún mayor después de las 20:00 hrs, por lo que el aumento de CO₂ se generaría por ocupación.

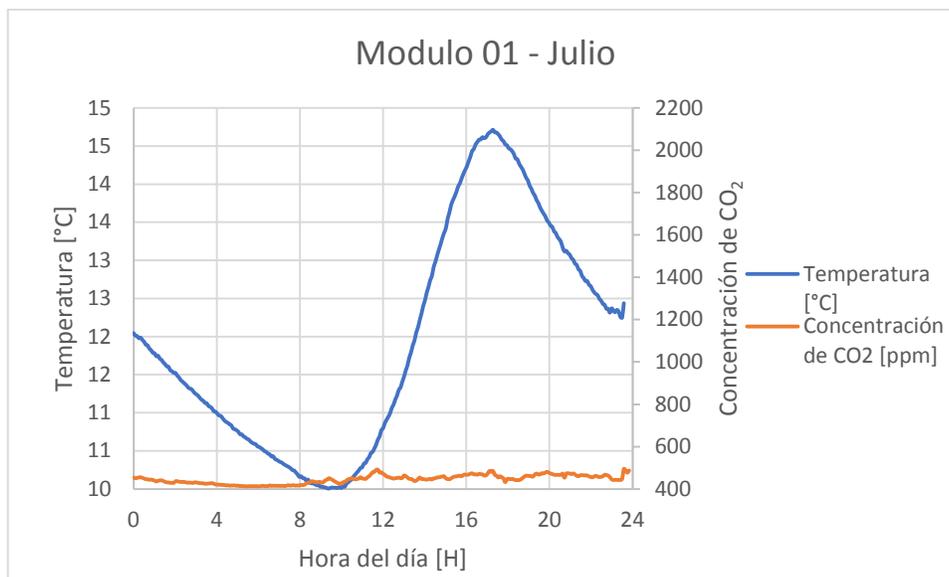


Figura 3-48: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante julio en la vivienda 01.

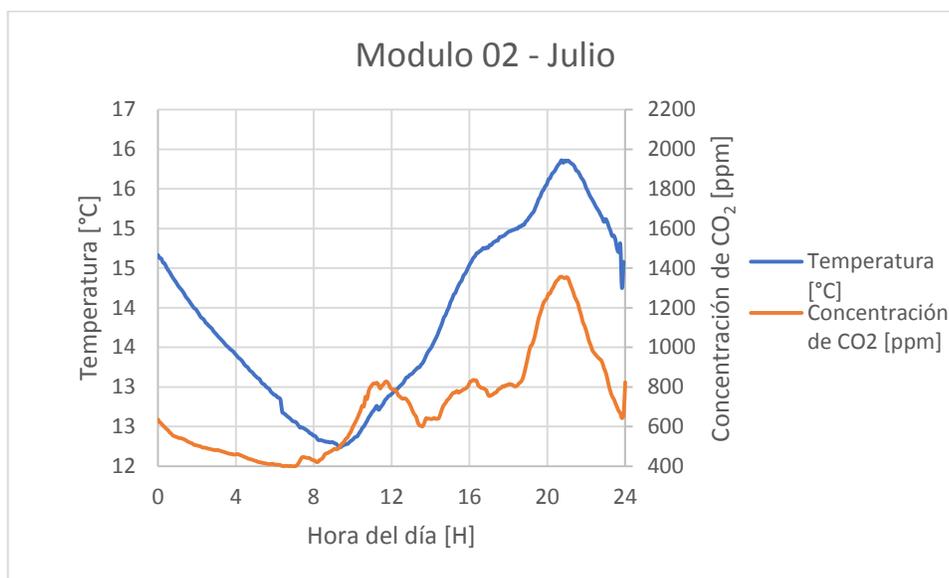


Figura 3-49: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante julio en la vivienda 02.

