

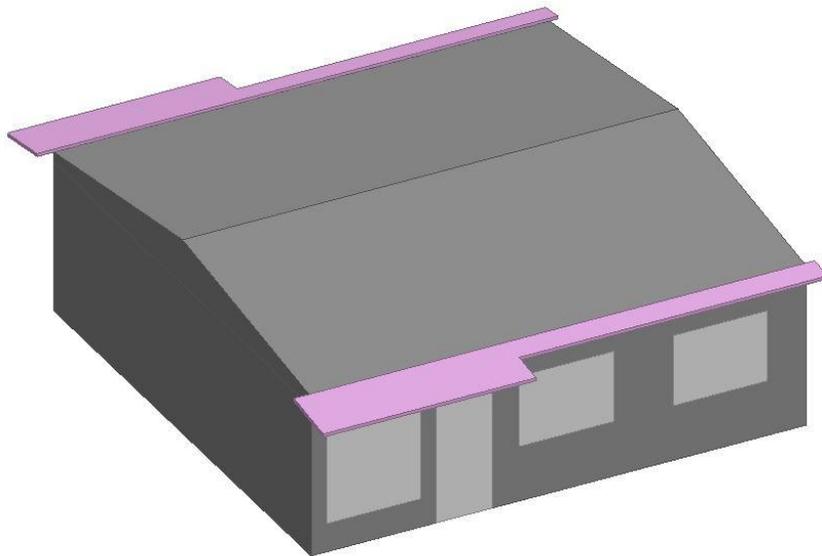
Consultoría MIEM-MEVIR-UDELAR

Evaluación de desempeño térmico y energético de viviendas MEVIR.

Análisis comparativo de la tipología “Cardal” en dos sistemas constructivos.

# MEMORIA TÉCNICA

---



Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial - Facultad de Ingeniería

Instituto de Tecnologías: Área de Clima y confort en Arquitectura - Facultad de

Arquitectura, Diseño y Urbanismo

Departamento de Sociología - Facultad de Ciencias Sociales

Centro Universitario Regional Litoral Norte Salto

Universidad de la República

Agosto 2023

---

## **Equipo consultor**

### **Facultad de Ingeniería:**

Gabriel Pena<sup>a</sup> (Resp.); Federico Favre; Pedro Galione; Sofía Gervaz; Juan Romero.

### **Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo:**

María Noel López<sup>b</sup>; Lucía Pereira; Magdalena Camacho; Alicia Picción.

### **Facultad de Ciencias Sociales:**

Sol Scavino<sup>c</sup>; Andrés Wilkins.

### **Centro Universitario Regional Litoral Norte Salto:**

Juan Rodríguez<sup>d</sup>; Gunnar Gil.

(a) gabpena@fing.edu.uy

(b) marialop@fadu.edu.uy

(c) sol.scavino@cienciassociales.edu.uy

(d) jrodrigue@fing.edu.uy

## **Contraparte**

### **DNE-MIEM:**

Alicia Mimbacas

### **MEVIR:**

Veronica Helbling

---

## Índice general

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1: Modelado teórico</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 2: Medición y calibrado</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 3: Estrategias de diseño</b>	<b>78</b>
<b>Capítulo 4: Aspectos sociales</b>	<b>122</b>
<b>Capítulo 5: Herramienta</b>	<b>172</b>
<b>Conclusiones generales</b>	<b>186</b>

---

## Introducción

Enmarcado en la consultoría solicitada por la Dirección Nacional de Energía, *“Evaluación de desempeño térmico y energético de viviendas MEVIR: Análisis comparativo de la tipología “Cardal” en dos sistemas constructivos”* llevada adelante por la Fundación Julio Ricaldoni, este sexto entregable aborda los aspectos generales del trabajo realizado, donde se compilan los objetivos de la consultoría, una descripción de las principales actividades, los resultados de las mismas y las conclusiones generales de la consultoría.

El equipo consultor, interdisciplinario debido a la diversidad de aspectos a abordar, estuvo conformado por Docentes/Investigadores de cuatro Servicios de la Universidad de la República (UdelaR): Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial (IIMPI) de la Facultad de Ingeniería, Instituto de Tecnologías (IT) de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Departamento de Sociología de la Facultad de Ciencias Sociales y CENUR Litoral Norte.

## Objetivos

### Objetivo general

Análisis comparativo (cuantitativo y cualitativo) del desempeño térmico y energético de viviendas de tipología “Cardal” construidas con sistema constructivos no tradicionales (estructura y panelería de madera) vs sistema de construcción tradicional.

### Objetivos específicos

- Modelado teórico de la tipología “Cardal” (de 2 o 3 dormitorios) con sistemas constructivos no tradicional y tradicional, según especificaciones constructivas, orientación, condiciones de uso, etc. utilizando el software Energy Plus.
- Ajuste de los modelos teóricos con mediciones in situ en período de verano e invierno.
- Análisis comparativo de los modelos teóricos calibrados generados para invierno y verano: condiciones térmicas y demandas de energía para alcanzar condiciones de confort.
- Análisis de datos cuantitativos en referencia al uso de las viviendas y su vínculo con la eficiencia energética en la vivienda y el nivel de satisfacción de la población en cuanto a las condiciones de confort en invierno y verano, en ambos prototipos (tradicional y no tradicional).
- Herramienta de evaluación energética según ciertas variables de diseño y constructivas con análisis costo beneficio de las medidas de eficiencia energética identificadas.

---

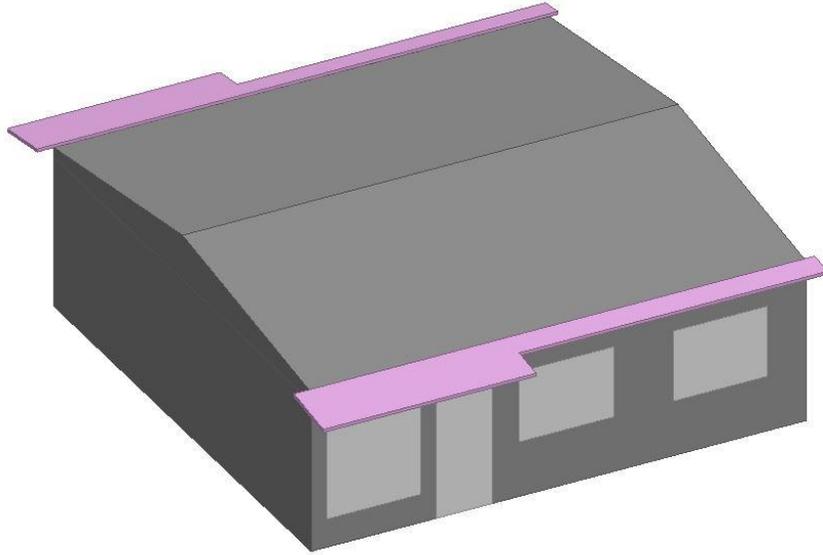
## Organización del texto

Este texto, el cual compila todas las actividades realizadas en la consultoría, los resultados obtenidos y las conclusiones generadas, se organiza según se describe a continuación.

En primer lugar, a continuación, el Capítulo 1 presenta un análisis de planos y memorias de la tipología a implementarse con dos soluciones constructivas. Además se realiza una verificación in situ de la ejecución de la obra en comparación con lo proyectado. Luego se especifican los conceptos fundamentales sobre el modelo desarrollado para simular el desempeño térmico y energético de la tipología de tres dormitorios con ambas soluciones constructivas. Por último se presentan resultados primarios de las simulaciones. En el Capítulo 2 se describen las actividades enmarcadas en la realización de mediciones en campo, el análisis de resultados de las mismas, así como su aplicación para calibrar los modelos de las viviendas. A continuación, en el Capítulo 3, por medio de la realización de amplio espectro de simulaciones, se determinan los factores que más influyen sobre el consumo energético para el acondicionamiento térmico, así como generar propuestas de mejoras en las estrategias de diseño de la tipología "Cardal" en sus dos soluciones constructivas. En el Capítulo 4 se estudian los aspectos sociales de la población que habita estas viviendas, focalizándose en su percepción de confort. El Capítulo 5 describe las actividades realizadas para desarrollar una herramienta simplificada de cálculo de ahorro energético y económico al aplicar modificaciones en el diseño de las viviendas. Por último, en el último capítulo se sintetizan las conclusiones generales de la consultoría.

# CAPÍTULO 1: MODELADO TEÓRICO

---



---

## Índice del capítulo

<b>Lista de acrónimos</b>	<b>8</b>
<b>Definiciones</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Análisis de planos y memorias</b>	<b>10</b>
2.1. Tipología “Cardal” de tres dormitorios	10
2.2. Solución constructiva tradicional	10
2.3. Solución constructiva en madera	14
<b>3. Modelado de tipología “Cardal”</b>	<b>19</b>
3.1. Descripción del modelo	19
3.2. Clima	21
3.3. Criterio de confort adaptativo	21
3.4. Orientación	22
3.5. Usuario	23
4. Variables de salida y resultados preliminares	25
4.1. Requerimientos energéticos (Cargas HVAC)	25
4.2. Balances netos de la envolvente opaca	26
4.3. Ventanas	27
4.4. Infiltraciones y ventilación	28
4.5. Comparativa de aportes	28
4.6. Resumen de resultados y medidas de eficiencia energética aplicables	30
<b>5. Conclusiones</b>	<b>31</b>
<b>Referencias</b>	<b>32</b>

---

## Lista de acrónimos

$\alpha$  - Constante dependiente del clima

COP - *Coefficient of performance*

DAT - Documento de Aptitud Técnica

HVAC - *Heating, Ventilating and air conditioned*

LES - Laboratorio de Energía Solar

$\bar{T}_e$  - Temperatura exterior promedio

$\bar{T}_{e,i}$  - Temperatura exterior promedio del día  $i$

$T_n$  - Temperatura neutral

## Definiciones

**Requerimiento de energía:** Energía útil o necesaria para calefaccionar y refrigerar la vivienda con la finalidad de mantenerse dentro de los criterios de confort en las habitaciones donde se encuentra al menos una persona y durante la permanencia de las mismas. El valor obtenido de requerimiento energético no contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) del sistema de acondicionamiento térmico, siendo directamente la energía que se debe agregar o extraer de la vivienda.

**Consumo de energía:** Energía neta por el sistema de calefacción y refrigeración para mantenerse dentro de los criterios de confort.

---

## 1. Introducción

Este capítulo compila los resultados del trabajo realizado correspondientes al primer objetivo específico: *"Modelado teórico de la tipología "Cardal" (de 2 o 3 dormitorios) con sistemas constructivos no tradicional y tradicional, según especificaciones constructivas, orientación, condiciones de uso, etc. utilizando el software Energy Plus"*.