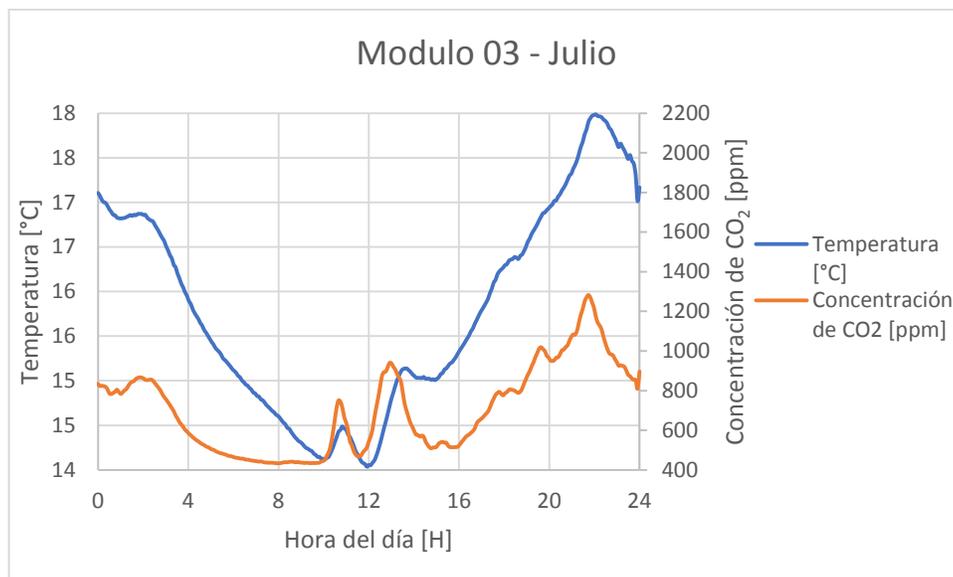


Figura 3-50: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante julio en la vivienda 03

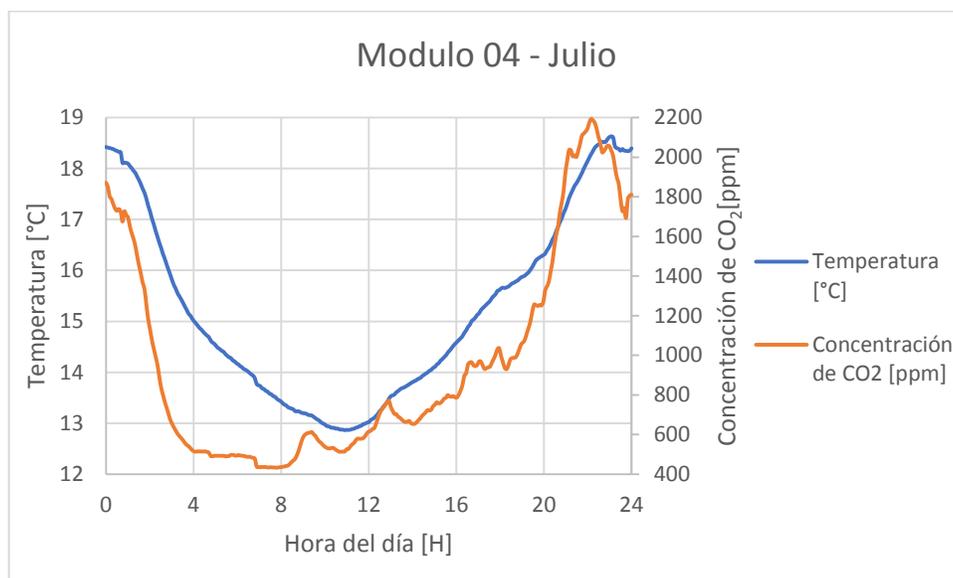


Figura 3-51: Comportamiento promedio mensual de la variación diaria de la temperatura y la concentración de CO₂ durante julio en la vivienda 04.

En el caso de julio, se puede observar como los niveles de CO₂ son muy diferentes dependiendo de la vivienda de estudio. En el caso de la vivienda del Módulo 01, se observa que apenas existen variaciones de CO₂, además de que la temperatura tiene un

comportamiento que sigue a la del ambiente sin sufrir perturbaciones, lo cual es coherente con que no exista calefacción.

Por otro lado, las otras viviendas aumentan en más de un 200% sus niveles de CO₂, estos varían dependiendo de la vivienda en estudio, donde la vivienda del Módulo 03 es la que menor nivel alcanza, teniendo calefacción en base a gas licuado, siguiéndole el módulo 02, teniendo dos tipos de calefacción, gas licuado y parafina, y por último con los niveles más altos de CO₂, la vivienda del módulo 04 la cual posee solo calefacción en base a parafina. Por medio de las gráficas es fácil ver como los cambios drásticos que se generan en la temperatura, los cuales dan a entender el encendido de la calefacción, van acompañados de forma directa con el aumento de CO₂. Para reflejar esto de mejor manera, se generan gráficos de temperatura y concentración de CO₂, nuevamente de febrero y julio, donde existen intervalos de temperatura en común.

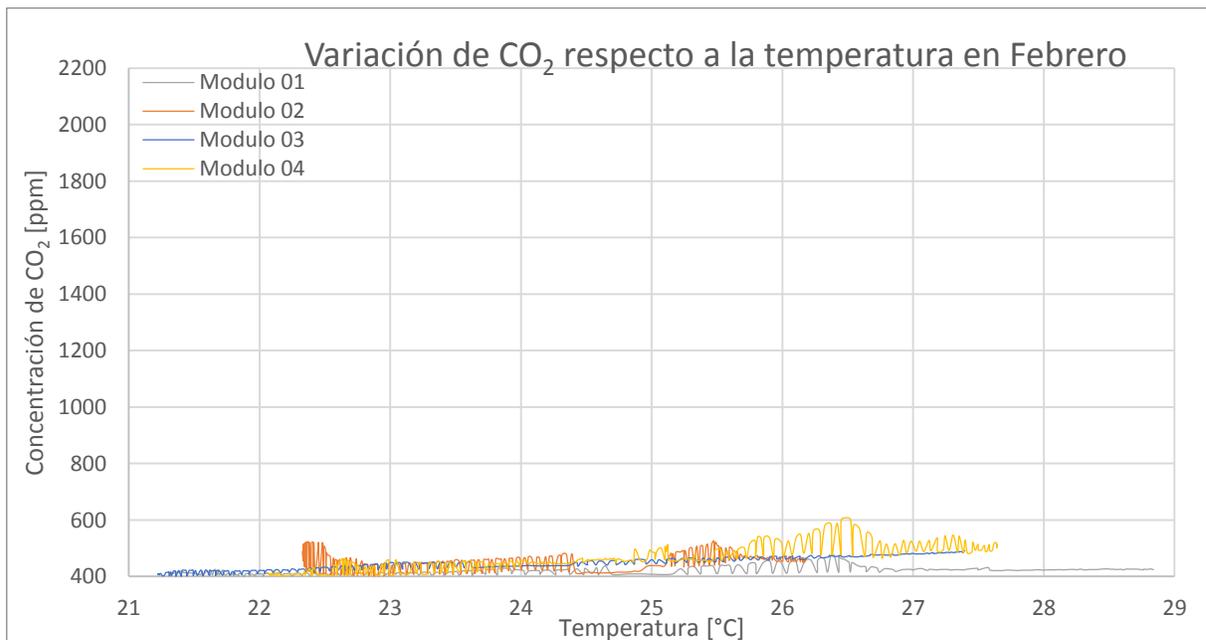


Figura 3-52: Variación de CO₂ en función de la temperatura de todas las viviendas en el mes de febrero.

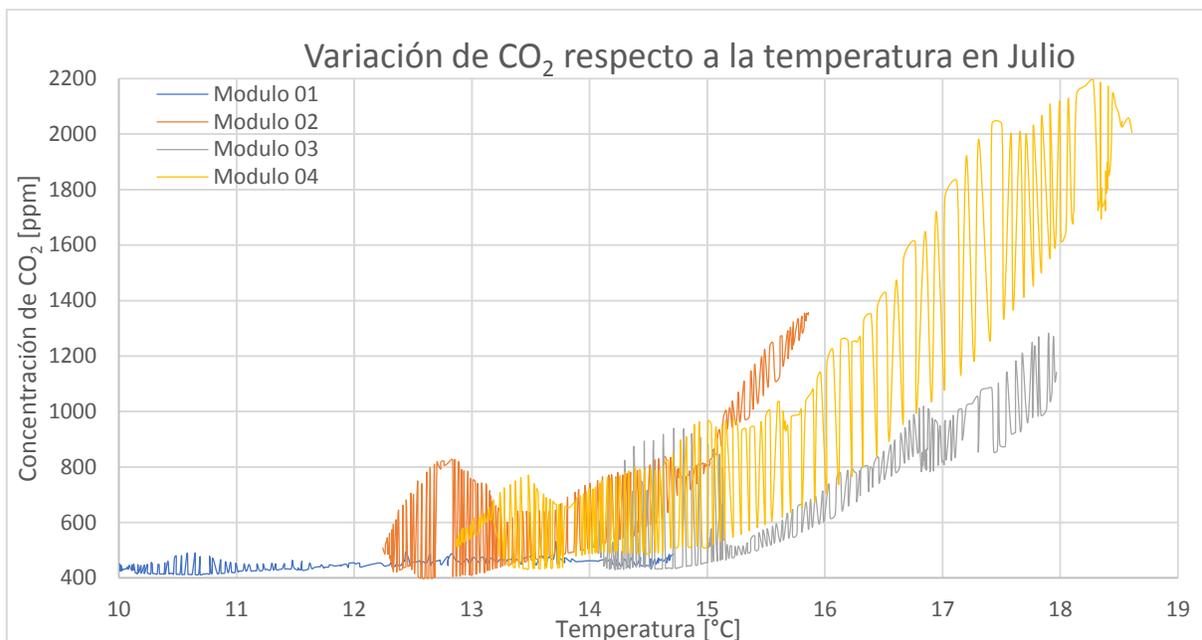


Figura 3-53: Variación de CO₂ en función de la temperatura de todas las viviendas en el mes de julio.