En primer lugar se presenta un análisis de planos y memorias de la tipología a implementarse con dos soluciones constructivas. Además se realiza una verificación in situ de la ejecución de la obra en comparación con lo proyectado. Luego se especifican los conceptos fundamentales sobre el modelo desarrollado para simular el desempeño térmico y energético de la tipología de tres dormitorios con ambas soluciones constructivas. Por último se presentan resultados primarios de las simulaciones.

---

## 2. Análisis de planos y memorias

Este apartado se desarrolla en base a los recaudos gráficos correspondientes a las tipologías del sistema constructivo pesado (o tradicional) y el liviano (“madera”) entregados por el Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre (MEVIR), y al relevamiento en campo que realizó el equipo consultor.

Los recaudos estudiados para la tipología pesada “Cardal” de MEVIR son: planos de albañilería (planta tipo, fachada y corte), detalle de techo, planta de estructura y memoria general. Para el sistema liviano los gráficos disponibilizados fueron: Documento de Aptitud Técnica (DAT) del sistema Ñande, planta y corte del sistema. Además MEVIR facilitó fotos de la etapa de construcción en sitio de estas viviendas.

Las tipologías corresponden a viviendas que en todos los casos se desarrollan en un nivel. Las del sistema constructivo pesado son ocho y se ubican en Cuchilla del Ombú, Tacuarembó, mientras que son nueve las livianas y se sitúan en La Canilla en Rivera.

Las tipologías corresponden a viviendas de uno, dos, tres y cuarto dormitorios. De estas tipologías, la de tres dormitorios es la que tiene mayor representación en cada uno de los sistemas constructivos (ver tabla 1). Por lo tanto, se elige la vivienda de tres dormitorios para ser analizada.

*Tabla 1. Cantidad de viviendas según dormitorios y solución constructiva*

<b>Dormitorios por vivienda</b>	<b>Madera</b>	<b>Tradicional</b>	<b>Total</b>
4 dormitorios	0	2	2
<b>3 dormitorios</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>8</b>
2 dormitorios	4	3	7
<i>Total</i>	9	8	17

### 2.1. Tipología “Cardal” de tres dormitorios

De acuerdo a los recaudos presentados la tipología “Cardal” de MEVIR, tiene una disposición que separa las áreas de dormitorios de las áreas de estar. El estar y la cocina conforman un único espacio siendo un espacio integral. Los dormitorios conforman espacios de mayor privacidad, comunicados por un pasillo (o circulación). La tipología resuelve el cerramiento horizontal como un techo a dos aguas con cielorraso acompañando la pendiente en el sistema tradicional y cielorraso horizontal en el sistema constructivo en madera.

### 2.2. Solución constructiva tradicional

La tipología “Cardal” de sistema tradicional pesado de MEVIR, según los recaudos es de 67,65m<sup>2</sup> sin contemplar aleros, mientras que el área útil interior es de 58,19m<sup>2</sup>. Las tipologías se plantean exentas, y la orientación de las ventanas de los dormitorios se



---

en las medidas de los aleros. El resto de las diferencias se pueden explicar porque la construcción es una industria artesanal y en el procedimiento constructivo pueden existir estas variaciones, que en este caso no son significativas.



*Figura 2: Fotografía del exterior de las viviendas "Cardal" tradicional.*



*Figura 3. Detalle de fachada.*

Se identificó que en la implantación no se tomó la opción de modificar la ubicación de aberturas en los dormitorios según orientación. De haberse hecho en los dormitorios posteriores de ambas viviendas, trasladando la ventana de la orientación Sureste a la Noreste, habría beneficiado el local respecto a la incidencia de radiación solar.

Las aberturas exteriores son de aluminio en su totalidad (puertas y ventanas), presentando algunos problemas de resolución en su colocación (umbral en puerta de cocina).

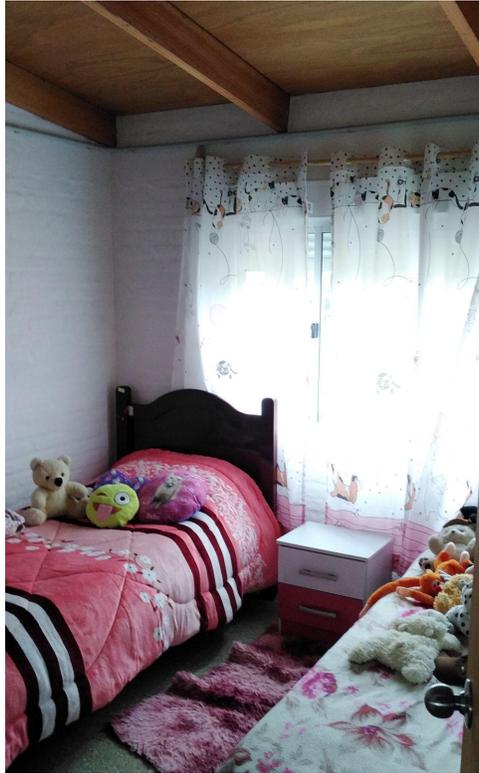
No fue posible verificar la composición interior (capas) de la cubierta. Se advierten algunas grietas en muros.

Las viviendas cuentan con un equipamiento básico de aparatos para calefacción, extracción de vapores y agua caliente sanitaria. Las estufas de alto rendimiento se ubican sobre la pared Suroeste, frente al pasillo.

*Tabla 2. Dimensiones de la vivienda de la tipología "Cardal" tradicional (m).*

<b>Medidas Exterior</b>	<b>Vivienda</b>	<b>Plano</b>
Frente	8,30	8,32 (exenta)
Profundidad	8,20	8,20
Altura cumbrera hasta vereda	3,07	-
Altura fachada frontal/posterior hasta vereda	2,47	2,54
Proyección alero frontal	0,80	0,80
Largo alero frontal	3,48	3,22
Proyección alero posterior	0,82	0,80
Largo alero posterior	3,48	3,22
Proyección de cubierta (general)	0,16	0,15
<b>Área exterior (m<sup>2</sup>)</b>	<b>68,06</b>	<b>68,22</b>
<b>Medidas Interior</b>	<b>Vivienda</b>	<b>Plano</b>
Total sentido frontal	7,90	7,88
Total profundidad	7,73	7,76
Cielorraso bajo cumbrera	2,85	2,85
Cielorraso sobre muro frontal/posterior	2,38	2,46
<b>Área interior (m<sup>2</sup>)</b>	<b>61,07</b>	<b>61,15</b>
<b>Volumen interior habitable (m<sup>3</sup>)</b>		<b>161,9</b>

En lo que refiere al estado de conservación, es muy bueno en las viviendas que se pudo entrar, según se aprecia en la figura 4. En parte se explica porque fueron entregadas hace muy poco tiempo y otra parte por los propios usuarios que cuidan las viviendas.



*Figura 4. Fotografía del interior de una vivienda.*

### **2.3. Solución constructiva en madera**

La tipología "Cardal" liviana utiliza el sistema constructivo Ñandé (sistema con Documento de Aptitud Técnica aprobado). Este sistema está diseñado en base a paneles estructurales constituidos por bastidores de madera (eucaliptus grandis), fabricados en taller de carpintería y montados en obra. La tipología de tres dormitorios tiene algunas variaciones pequeñas en las medidas respecto a las del sistema tradicional. Una diferencia es la ubicación de los tabiques que configuran los placares de dormitorio. Otra diferencia es el volumen interior de las viviendas (161,9), siendo menor en la construida en madera (148,8 m<sup>3</sup>) respecto a la tradicional (161,9 m<sup>3</sup>), ya que el cielorraso es horizontal (ver figura 5). Otra modificación que tiene respecto al sistema constructivo tradicional es que hay una diferencia de nivel mayor entre el nivel de piso terminado interior y la vereda perimetral de la vivienda.

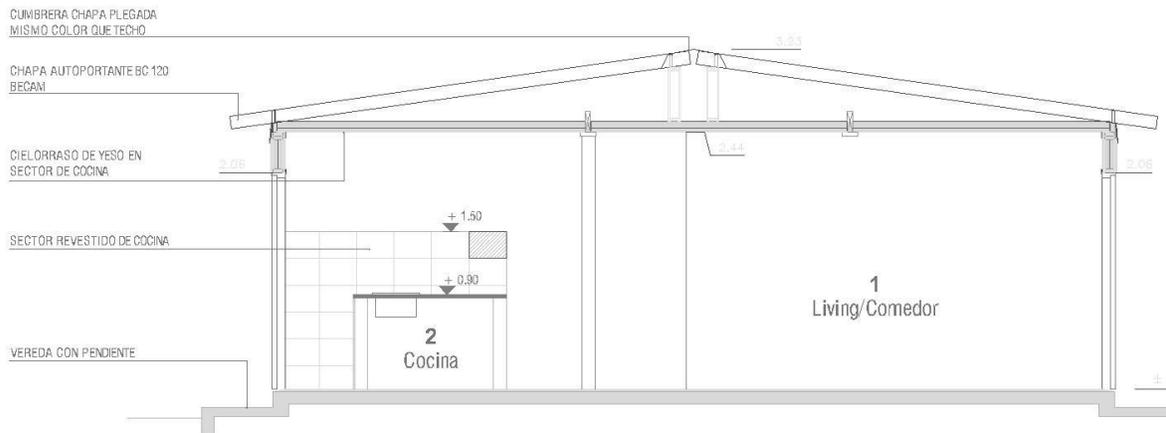


Figura 5: Plano de corte de la tipología "Cardal" en madera.

El sistema de fundación de la vivienda en madera es de tipo superficial en base a una platea de hormigón armado de 12cm. Los cerramientos verticales están conformados por paneles multicapa ("sándwich") de madera, prefabricados en taller de carpintería. Se distinguen según los elementos que contienen en Paneles Ciegos, Paneles Ventana, Paneles Puerta, Paneles Cielorraso, Paneles Tímpano. Estos paneles tienen una modulación de 1,22 x 2,44m (panel estándar) y 0,61 x 2,44m ("medio panel"). Están formados (del interior al exterior) por: placas de yeso de 12,5mm, polietileno de 150 micras, placas de contrachapado fenólico (plywood) de 12mm como capa interior del panel, bastidor conformado por escuadrías de madera cepillada de 89 x 36,5mm, lana de vidrio de 50mm, placas de contrachapado fenólico (plywood) de 12mm, tyveck de pared y por último superboard Siding (tablas de fibrocemento imitación madera de 8mm), ver figura 5. De acuerdo a los detalles de los paneles, la aislación térmica es interrumpida por la estructura de madera.



Figura 5. Imágenes exteriores de vivienda en madera

Los cerramientos interiores tienen una modulación de 1,22 x 2,44m (panel estándar) y 0,61 x 2,44m ("medio panel") y están compuestos por: placas de yeso de 12,5mm, masillado y

pintado en ambas caras. En baño y cocina se utilizan placas cementicias, resistentes a la humedad de 12,5mm, placas de contrachapado fenólico (plywood) de 12mm, bastidor conformado por escuadrías de madera cepillada de 89 x 36,5mm, lana de vidrio de 50mm y placas de contrachapado fenólico (plywood) de 12 mm como capa exterior del panel.