Claramente en febrero no existen mayores variaciones que fueron explicadas con anterioridad, no obstante, al observar el gráfico de julio, es fácil ver como los aumentos de temperatura correlacionan con el aumento en la concentración de CO₂ como se había analizado con anterioridad.

3.7. Simulaciones de aislación térmica con THERM

Para la simulación se utilizaron cinco diseños de pared: Original, con estuco interno, con estuco interno y externo, con estuco externo y capa de lanilla de vidrio, y propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad, los cuales se ilustran en la Figura 3-54, donde los correspondiente a los modificados por los usuarios son los que tienen estuco, tanto interno como externo.

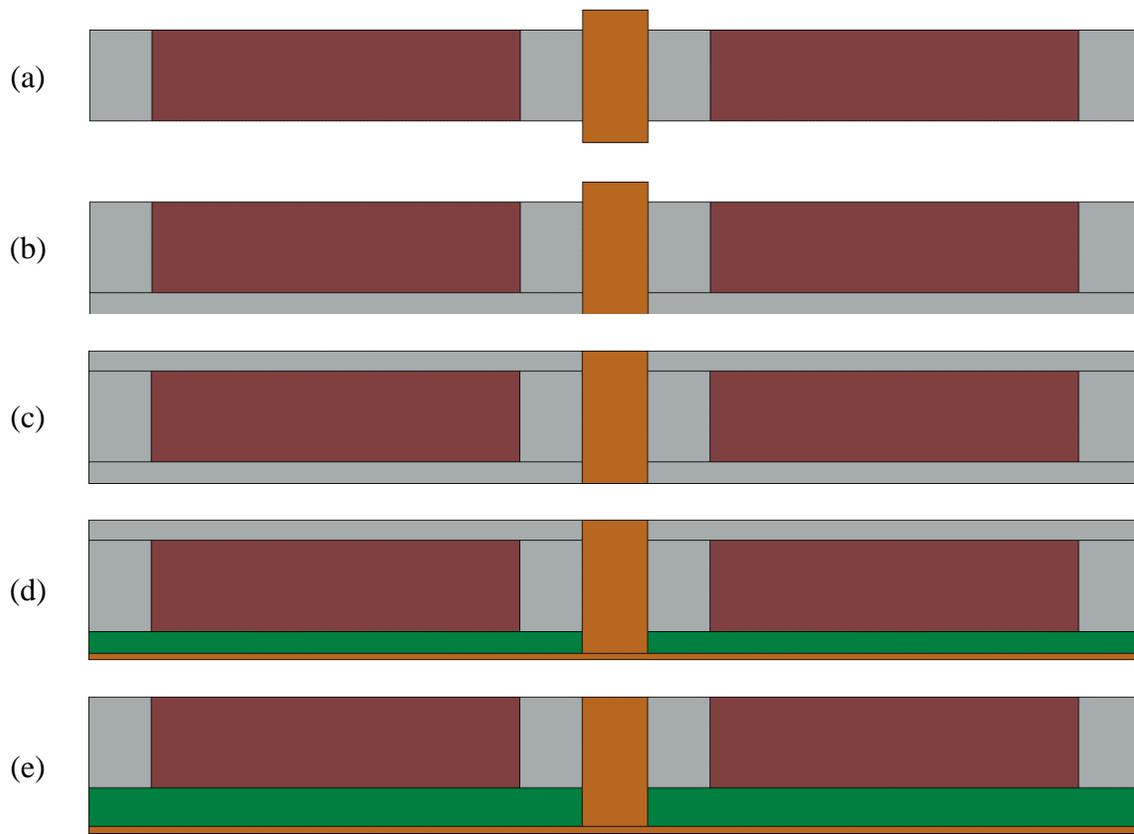
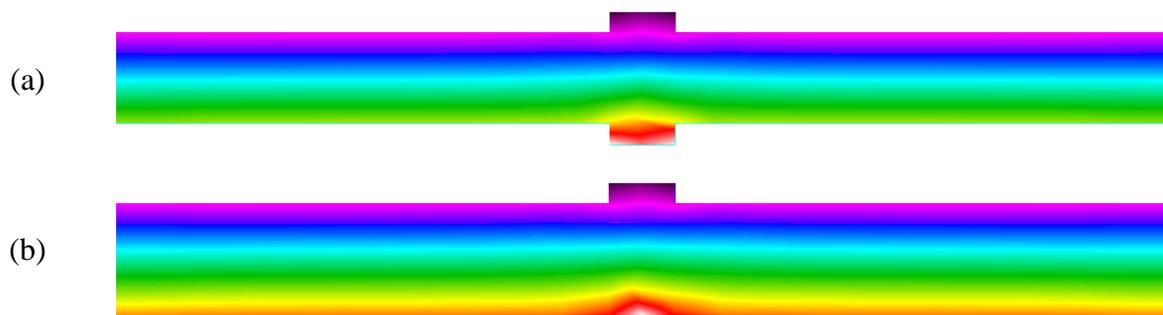


Figura 3-54: Modelos de pared LAD-MA simulados, en la parte superior de las imágenes corresponde a la parte exterior de los módulos, y la inferior a la interior. Los colores representan lo siguiente; gris es cemento, café es madera de pino, burdeo es ladrillo y verde es lanilla de vidrio; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad

Como el propósito de la simulación es determinar la transmitancia térmica de la pared, se fijó con las siguientes constantes: Temperatura exterior de $6.5[^\circ\text{C}]$, Temperatura Interior de $13[^\circ\text{C}]$. De esta forma, se obtuvieron los siguientes resultados de variación de temperatura y flujo de calor.



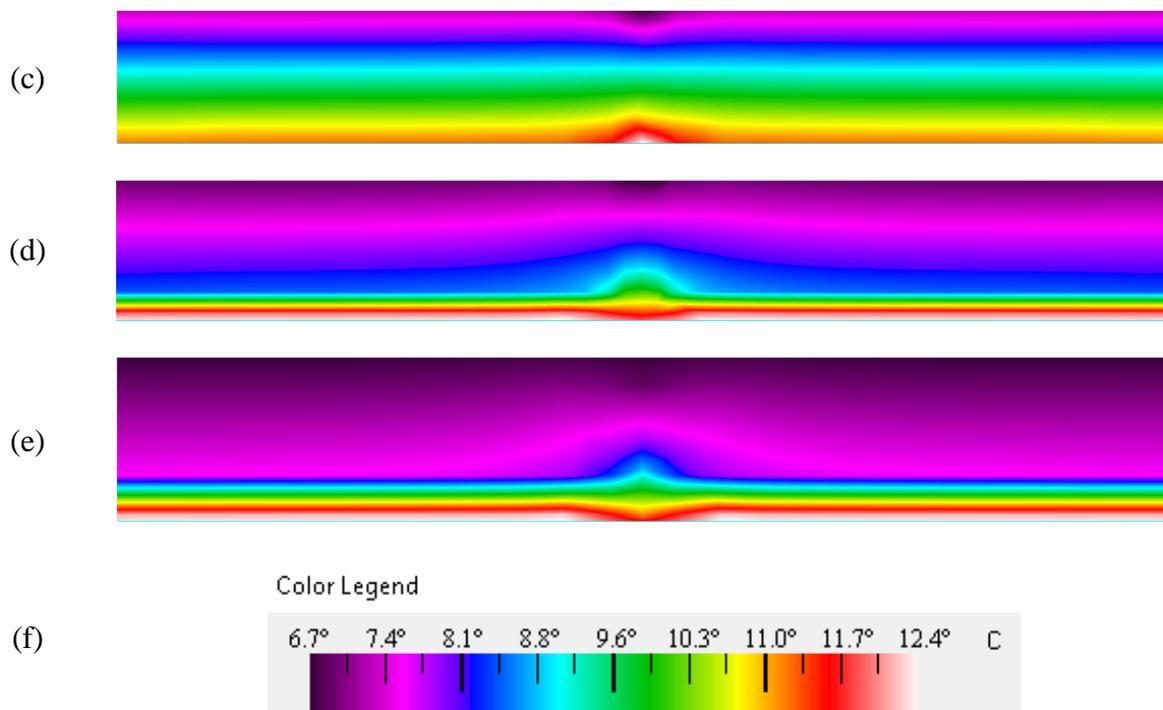
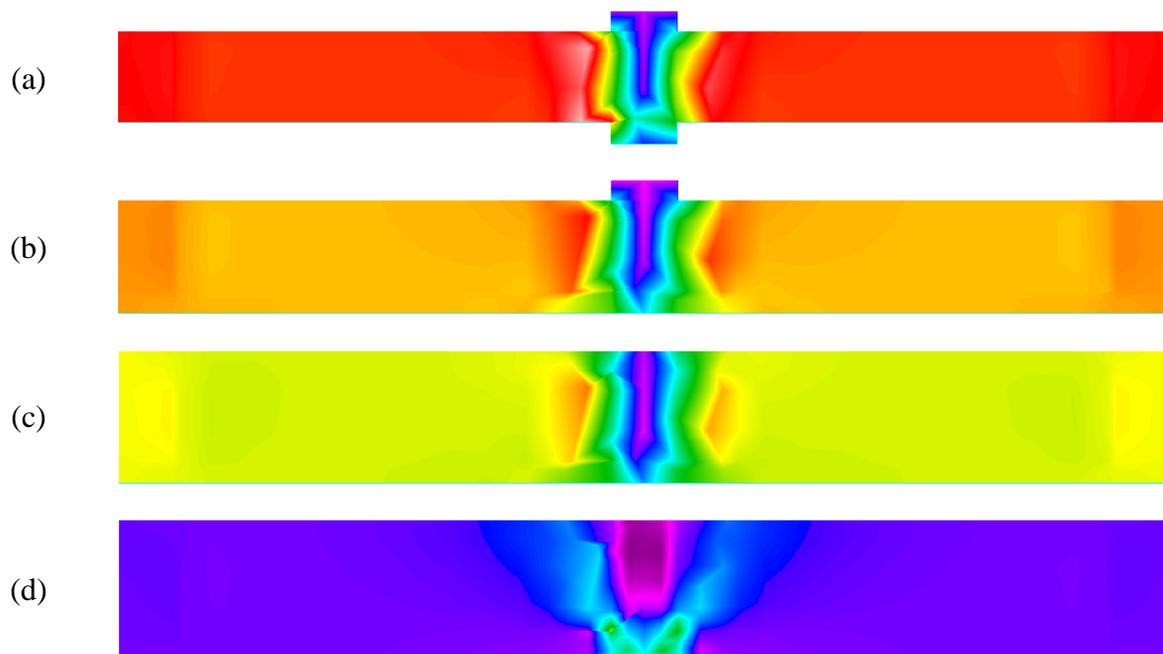