Este cielorraso está compuesto por bastidor de escuadrías de madera cepillada de 89 x 36,5mm y sus capas son de interior a exterior: placa de compensado fenólico de 12mm (terminación de madera a la vista lustrada) en dormitorios y pasillos, en cocina placas yeso resistentes al fuego de 12,5mm y en baños, placas resistentes a la humedad de 12,5mm. Sobre esta capa, polietileno de 150 micras, lana de vidrio de 50 mm con foil de aluminio colocado hacia el exterior, membrana tyvek (en planos). La aislación térmica, de acuerdo a los planos cubre la estructura del cielorraso, por lo que elimina los puentes térmicos.

Por sobre el cielorraso horizontal, se presenta una cámara de aire ventilada y una cubierta a dos aguas de chapa auto-portante pre-pintada color del tipo BC 120 de BECAM, (ver figura 6).

Las ventanas son de aluminio anodizado natural serie 20 (en dormitorios, baño, cocina y estar). Además en los dormitorios las ventanas cuentan con cortina de enrollar de PVC. La puerta principal es de tipo bastidor con estructura de madera de eucalipto, enchapado con compensado de virola y revestida al exterior con con tablillas de madera machihembrada. La puerta secundaria es de aluminio anodizado natural serie Probba, con un sector vidriado.

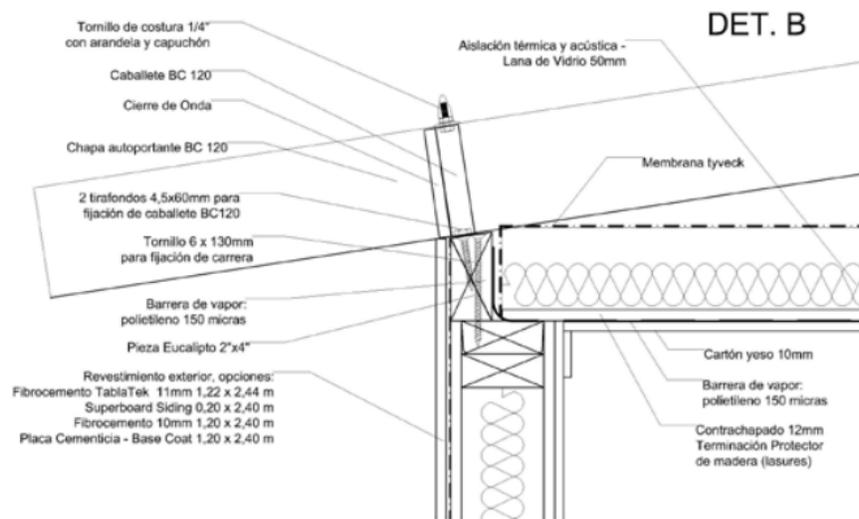


Figura 6. Detalle constructivo de muro exterior, cielorraso y cubierta de chapa autoportante

### 2.3.1. Verificación *in situ*

Se realizó relevamiento dimensional, de materialidad, aberturas, posibles patologías y equipamiento en una vivienda. La misma se ajusta razonablemente en los tres primeros

---

puntos, a lo expresado en los recaudos gráficos analizados. Los detalles de las medidas se especifican en la tabla 3.

Como en la solución tradicional, tampoco se tomó la opción de modificar la ubicación de aberturas en dormitorios según orientación. Habría beneficiado el dormitorio Sur, respecto a la incidencia de radiación solar, colocando la abertura hacia el Este.

Las aberturas exteriores son de aluminio, con excepción de la puerta principal de madera. La puerta de cocina presenta problemas de resolución en su umbral. Todas las aberturas están aplomadas sobre la cara exterior del muro.

La cubierta es ventilada, con rejillas bajo la onda de la chapa y rejillas mayores en fachadas laterales. La inspección por la escotilla del cielorraso, permitió constatar importantes problemas de ejecución en la aplicación de la barrera de vapor y el aislante térmico (figura 7). La barrera de vapor (nylon) no está aplicada según plano, entre el fenólico y la estructura del cielorraso, sino que se la engrapó por encima de las piezas que sostienen el mismo y a través de las vigas reticuladas. En un área importante al centro de la vivienda, no existe ni barrera de vapor, ni aislación térmica. También se constató la ausencia de Tyvek.



*Figura 7. Imagen de estado de la barrera de vapor y aislante térmico.*

Las viviendas cuentan con un equipamiento básico de aparatos para calefacción, extracción de vapores y agua caliente sanitaria. La estufa de alto rendimiento se ubica centralizada, sobre el comienzo del pasillo.

Tabla 3. Dimensiones de la vivienda de la tipología "Cardal" en madera (m).

Medidas Exterior	Vivienda	Plano
Frente	8,15	8,15
Profundidad	8,02	8,03
Altura cumbre hasta vereda	3,3	-
Altura fachada frontal/posterior hasta vereda	2,55	2,61
Proyección alero frontal	0,85	0,89
Largo alero frontal	3,25	3,38
Proyección alero posterior	0,85	0,89
Largo alero posterior	3,25	3,38
Proyección de cubierta (general)	0,35	0,38
<b>Área exterior (m<sup>2</sup>)</b>	<b>65,36</b>	<b>65,44</b>
Medidas Interior	Vivienda	Plano
Total sentido frontal	7,86	7,88
Total profundidad	7,76	7,76
Cielorraso bajo cumbre	2,45	2,44
Cielorraso sobre muro frontal/posterior	2,45	2,44
<b>Área interior (m<sup>2</sup>)</b>	<b>60,99</b>	<b>61,15</b>
<b>Volumen interior habitable (m<sup>3</sup>)</b>		<b>148,8</b>

---

### 3. Modelado de tipología “Cardal”

El análisis de desempeño térmico de las viviendas se realiza mediante simulaciones utilizando el *software Energy Plus 8.7.0*. En una primera instancia, se analiza el desempeño de las viviendas en las mismas condiciones en que son entregadas a los usuarios, considerando los hábitos de uso de un usuario tipo. Este análisis es preliminar debido a que los modelos deben ser calibrados en base a mediciones.

Para la sistematización de corridas de simulación y parametrización de entradas, salidas y análisis de resultados, se realizaron *scripts* en *Python*. De este modo es posible simular una gran cantidad de casos ajustando variables, lo cual permite reducir el tiempo de ejecución y aumenta la capacidad de análisis minimizando errores.

#### 3.1. Descripción del modelo

Los modelos se desarrollaron considerando los recaudos gráficos disponibles, tanto en su geometría como en su materialidad.

##### 3.1.1. Geometría

Los modelos para simulación constituyen una simplificación de la tipología real donde los muros no tienen espesor, por tanto se asumen los siguientes supuestos: se considera la envolvente a cara interior del espacio habitable y los tabiques interiores se consideran sobre su eje.

*Tabla 4. Descripción de zonas en los modelos.*

Zonas en modelos	Descripción
D1	Dormitorio 1
D2	Dormitorio 2
D3	Dormitorio 3
Ek	Comedor-cocina
B	Baño
C	Circulación
Ci	Cielorraso

En función de la espacialidad de las viviendas se consideran las zonas térmicas presentadas en la Tabla 4. Vale mencionar que la zona “C-Circulación” se asume como zona independiente conectada a la zona “Ek-Cocina-Comedor”, esto se debe a que ambas zonas

presentan condiciones térmicas diferentes por las características de su superficie expuesta, a pesar de ser zonas directamente vinculadas. Por otra parte, se consideran los espacios entre cielorraso y cubierta como zonas "Ci-cielorraso". En el caso de la vivienda tradicional esta zona se ubica únicamente sobre la zona "B-Baño" y es una zona no ocupada<sup>1</sup>, sin ventilación; para la vivienda en madera esta zona cubre la totalidad de la planta y se conforma como una zona no ocupada y ventilada. En la figura 8 se puede ver la distribución de las zonas para cada modelo.

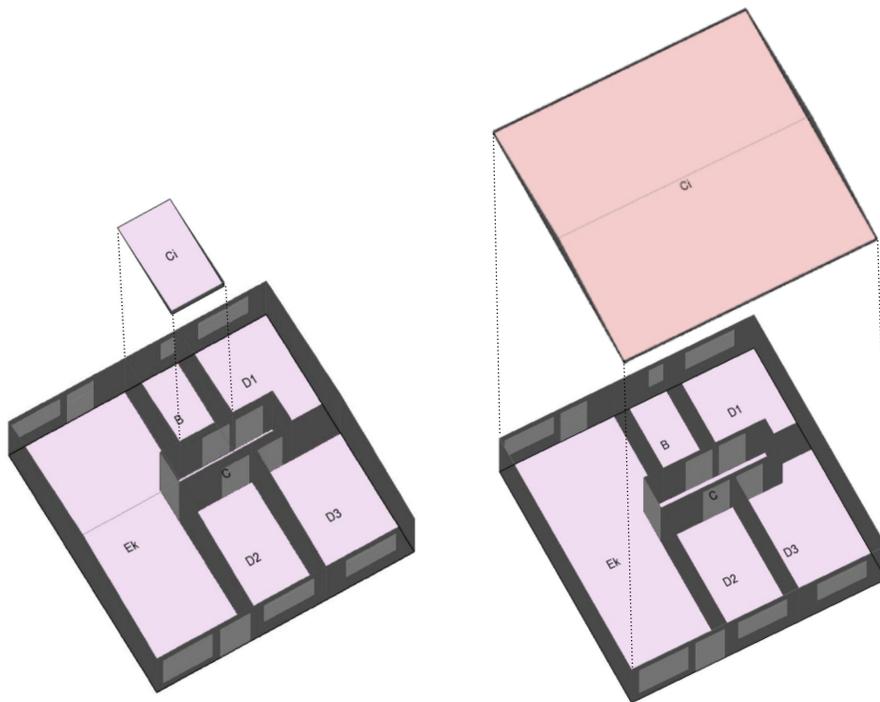


Figura 8. Esquema gráfico del modelo para ambos sistemas: (Izquierda) tradicional; (Derecha) madera.

### 3.1.2. Modelos

La elección de los modelos utilizados para resolver los distintos aspectos del comportamiento térmico de la vivienda se basó en la experiencia del grupo de trabajo en los proyectos previos de esta temática [1, 2].

Para modelar los balances de calor superficiales y calcular los coeficientes de convección se utilizaron los modelos definidos por defecto en *EnergyPlus*. Para resolver los flujos de calor por conducción en paredes y techos se utilizó el modelo *ConductionTransferFunction*. Para determinar el flujo de calor por el piso se utilizó el modelo *GroundDomain:Slab*. Para el flujo de calor por las ventanas se realizó la aproximación de capa-por-capas.

<sup>1</sup> El resto de la vivienda tradicional no cuenta con cielorraso.