Figura 3-55: Variación de temperatura en las distintas configuraciones de murallas; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad; (f) Leyenda de colores según temperatura.



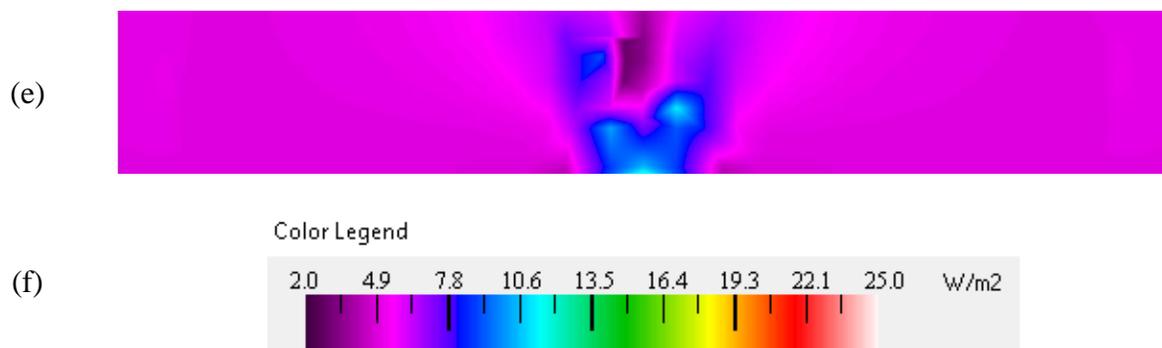


Figura 3-56: Variación de flujo de calor según las distintas configuraciones de murallas; ; (a) Original; (b) Estuco interno; (c) estuco interno y externo; (d) Estuco externo y capa de lanilla de vidrio; (e) propuesta de estuco externo y capa de lanilla de vidrio de alta densidad; (f) Leyenda de colores según densidad de calor.

Al observar la Figura 3-56 se puede observar como el calor se transmite con mayor facilidad mientras los materiales son de concreto y ladrillo, mientras que la madera y la lanilla de vidrio generan una mayor resistencia a esto, lo cual se puede contrastar con la Figura 3-53, la cual muestra como en los puntos de mayor resistencia al flujo de calor, se genera un rápido cambio de temperatura para poder alcanzar en el borde exterior la temperatura fija.

De estos resultados, se desprende el valor de la transmitancia térmica de las distintas configuraciones.

Tabla 3-6: Resultados de transmitancia térmica y resistencia térmica de las distintas configuraciones de murallas

Cubierta de paneles	U [W/m ² K]	R _t [m ² K/W]
Original	3.23	0.31
Estuco Interno	2.93	0.34
Estuco ambos lados	2.70	0.37
Estuco externo - Lanilla de vidrio interno	1.38	0.72
Propuesta Final	0.81	1.23

Se puede observar que el tanto el modulo original como las condiciones actuales en que tienen las paredes los usuarios no cumplen con los parámetros requeridos. Para estos casos se plantea usar una capa de lanilla de vidrio soportada por un panel de madera, lo cual es una mejora

considerable, entrando en el marco legal vigente de la ordenanza general de urbanismo y construcciones, pero no así en el anteproyecto NTM 11, con un error del 72.7%

Por otro lado, para poder acercarse a los valores del anteproyecto NTM 11, se tubo que utilizar una capa de lanilla de vidrio de la más alta densidad y con un grosor de 3[cm], errando incluso con esto en un 1.7%.

CONCLUSIONES

Se plantean los elementos principales para una norma de confort higrotérmico tanto en los rangos de temperatura con y sin calefacción como en los máximos de humedad relativa en función de la temperatura, la cual se puede considerar para incorporar en el anteproyecto NTM 11, que tiene por finalidad establecer los parámetros constructivos para el confort higrotérmico,

Al comparar los sistemas de adquisición, se observa que los parámetros evaluados no dan confianza en las variables medidas a excepción de la temperatura externa. Por lo que no se logró construir un instrumento de medición de las mismas características que el módulo comercial NetAtmo.

Se logra determinar los periodos de confort higrotérmico bajo la evaluación de las normas ISO 7730 y ASHRAE 55, siendo esta última la mejor evaluada debido a que su objetivo es determinar estas condiciones, considerando la adaptación del ser humano y si posee calefacción. De esto se observa que, a pesar de altos niveles de confortabilidad en verano, estos decaen abruptamente durante el invierno cayendo incluso por debajo del 20% en un periodo restringido a los horarios del día más utilizados. Por lo que no el sistema constructivo no logra cumplir con el confort térmico necesario para el uso de las personas.

Se observa que, en la búsqueda del confort térmico en invierno al utilizar medios de calefacción por combustión, se relaciona un aumento de temperatura con un aumento de la concentración de CO₂, lo que conlleva a un costo oportunidad en el bienestar ambiental por el confort térmico, lo cual se vería disminuido al tener mejoras en la aislación térmica del proceso constructivo. Se observa coherencia en el tipo combustible utilizado al ser el de

mayor contaminación la calefacción por estufas a parafina y de menor la de combustión de gas licuado, de lo cual siempre será recomendado el utilizar medios eléctricos, lo que ira disminuyendo la huella de carbono en función del cambio a métodos de energías renovables para el suministro d electricidad en los hogares.

Se realizan simulaciones de las distintas configuraciones de murallas del sistema LAD-MA y se evalúan bajo el anteproyecto NTM 11 y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Se plantea una solución las construcciones de las viviendas ya construidas, agregando una cubierta de lanilla de vidrio, con la cual entran en los parámetros de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, pero no en el anteproyecto NTM 11.

Se logra generar una propuesta que cumpla con el anteproyecto NTM 11 para la construcción de nuevas viviendas con el procesos constructivo LAD-MA agregando un sistema de aislación térmica de lanilla de vidrio de alta densidad y espesor de 3[cm].

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2017).
ANSI/ASHRAE 55. ASHRAE STANDARD.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006). Ergonomía del ambiente
térmico. *ISO 7730*. AENOR.
- Espinosa Cncino, C., & Cortés Fuentes, A. (2015). Confort Higo-Térmico en vivienda social
y la percepción del habitante. *invi*.
- Gill Martínez, C. (2017). *Análisis gráfico de Bland Altman*. RPubS.
- Godoy Muñoz, A. (2012). *El confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación de
españa*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ministerio de trabajo y Asuntos sociales. (2000). NTP 549. *El dióxido de carbono en la
evaluación de la calidad del aire interior*. España.
- Ministerio de Trabajo y Obras Sociales. (2006). NTP 742. *Ventilación General de Edificios*.
España.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). Ordenanza General de Urbanismo y
Construcciones.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). Requisitos y mecanismos de acreditación para
acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento
Higrotérmico.

NASA. (2019). *Global Climate Change*. Obtenido de Global Climate Change. Carbon Dioxide: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

NetAtmo. (2019). *NetAtmo*. Obtenido de <https://www.netatmo.com/es-es/weather/weatherstation>

Pearson, K. (1986). *Contributions to the mathematical theory of evolution, III: regresión, heredity and panmixia*. Londres: Philosophical Transactions of the Royal Society of London.

Sanchez, D., Sanchez-Guevara, C., & Rubio, C. (2015). El enfoque adaptativo del confort térmico en Sevilla. *ANALES de Edificación*, 38-48.

Secretaría Ejecutiva de Campamentos. (Enero de 2013). Mapa Social de Campamentos.