---

Para el cálculo de las renovaciones de aire ocasionadas por las infiltraciones y la ventilación natural, así como su efecto en el balance térmico, se utilizó el método *AirflowNetwork*. Este modelo permite distinguir los flujos de aire en las diferentes zonas así como tener en cuenta la influencia de la dirección del viento. Para utilizar dicho modelo se definieron las características distribuidas de la vivienda a partir del valor global de permeabilidad medido mediante el ensayo de Blower Door.

Finalmente, para calcular los requerimientos de energía para mantener el confort térmico se utiliza un modelo de *HVAC ideal*. Este método calcula la energía útil que requiere el ambiente para su acondicionamiento sin considerar los equipos reales que se puedan emplear y su funcionamiento. Esta energía no debe ser considerada consumo ya que no se contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) de equipos reales.

### 3.2. Clima

Se emplea el año climático típico de Rivera para las simulaciones, elaborado por el Laboratorio de Energía Solar (LES), el cual representa una estadística de largo plazo en términos de sus valores medios y de su variabilidad climática [3]. Nótese que los resultados y conclusiones que se obtienen pueden ser diferentes al variar la localización (o clima) donde se ubica la vivienda.

### 3.3. Criterio de confort adaptativo

El criterio de acondicionamiento térmico en una vivienda está estrechamente vinculado a la sensación de confort de sus habitantes y las posibilidades de acceder a los energéticos para alcanzar las temperaturas deseadas cuando se encuentran fuera de la temperatura de confort.

Por tanto, la evaluación de desempeño energético de la vivienda se encontrará directamente relacionada con las temperaturas de consigna establecidas a partir de las cuales los usuarios consideran utilizar acondicionamiento térmico artificial, estando estas últimas directamente vinculadas a los parámetros de confort considerados. Dichos rangos de temperatura para este análisis se establecieron en base al modelo de confort adaptativo, en particular el ASHRAE Standard 55:2017 [4].

El rango de temperaturas de confort térmico para el modelo adaptativo de ASHRAE se determina a partir de una relación lineal entre la temperatura de confort térmico interior y la temperatura exterior de los días previos. La norma establece que la temperatura neutral ( $T_n$ ) de confort, se obtiene a partir de la  $\bar{T}_e$  aplicando la siguiente ecuación.

$$T_n = 0,31 \times \bar{T}_e + 17,8$$

---

Siendo  $\bar{T}_e$  la temperatura promedio exterior, calculada a partir de la temperatura media exterior de los 7 días previos, tal como describe en la siguiente ecuación,

$$\bar{T}_e = (1 - \alpha) \sum_{i=1}^7 \alpha^{(i-1)} \bar{T}_{e,i}$$

Donde  $\bar{T}_{e,i}$  es la temperatura exterior promedio del día  $i$  previo y  $\alpha$  es una constante que depende del clima, asumiendo  $\alpha = 0,8$ . A partir de la temperatura neutral, se establece como criterio de confort un rango de  $\pm 3,5^\circ\text{C}$  (rango de  $7,0^\circ\text{C}$  total), para un porcentaje de aceptación térmica del 80%.

La norma establece que para aplicar los límites de confort adaptativo determinados con las ecuaciones anteriores la temperatura promedio de funcionamiento exterior ( $\bar{T}_e$ ) debe encontrarse entre  $10,0^\circ\text{C}$  y  $33,5^\circ\text{C}$ , cuando se encuentre fuera de esos valores los límites de confort se asumirán las condiciones constantes tomando los valores determinados por las ecuaciones anteriores para  $10,0^\circ\text{C}$  y  $33,5^\circ\text{C}$ . Como referencia, para el año climático típico de Rivera, la temperatura mínima de confort a lo largo del año es  $18,9^\circ\text{C}$ , mientras que la máxima  $28,5^\circ\text{C}$ .

En la evaluación del requerimiento de energía, intervienen además de las temperaturas de consigna del sistema de acondicionamiento térmico, las horas de operación fijadas para su análisis. Partiendo de que la condición de confort térmico involucra directamente al usuario, para el cálculo de requerimientos de acondicionamiento térmico, tanto en calefacción como en refrigeración, se considera que solamente las habitaciones que se encuentran ocupadas (y en los momentos de ocupación) están acondicionadas de tal forma de alcanzar el mínimo confort. Por lo tanto, en el período frío se determina el requerimiento de energía para alcanzar la mínima temperatura de confort, mientras que en el período caluroso se determina el requerimiento para alcanzar la máxima temperatura de confort.

### 3.4. Orientación

La orientación de la vivienda es sin duda uno de los aspectos más relevantes en el desempeño térmico de la misma. Por lo tanto, para su evaluación se realizan simulaciones del desempeño rotando la vivienda con una discretización de  $30^\circ$  y de forma de abarcar todas las orientaciones.

Se define como orientación  $0^\circ$  aquella en la cual la fachada principal de la vivienda se orienta al norte. La rotación de la vivienda se realiza en sentido horario, o análogamente, el norte rota en sentido antihorario respecto a un referencial posicionado en la vivienda. En la figura 9 se esquematiza el plano para cuatro orientaciones rotadas  $90^\circ$ .

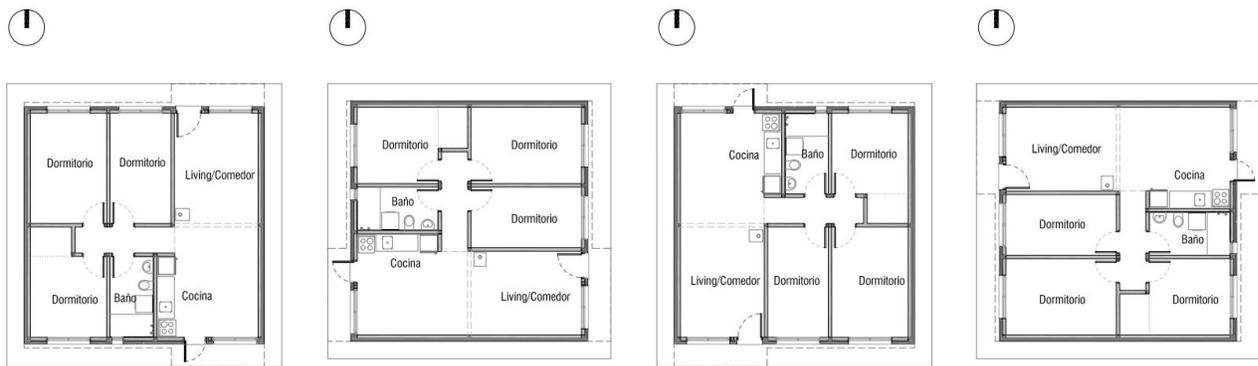


Figura 9. Esquema de orientaciones 0°, 90°, 180° y 270°.

### 3.5. Usuario

El comportamiento de los usuarios es altamente influyente en las condiciones higrotérmicas interiores y por lo tanto en el confort y eventuales requerimientos de energía requeridas para conseguir el confort.

Se define un usuario (o familia) tipo para viviendas de tres dormitorios en base al trabajo realizado en una investigación previa por el equipo consultor [1]. El perfil de los usuarios fue creado a partir de entrevistas a los mismos, los cuales presentaban ciertas similitudes con las de esta consultoría. La familia tipo está compuesta por cuatro personas (dos adultos y dos menores). Uno de los adultos está fuera de la vivienda 9 horas por razones laborales mientras que el otro permanece más tiempo en el hogar, con salidas parciales por la mañana y por la tarde. Los menores están fuera del hogar durante la mañana y alguna hora de la tarde. La habitación con mayor tiempo de ocupación es el estar/cocina. En cuanto a los dormitorios, el principal está ocupado únicamente durante la noche, mientras que los otros dos son utilizados durante la noche y algunas horas de la tarde.

Debido a que en gran parte del día se encuentra al menos un ocupante de la vivienda, y por lo tanto puede actuar sobre la ventilación abriendo y cerrando ventanas, para el período frío se estima una ventilación diaria puntual próxima al medio día, mientras que para el período caluroso se estima una ventilación más extendida en horario, abarcando el horario matutino y nocturno hasta medianoche aproximadamente. Esta ventilación se encuentra restringida por el criterio de confort, y por lo tanto, en caso de que la ventilación repercuta en un apartamiento del confort térmico, la misma no es realizada. De forma similar, en cuanto al uso de las protecciones solares (interiores y/o exteriores), para el período frío se estimó que las mismas permanecen abiertas desde las 8 hasta las 18 hrs aproximadamente (con desviaciones en los fines de semana respecto a los días hábiles), permaneciendo cerradas el resto del día. Para el período caluroso se consideró la apertura de los cerramientos durante la mañana y de 18 a 24 aproximadamente (también con desviaciones entre fines de semana y días hábiles).

---

Se considera período caluroso el comprendido entre el 16 de noviembre y 15 de marzo. El resto del año se consideró con el comportamiento de los usuarios en período frío.

En cuanto a los equipamientos y las cargas térmicas asociadas a estos, se estimó el uso de heladera (potencia continua de 70W en período frío y 80W en periodo caluroso), iluminación de bajo consumo en las habitaciones con ocupante en algunos periodos del día, televisión (y otros), así como uso de lavarropas (una vez a la semana).

## **4. Variables de salida y resultados preliminares**

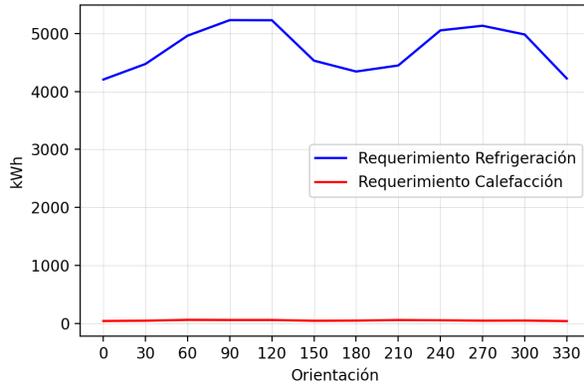
En esta sección se presentan las variables de salida así como los resultados preliminares obtenidos en los casos simulados a modo ilustrativo. Debe tenerse en cuenta que los resultados son preliminares ya que aún deben calibrarse ambos modelos.

### **4.1. Requerimientos energéticos (Cargas HVAC)**

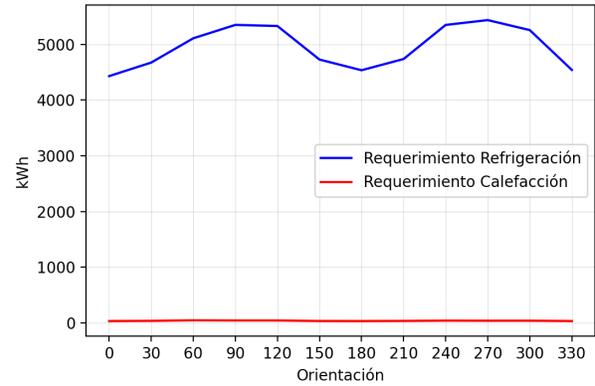
A partir de las simulaciones se determinan los requerimientos de energía necesaria para calefaccionar y refrigerar (HVAC) las viviendas con la finalidad de mantenerse dentro de los criterios de confort en las habitaciones donde se encuentra al menos una persona y durante la permanencia de las mismas. El valor obtenido de requerimiento energético no contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) del sistema de acondicionamiento térmico, siendo directamente la energía que se debe agregar o extraer de la vivienda.