ANEXO

A. Tasa metabólica para diferentes actividades. ISO 7730 Anexo B

ACTIVIDAD	$[W/m^2]$	$[met]$
Reposo, tendido	46	0.8
Reposo, sentado	58	1
Actividad sedentaria (oficina, dominio, escuela, laboratorio)	70	1.2
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1.6
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2
Caminar en llano		
2 km/h	110	1.9
3 km/h	140	2.4
4 km/h	165	2.8
5 km/h	200	3.4

B. Aislamiento térmico para combinaciones habituales de prendas. ISO 7730 Anexo

Tabla C.1.

Ropa de trabajo	$[clo]$	$[m^2K/W]$
Calzoncillos, mono, calcetines, zapatos	0.7	0.11
Calzoncillo, camisa, mono, calcetines, zapatos	0.8	0.125
Calzoncillos, camisa, pantalones, bata, calcetines, zapatos	0.9	0.14
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaquetas, calcetines. Zapatos	1	0.155
Ropa interior de mangas y perneras largas, chaqueta térmica, calcetines, zapatos	1.2	0.185
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos, gorro, guantes	1.4	0.22
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2	0.31
Ropa interior de mangas y perneras largas, chaqueta y pantalones térmicos, parka con acolchado grueso, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2.55	0.395
Ropa de uso diario		
Bragas, camiseta, pantalón corto, calcetines finos, sandalias	0.3	0.05

Calzoncillos, camisa de manga corta, pantalones ligeros, calcetines finos, zapatos	0.5	0.08
Bragas, combinaciones medias, vestido, zapatos	0.7	0.105
Ropa interior, camisa, pantalones, calcetines, zapatos	0.7	0.11
Bragas, camisa, pantalones, chaqueta, calcetines, zapatos	1	0.155
Bragas, medias, blusa, falda larga, chaqueta	1.1	0.17
Ropa interior de manga y perneras largas, camisa, pantalones, jersey de cuello en V, chaqueta, calcetines, zapatos	1.3	0.2
Ropa interior de manga y perneras cortas, camisa, pantalones, chaleco, chaqueta, chaquetón, calcetines, zapatos.	1.5	0.23

C. Aislamiento térmico para prendas y cambios de temperatura operativa óptima. ISO

7730 Anexo Tabla C.2.

PRENDA	[clo]	m	Cambio de temperatura operativa óptima [°C]
Ropa interior			
Bragas	0.03	0.005	0.2
Calzoncillos de perneras largas	0.1	0.016	0.6
Camisetas sin mangas	0.04	0.006	0.3
Camiseras de manga corta	0.09	0.014	0.6
Camisera de manga larga	0.12	0.019	0.8
Bragas y sujetador	0.03	0.005	0.2
Camisas/blusas			
Mangas cortas	0.15	0.023	0.9
Ligeras, mangas largas	0.2	0.031	1.3
Normales mangas largas	0.25	0.039	1.6
De franela, mangas largas	0.3	0.047	1.9
Blusa ligera, mangas largas	0.15	0.023	0.9
Pantalones			
Cortos	0.06	0.009	0.4
Ligeros	0.2	0.031	1.3
Normales	0.25	0.039	1.6
De Franela	0.28	0.043	1.7
Vestidos/Faldas			
Faldas ligeras(verano)	0.15	0.023	0.9
Faldas gruesas(invierno)Vestidos ligeros, mangas cortas	0.25	0.039	1.6
Vestidos ligeros, mangas cortas	0.2	0.031	1.3

Vestidos de invierno, mangas largas	0.4	0.062	2.5
Monos	0.55	0.085	3.4
Jerseys			
Chalecos sin mangas	0.12	0.019	0.8
Jersey fino	0.2	0.031	1.3
Jersey	0.28	0.043	1.7
Jersey grueso	0.35	0.054	2.2
Chaquetas			
Ligeras, de verano	0.25	0.039	1.6
Chaquetas	0.35	0.054	2.2
Batas	0.3	0.047	1.9
Muy aislantes, de fieltro			
Mono	0.9	0.14	5.6
Pantalones	0.35	0.054	2.2
Chaqueta	0.4	0.062	2.5
Chaleco	0.2	0.031	1.3
Ropa de abrigo			
Chaquetón	0.6	0.093	3.7
Cazadora	0.55	0.085	3.4
Parkka	0.7	0.109	4.3
Pantalones de fieltro	0.55	0.085	3.4
Varios			
Calcetines	0.02	0.003	0.1
Calcetines gruesos, tobilleros	0.05	0.008	0.3
Calcetines gruesos, largos	0.1	0.016	0.6
Medias de nilón	0.03	0.005	0.2
Zapatos (suela fina)	0.02	0.003	0.1
Zapatos (suela gruesa)	0.04	0.006	0.3
Botas	0.1	0.016	0.6
Guantes	0.05	0.008	0.3