Las cargas HVAC se determinan a lo largo del año (mes a mes) y para todas las orientaciones de vivienda (de forma discreta).

Estos resultados se presentan en cargas anuales en función de la orientación como se muestra en la Figura 10. Se obtienen cargas de refrigeración anuales altas, entre 4000 y 5500 kWh según la orientación. Los valores máximos de refrigeración se dan para las orientaciones 90° y 270°, para las cuales todas las ventanas están orientadas al oeste o al este, obteniéndose mayores ganancias debido a la posición relativa del sol. En ambos casos se observan cargas muy bajas de calefacción.



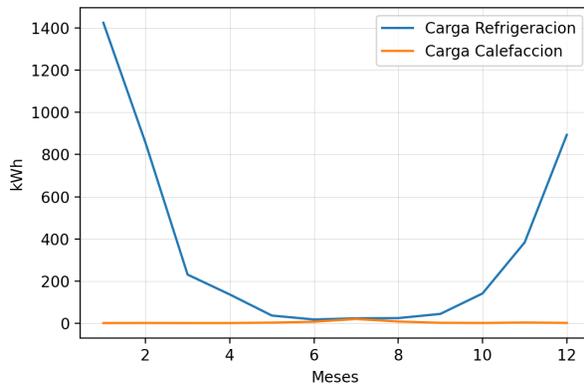
(a) Madera



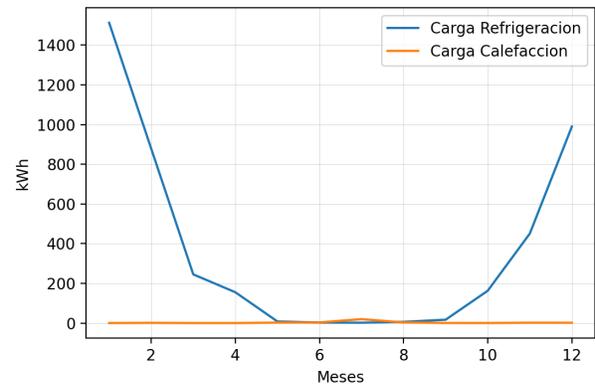
(b) Tradicional

Figura 10. Requerimientos de refrigeración y calefacción anuales en función de la orientación de la vivienda para ambas soluciones constructivas.

Además se obtiene la evolución anual de las cargas para las diferentes orientaciones simuladas. En las Figuras 11 se presenta esto para la orientación 0° (fachada principal al norte) para cada solución constructiva. En estos resultados se observan cargas importantes para refrigerar la casa en los meses cálidos, mientras que se tienen cargas muy pequeñas de calefacción. Se observan comportamientos muy similares entre ambas soluciones constructivas.



(a) Madera



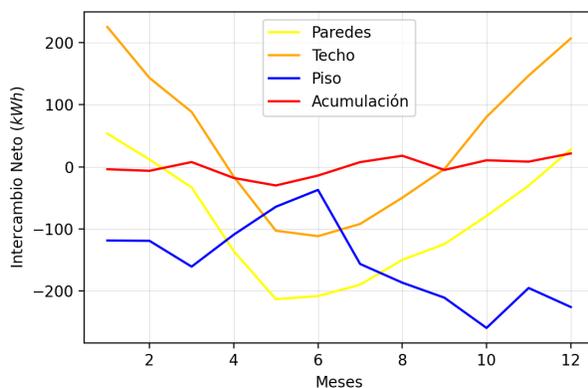
(b) Tradicional

Figura 11. Requerimientos de refrigeración y calefacción mensual para una vivienda con orientación 0° para ambas soluciones constructivas.

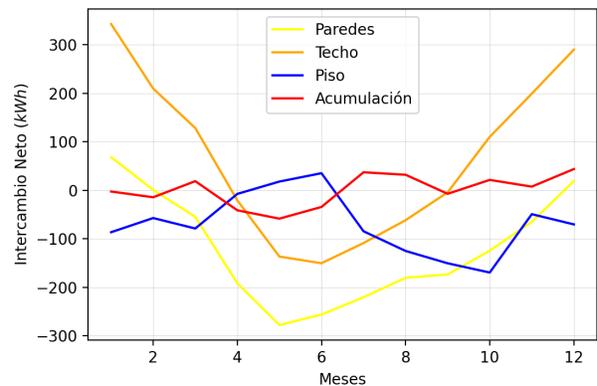
## 4.2. Balances netos de la envolvente opaca

A través del techo, el piso y los muros exteriores, las viviendas perciben ganancias y pérdidas de calor. Para cada caso simulado esto se resume en gráficos como el de la Figura 12 donde se presenta la diferencia entre las ganancias y pérdidas por cada tipo de superficie en cada mes, con la finalidad de evaluar cuales afectan en mayor medida sobre los balances netos y por ende que superficie tiene mayores potenciales de mejora. Así mismo se incluye la energía acumulada por dichas superficies con el fin de poder analizar si entre ambas soluciones se observan comportamientos diferentes.

En la Figura 12 se puede observar que el techo presenta en general mayores ganancias (o menores pérdidas) que el resto de las superficies. Para el caso de construcción liviana el techo presenta un mejor comportamiento, ya que se observan menores ganancias netas en verano y menores pérdidas netas en invierno, lo que según las simulaciones se debe al efecto del cielorraso ventilado.



(a) Madera

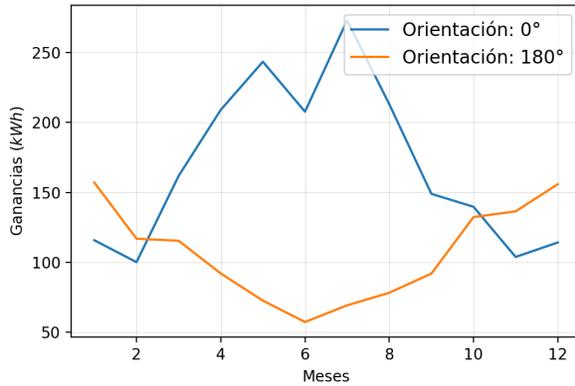


(b) Tradicional

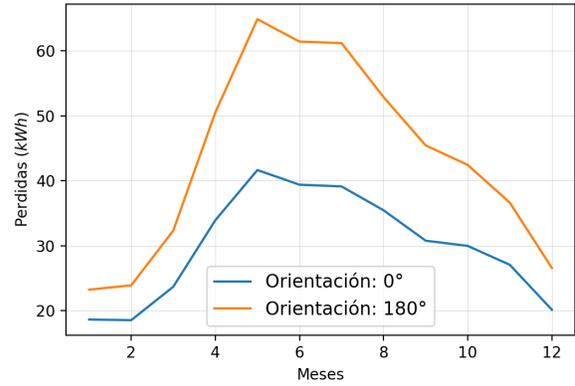
Figura 12. Flujo neto mensual de calor por los componentes de la envolvente opaca y acumulación de energía en dichas superficies para una vivienda orientada 0° para ambas soluciones constructivas.

## 4.3. Ventanas

Las ganancias de calor a través de las ventanas se presentan en cada caso agrupandolas por su orientación. En la Figura 13 se presenta el caso correspondiente a la vivienda de madera con orientación 0°. Incluyen el calor de radiación que ingresa por el área vidriada y las pérdidas de calor por conducción tanto por el área vidriada como por los marcos de las mismas.



(a) Ganancias

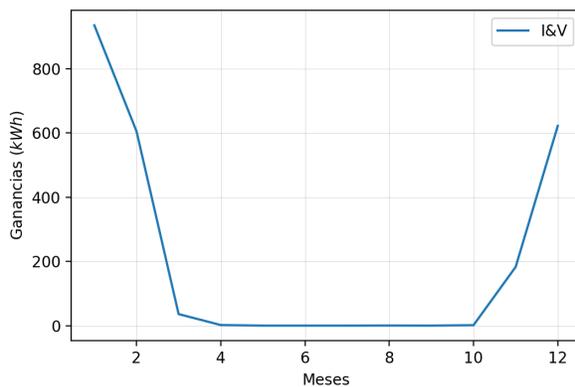


(b) Pérdidas

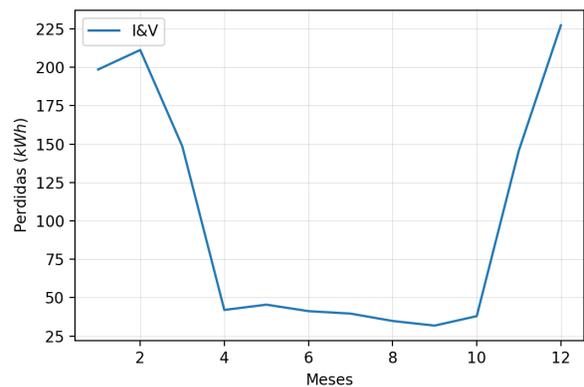
Figura 13. Ganancias y pérdidas de calor mensual por las ventanas agrupadas por su orientación para la solución constructiva en madera con la vivienda orientada 0°.

#### 4.4. Infiltraciones y ventilación

Las ganancias y pérdidas de calor debido a las renovaciones de aire ocasionadas por las infiltraciones y la ventilación natural se presentan mensualmente como en el ejemplo de la Figura 14. Este caso corresponde a la vivienda de madera orientada 0°. Los altos valores observados de ganancias y pérdidas de calor en los meses de diciembre, enero y febrero se deben principalmente al importante uso de la ventilación natural mediante la apertura de ventanas que genera grandes renovaciones de aire. En el resto de los meses lo que se observa son pérdidas de calor moderadas que se deben principalmente a la propia permeabilidad de la vivienda.



(a) Ganancias



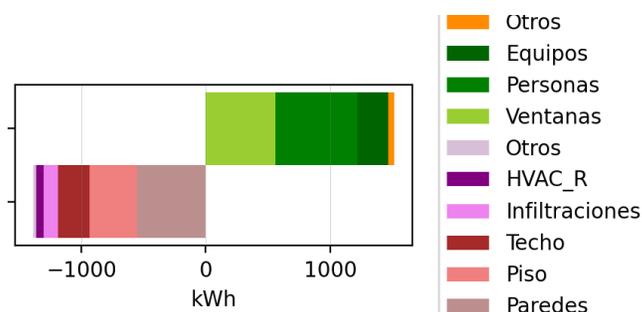
(b) Pérdidas

Figura 14. Ganancias y pérdidas de calor mensual ocasionadas por las renovaciones de aire tanto de infiltraciones como de ventilación natural para la solución constructiva en madera con la vivienda orientada 0°.

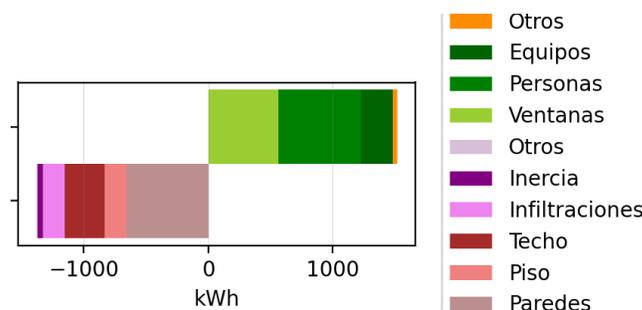
Con estos resultados preliminares se puede inferir que al igual que en casos de estudio previos, el uso adecuado de la ventilación natural puede reducir los requerimientos energéticos. En este caso por medio de la reducción de dicha ventilación en los períodos de altas temperaturas externas.

#### 4.5. Comparativa de aportes

También se presenta en un gráfico de barras los aportes de los distintos elementos al balance energético de la vivienda para dos períodos del año. Esto permite comparar el aporte relativo de cada cosa al balance general, y encontrar para cada período que mejoras en la vivienda pueden ser más efectivas.



(a) Vivienda de Madera



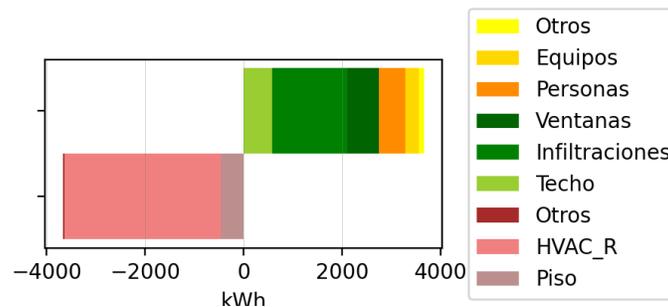
(b) Vivienda tradicional

Figura 15: Aportes relativos al balance térmico de los elementos de la vivienda en los meses de junio, julio y agosto. Vivienda orientada a 0°.

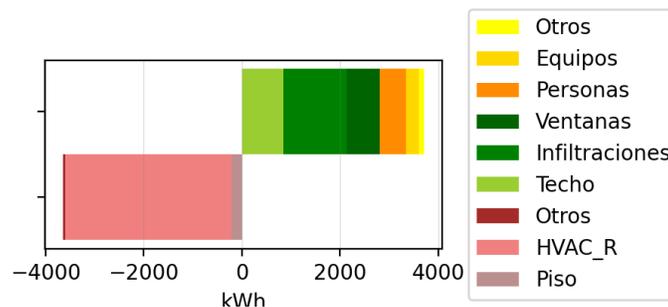
En la Figura 15 se presenta esto para los meses de junio, julio y agosto para ambas viviendas con la orientación 0°. En estos resultados preliminares muestran que en ambos casos no se requiere calefacción, y que incluso hay cierto requerimiento de refrigeración. Esto llama la atención pero debe tenerse en cuenta que el modelo no ha sido calibrado aún. Se observa que el interior de la vivienda alcanza temperaturas de confort gracias a las cargas internas (equipos y personas) y a las ganancias por las ventanas, las cuales incluso superan las pérdidas que en estos casos son por la envolvente opaca y debido a las

infiltraciones y ventilación natural. Al comparar entre casos se observan comportamientos similares, con ciertas diferencias en los pesos relativos de las pérdidas de calor.

Lo mismo se presenta en la Figura 16 para los meses de mayores temperaturas. Para esos meses se observa que además de las ganancias internas (personas y equipos) y las ganancias por las ventanas, también se tienen ganancias por el techo y debido a infiltraciones y ventilación natural. Las paredes presentan un comportamiento neutro y se tienen pérdidas únicamente por el piso. Por esto, para mantener temperaturas de confort en el interior de la vivienda según el modelo se requieren valores elevados de energía.



(a) Vivienda de Madera



(b) Vivienda tradicional

Figura 16: Aportes relativos al balance térmico de los elementos de la vivienda en los meses de Enero, Febrero y Diciembre. Vivienda orientada a 0°.

#### 4.6. Resumen de resultados y medidas de eficiencia energética aplicables

A partir de los resultados de las simulaciones es posible analizar y comparar el desempeño térmico de las viviendas con ambas soluciones constructivas, identificar las orientaciones que minimizan los requerimientos de energía para su acondicionamiento, determinar qué superficies, tanto opacas como vidriadas, influyen en mayor medida, así como evaluar la influencia de la ventilación e infiltraciones en los requerimientos de calefacción y refrigeración. De este modo, los resultados de las simulaciones son la base para identificar y posteriormente analizar medidas de eficiencia energética aplicables a

---

la tipología Cardal en ambas soluciones constructivas. Nótese que por tratarse de modelos iniciales, los cuales deben ser calibrados con resultados de mediciones reales, los resultados presentados en esta sección no son concluyentes y no permiten un análisis exhaustivo, menos aún obtener conclusiones que permitan dilucidar posibles mejoras al diseño de las viviendas.

## **5. Conclusiones**

En esta primera etapa del proyecto, la cual tuvo como objetivo principal la creación de modelos de simulación numérica de la tipología Cardal, inicialmente se analizaron los planos y memorias de la tipología en ambas soluciones constructivas, se realizaron visitas a ambas localidades para verificar la ejecución de la obra según los planos. En este análisis se constató que existen diferencias no solo materiales entre ambas soluciones constructivas, identificándose diferencias en los cielorrasos y tabiquería interna, lo cual deriva en dos modelos a simular diferentes. En la visita se constataron además algunas diferencias entre la ejecución y los planos como por ejemplo la medida de los aleros y el hecho de no adoptar el criterio de ubicación de las ventanas según la orientación de la misma.

Seguidamente se crearon dos modelos para simular el desempeño térmico de viviendas de tres dormitorios con ambas soluciones constructivas ajustadas a la geometría y materiales de cada una. Se simularon ambas viviendas, para diferentes orientaciones, bajo las condiciones meteorológicas de año climático típico de Rivera, con un usuario genérico y aplicando un criterio de confort adaptativo. En la tercera etapa del proyecto, luego de calibrar los modelos en la etapa 2, a partir de los resultados de las simulaciones será posible analizar el desempeño térmico de las viviendas a lo largo de un año típico para proponer y evaluar mejoras a ambas soluciones constructivas.

---

## Referencias

[1] Pena, G., Kosut, J., Favre, F. y otros. Estudio interdisciplinario para la validación de criterios de diseño de eficiencia energética en los programas de vivienda [en línea]. Montevideo : Udelar. FI : Udelar. FADU : Udelar. FCS, 2022

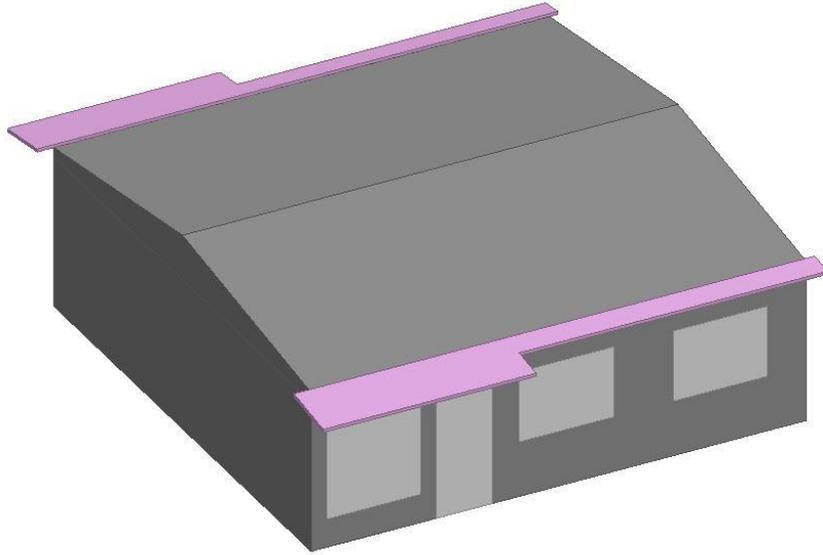
[2] Curto-Risso, P., Favre Samarra, F., Gervaz Canessa, S. y otros. Eficiencia energética en el sector residencial: situación actual y evaluación de estrategias de mejoramiento para distintas condiciones climáticas en el Uruguay [en línea]. Montevideo : Udelar. FI. : Udelar. FADU. : Udelar. CENUR, 2021.

[3] ALONSO-SUÁREZ, Rodrigo, BIDEGAIN, Mario, ABAL, Gonzalo y MODERNELL, Pablo. Año meteorológico típico para aplicaciones de energía solar. Montevideo : Laboratorio de Energía Solar, 2016.

[4] Standard ANSI/ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy, 2017.

# CAPÍTULO 2: MEDICIONES Y CALIBRADO

---



---

## Índice del capítulo

<b>Lista de acrónimos</b>	<b>34</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>35</b>
<b>2. Mediciones y relevamiento</b>	<b>36</b>
2.1. Metodología	36
2.1.1. Temperatura y humedad relativa	36
2.1.2. Datos meteorológicos	39
2.1.3. Permeabilidad	41
2.1.4. Imágenes termográficas	41
2.1.5. Relevamiento de equipos internos	42
2.1.6. Entrevista a usuarios	42
2.2. Resultados y análisis de las mediciones	42
2.2.1. Condiciones climáticas	42
2.2.2. Temperatura y humedad relativa	47
2.2.3. Permeabilidad	59
2.2.4. Imágenes termográficas	60
2.2.5. Equipos internos	64
<b>3. Calibración de modelos</b>	<b>68</b>
3.1. Metodología	68
3.1.1. Archivo climático	69
3.1.2. Usuario “real”	69
3.1.3. Características físicas de las viviendas	70
3.2. Resultados	70
3.2.1. Construcción tradicional	70
3.2.2. Construcción madera	72
<b>4. Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>Referencias</b>	<b>77</b>

---

## Lista de acrónimos

*FA* - Factor de amortiguamiento

LES - Laboratorio de Energía Solar

$T_{Int}$  - Temperatura interior

$T_{Max}$  - Temperatura máxima de confort

$T_{Min}$  - Temperatura mínima de confort

*Gh* - Grados hora de discomfort

NE - Noreste

NO - Noroeste

SE - Sureste

SO - Suroeste

---

## 1. Introducción

Una vez creados los modelos (Etapa 1), los mismos se calibran en base a mediciones realizadas en las dos viviendas para el período caluroso y frío, así como encuestas realizadas a los residentes.

No obstante, se realizaron mediciones en cuatro viviendas, dos de cada tipo de solución constructiva, con la finalidad de analizar las condiciones de confort o discomfort higrotérmico interiores y compararlas con la percepción de los residentes (Etapa 4).

Para el calibrado se contó con mediciones interiores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del estar/cocina y dormitorios de las viviendas, durante tres semanas del período caluroso de cuatro viviendas, suministrado por la DNE. Adicionalmente, el equipo consultor realizó mediciones de temperatura de bulbo seco (interior) y humedad relativa del estar/cocina y dormitorios de las cuatro viviendas durante tres semanas en julio. Estas mediciones se utilizan tanto para calibrar los modelos, como para analizar la percepción de confort higrotérmico de los residentes.

Además se cuenta con información meteorológica de diversas fuentes a fin de conocer los parámetros ambientales exteriores de: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar directa e indirecta en el plano horizontal, tanto del período caluroso como frío, en ambas localidades.

En estas visitas también se realizó un relevamiento general de la vivienda y particularmente del equipamiento que genera cargas térmicas (por ejemplo electrodomésticos), se realizaron mediciones de permeabilidad con puerta sopladora (Blower door) y se tomaron imágenes termográficas de puntos de interés.

En las mismas visitas se realizaron entrevistas a los usuarios de las 2 viviendas a modelar (una para cada período utilizado para la calibración) con la finalidad de crear perfiles de uso fundamentales para la calibración de los modelos.

A partir de estos datos se realizaron una serie de simulaciones ajustando parámetros con la finalidad de calibrar los modelos utilizando los estándares de Ashrae Guideline 14-2014.

También se realizó un análisis de los resultados de las mediciones, el cual no se solicitó en los TdR pero se entiende son valiosos para evaluar el desempeño de las dos soluciones constructivas.

El presente capítulo es el producto de la Etapa 2, el cual incluye los resultados de las simulaciones calibradas así como los resultados de las mediciones y su análisis.

---

## 2. Mediciones y relevamiento

### 2.1. Metodología

Para recabar la información necesaria sobre las viviendas y sus ocupantes, se realizaron tres tipos de recopilaciones de datos en los conjuntos habitacionales; la primera, dirigida a relevar las características físicas de las viviendas (orientación, geometría, materiales, protecciones solares, etc.) y las modificaciones introducidas por el usuario al prototipo original; la segunda de sistematización de las mediciones de los parámetros ambientales interiores y exteriores, así como permeabilidad de las viviendas; y la tercera del perfil de los usuarios (número de ocupantes, edad, empleo, salario, etc.), y la percepción general de la vivienda por parte de los usuarios (condiciones térmicas, de iluminación, ruido, seguridad, espacio, etc.).

Las mediciones se realizaron en tres instancias. En la primera instancia, realizada por la DNE, se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa interior de cuatro viviendas, siendo estas una de dos y otra de tres dormitorios de cada solución constructiva. Estas mediciones tuvieron lugar entre el 10 de febrero y el 9 de marzo.

En la segunda instancia, realizada por el equipo consultor en el mes de abril, se realizaron las mediciones de permeabilidad de dos viviendas de tres dormitorios (una de cada solución constructiva), así como el relevamiento del equipamiento interno de estas viviendas.

Por último, la tercera instancia, realizada en julio por medio de dos visitas (09-10 y 29-30 de julio), se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa en cuatro viviendas (siendo las de tres dormitorios y una de dos dormitorios las mismas en verano e invierno), así como temperatura y HR exteriores en ambas localidades, y se tomaron imágenes termográficas en cinco viviendas.

Las viviendas monitoreadas en la localidad de Cuchilla del Ombú (Tacuarembó) fueron la 31728 (tres dormitorios) y 31730 (dos dormitorios), mientras que en La Canilla (Rivera) el relevamiento se realizó en la vivienda 31997 (tres dormitorios), así como 31996 y 31998 (ambas de dos dormitorios).

#### 2.1.1. Temperatura y humedad relativa

Las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire se realizaron con registradores HOBO UX100-003 y HOBO UX100-011, OnsetHOBO H8 Family y Extech RHT10, configurados con una periodicidad de registro cada 15 minutos.

Se monitorean los locales habitables de las viviendas, con al menos un sensor por habitación. En el caso de las viviendas de tres dormitorios se colocan en el estar-comedor, cocina (sector comedor), Dormitorio 1, Dormitorio 2, Dormitorio 3. En las viviendas de dos dormitorios se colocan en el estar-comedor, Dormitorio 1, Dormitorio 2. En las figuras 1 a 4 se esquematiza la ubicación de los sensores para las viviendas de tres y dos dormitorios respectivamente en el período de invierno y verano.

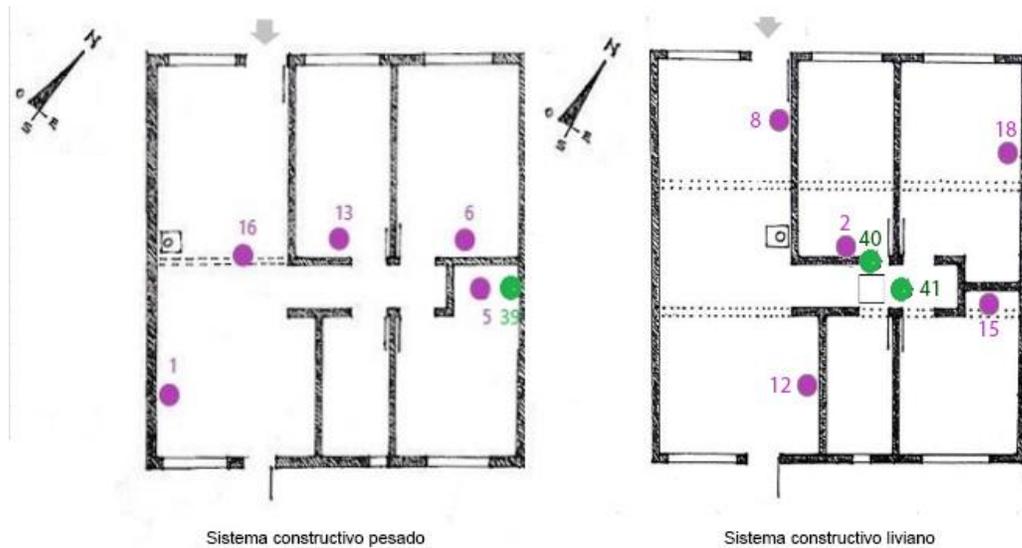


Figura 1: Mediciones Julio - Ubicación de sensores en viviendas de tres dormitorios

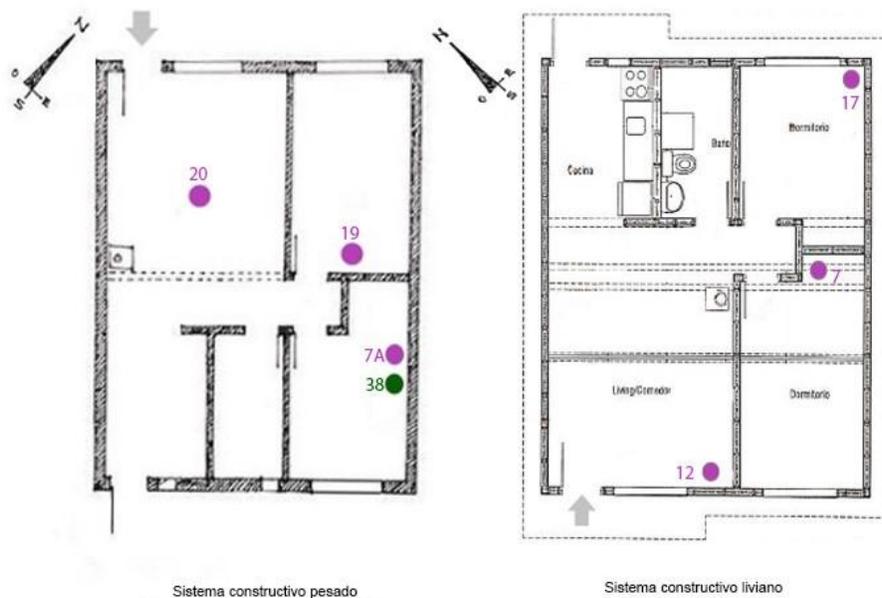


Figura 2: Mediciones Julio- Ubicación de sensores en viviendas de dos dormitorios

Adicionalmente, en la vivienda de tres dormitorios en sistema constructivo liviano (31997-La Canilla) se monitorean las condiciones de temperatura y humedad de espacio de cielorraso con dos sensores. Estos equipos se colocaron para que permitan el mejor calibrado de los modelos de EnergyPlus para evaluar esta zona térmica.

Los sensores se ubicaron en las habitaciones considerando que no reciban radiación solar directa y cuando fue posible intentando que estuvieran próximos al baricentro del local.

En el período caluroso se analizarán las mediciones entre el 10 de febrero y el 9 de marzo y en el período frío entre el 10 de julio y el 29 de julio.

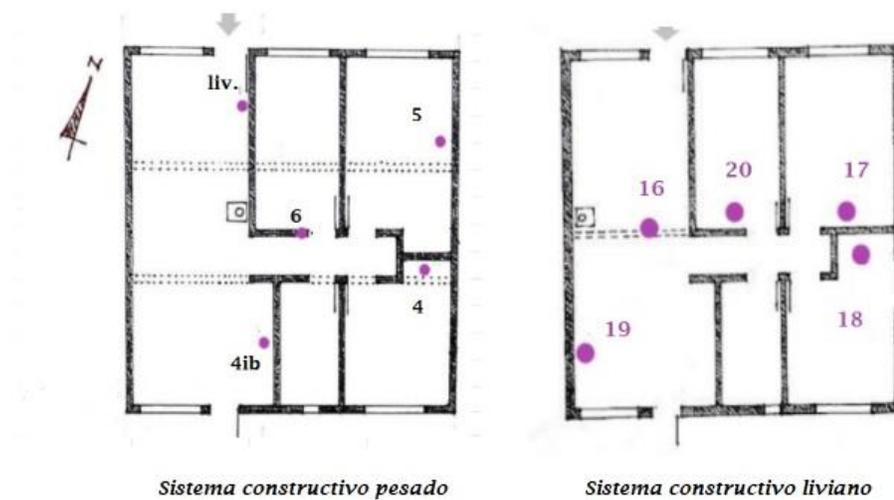


Figura 3: Mediciones Febrero- Ubicación de sensores en viviendas de tres dormitorios

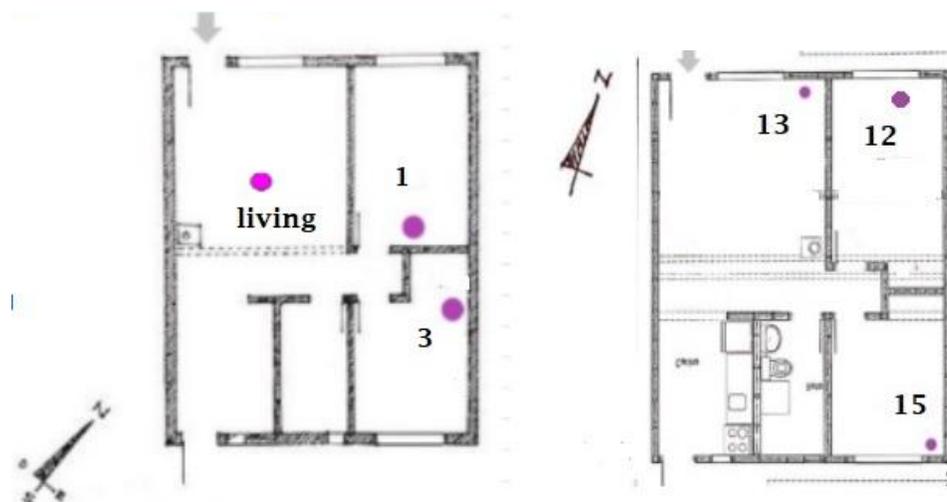


Figura 4: Mediciones Febrero- Ubicación de sensores en viviendas de dos dormitorios

---

A partir de las mediciones de temperatura se determinaron los grados hora de discomfort respecto al rango de confort adaptativo correspondiente a cada período y cada localidad. Los grados hora (o grados día) de discomfort de una vivienda (habitación, local, etc) es proporcional a la energía necesaria para llevar ese ambiente a condiciones de confort, por lo que es un buen indicador para evaluar de forma simple el desempeño de las viviendas en estudio.

A partir de los datos meteorológicos se determinó el rango de confort adaptativo según fue explicitado en la sección 3.3 del Capítulo 1. Una vez determinada la temperatura mínima y máxima de confort para cada día, se calcularon los grados hora de discomfort de cada habitación. Es decir, la sumatoria de los grados de discomfort de cada hora, según se explicita a continuación.

- Si  $T_{Int} > T_{Max} \Rightarrow Gh = T_{Int} - T_{Max}$
- Si  $T_{Int} < T_{Min} \Rightarrow Gh = T_{Min} - T_{Int}$
- Si  $T_{Min} < T_{Int} < T_{Max} \Rightarrow Gh = 0$

Donde  $T_{Int}$ ,  $T_{Min}$ ,  $T_{Max}$  corresponden a las temperaturas interior, mínima de confort y máxima de confort.

Debido a que los períodos de medición no fueron iguales para todas las viviendas ni para ambos períodos, se determinó el promedio diario de grados hora de discomfort con la finalidad de poder comparar entre las diferentes viviendas.

Adicionalmente se determinó el factor de amortiguamiento promedio de cada habitación de las viviendas, tanto en verano como en invierno. El factor de amortiguamiento ( $FA$ ) es el cociente entre la amplitud térmica interior sobre la exterior, según se describe en la siguiente ecuación.

$$FA = \frac{T_{Int,Max} - T_{Int,Min}}{T_{Ext,Max} - T_{Ext,Min}}$$

### 2.1.2. Datos meteorológicos

Se generaron dos archivos climáticos para cada una de las localidades (4 en total) integrando cuatro fuentes de datos diferentes, las cuales incluyen medidas de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad de viento (módulo y dirección), irradiancia solar global y difusa en plano horizontal.

---

Para la ciudad de Tacuarembó se utilizaron los datos de temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento de la estación de medida La Magnolia del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Para la irradiancia solar se utilizaron mediciones del Laboratorio de Energía Solar (LES, UdelaR), estación también ubicada en La Magnolia, INIA. La serie de datos del LES no se encontraba completa, por lo que se decidió completar la serie relleno con las medidas de irradiancia solar global de INIA, la irradiancia solar difusa fue generada con un modelo empírico de separación. Los datos de irradiancia de INIA fueron ajustados contra los de LES, debido que se encontró una diferencia no menor entre ambas medidas. Los instrumentos del LES son calibrados cada dos años contra un estándar secundario (calidad controlada), por este motivo fueron tomados como referencia.

Para la ciudad de Rivera se utilizaron los datos de temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento del sitio web OGIMET, los cuales provienen de una estación meteorológica ubicada en Santana do Livramento, Brasil. Para la irradiancia solar se utilizaron estimativos satelitales elaborados por el LES.

Todos los datos fueron inspeccionados en forma gráfica y fueron promediados a escala horaria. Los datos faltantes fueron interpolados linealmente y se verificó gráficamente la consistencia de las series temporales resultantes. A partir de estos datos se generaron archivos en formato epw para poder realizar las simulaciones en EnergyPlus y posteriormente ajustar los modelos. Estos archivos utilizan como base el año meteorológico típico de la ciudad de Rivera (LES) y sustituyen en los períodos de verano e invierno (períodos utilizados para el calibrado) las variables meteorológicas antedichas.

Adicionalmente, se utilizaron mediciones de velocidad de viento de estaciones cercanas de la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE). Estas medidas se utilizaron para controlar la calidad de las medidas de velocidad de viento de INIA (Tacuarembó) y OGIMET (Rivera), debido a que la series temporales de viento presentaban valores un tanto anormales, siendo esta variable de gran importancia para las simulaciones dado impactan directamente en el modelado de la ventilación natural, en especial en el período caluroso. Por lo tanto, se generaron dos archivos climáticos adicionales, uno para Rivera y otro para Tacuarembó, los cuales sustituyen las mediciones de OGIMET e INIA por las mediciones de UTE, respectivamente.

Se analizaron datos de viento de UTE de 4 localidades, todas ellas a distancias de varias decenas de kilómetros de las dos localidades objetivo. En todos los casos se cuenta con velocidad de viento y dirección a varias alturas, normalmente entre 60 y 100 m, pero en algunos casos con medidas a 40m y 10m. Se realizó un análisis de los datos evaluando la ocurrencia de datos erróneos (valores repetidos o sin variación en ciertos intervalos), así como la distribución de velocidades y dirección de viento y las rosas de viento correspondientes. Se concluye que en la gran mayoría de los casos los datos eran de buena

---

calidad. Asimismo, si bien existen ciertas diferencias entre las diferentes localidades, se observa una muy buena coherencia entre ellas, lo cual permite confiar en que pueden utilizarse como estimaciones para las localidades objetivo.

El procesamiento requirió realizar promediación adecuada (diferente para velocidad y dirección), para llevar datos cada 10 minutos a datos horarios. En ocasiones se requirió interpolar los datos horarios por algunos faltantes (pocos). Asimismo, se requirió realizar un traslado en altura (mediante un modelo adecuado), partiendo de la menor altura disponible para obtener la estimación a 10m (y completando datos faltantes o erróneos desde otras alturas). Este procedimiento se validó en la localidad de Piedra Sola, en la que se disponía de la medida a 10m, con muy buenos resultados.

Para la localidad de Cuchilla del Ombú (Tacuarembó) se tomaron los datos procesados de Piedra Sola (con medición a 10m), mientras que para la de La Canilla (Rivera) se adoptaron los de Juan Pablo Terra (con medidas a 53m) en el período caluroso y los de Masoller en el período frío, debido a que los de Terra tenían muchos faltantes.

### **2.1.3. Permeabilidad**

Se caracterizó la permeabilidad al aire de las dos viviendas a modelar utilizando un equipo Blower Door modelo Minneapolis Blower Door System: 2 Fan System de la empresa estadounidense The Energy Conservatory. El ensayo se realizó según el método 1 de la norma ISO 9972:2015; con todas las puertas interiores abiertas y las exteriores cerradas. Se midió el flujo volumétrico que atraviesa el edificio para depresiones exterior e interior de 10 a 100 Pa, en pasos de 10 Pa.

Los datos luego fueron utilizados para ajustar los parámetros característicos del modelo matemático sugerido por la norma (coeficiente de caudal y presión). Posteriormente, con este modelo, se estimaron las renovaciones hora a una diferencia de 50 Pa (n50), valor que se utilizó para comparar la permeabilidad al aire de las diferentes soluciones constructivas y para ajustar algunos de los parámetros a ingresar en los modelos en EnergyPlus.

Se realizaron además 3 ensayos adicionales, 2 de ellos en viviendas diferentes para evaluar cuánto podrían llegar variar los resultados al considerar diferentes viviendas, y el tercero se realizó en una de las viviendas ya ensayadas pero con la estufa sellada (envuelta con una cubierta de nylon).

### **2.1.4. Imágenes termográficas**

Se realizó la toma de imágenes termográficas en las viviendas 31728 y 31730 de Cuchilla del Ombú y 31996 y 31997 en La Canilla en oportunidad de la visita para levantar sensores de temperatura. Para ello se utilizó una cámara FLIR T540.

---

Una vez observado, por medios directos, el problema de aislación en el cielorraso de la vivienda 31997, se decidió hacer tomas exploratorias de imágenes en las demás viviendas estudiadas. Como criterio general, se buscaron posibles puentes térmicos en la envolvente, basados en la información aportada al inicio del proyecto y la inspección de puntos particulares con problemas, información ésta que surgió a partir de las entrevistas o por consulta directa con los ocupantes.

Mediante estas imágenes, se pretende aportar elementos extra de estudio tendientes a observar el comportamiento de las distintas envolventes, pero sin realizar un análisis técnico de las imágenes.

### **2.1.5. Relevamiento de equipos internos**

Se relevaron los equipos consumidores de energía relevantes. Principalmente se trata de equipos eléctricos, agregando consumidores de combustibles fósiles y biomasa (cocina y calefactor). Dentro de los equipos eléctricos, se hace la distinción entre iluminación y otros equipos. En todo el equipamiento eléctrico, se registra la cantidad y características, datos que se utilizan posteriormente para los cálculos de ganancias internas de las viviendas.

### **2.1.6. Entrevista a usuarios**

Durante las visitas de abril y julio se realizaron entrevistas a los residentes de las cuatro viviendas monitoreadas a fin de determinar el perfil de uso y las condiciones de confort higrotérmico de los usuarios de estas viviendas. Adicionalmente se cuenta con información recabada por la DNE sobre el uso de ventanas y protecciones solares durante el período caluroso. Se elaboró una ficha por cada vivienda que se sistematiza en todos los casos.

La información recabada en estas entrevistas es utilizada para determinar los patrones de ocupación y uso por local de cada vivienda durante cada período de medición, para luego utilizarlos para la calibración de los modelos de cada vivienda.

## **2.2. Resultados y análisis de las mediciones**

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y relevamientos realizados, así como el análisis de los mismos.

### **2.2.1. Condiciones climáticas**

#### **2.2.1.1. Temperatura y radiación solar**

En las gráficas de las figuras 5 a 8 se presenta la evolución a escala horaria, durante una semana del período caluroso y una del período frío, de la temperatura de bulbo seco y la radiación solar (directa y difusa) de Tacuarembó y Rivera. Según se aprecia en los gráficos

de temperatura, la evolución diaria de ambas localidades, así como la amplitud térmica, fue muy similar en el período de medición.

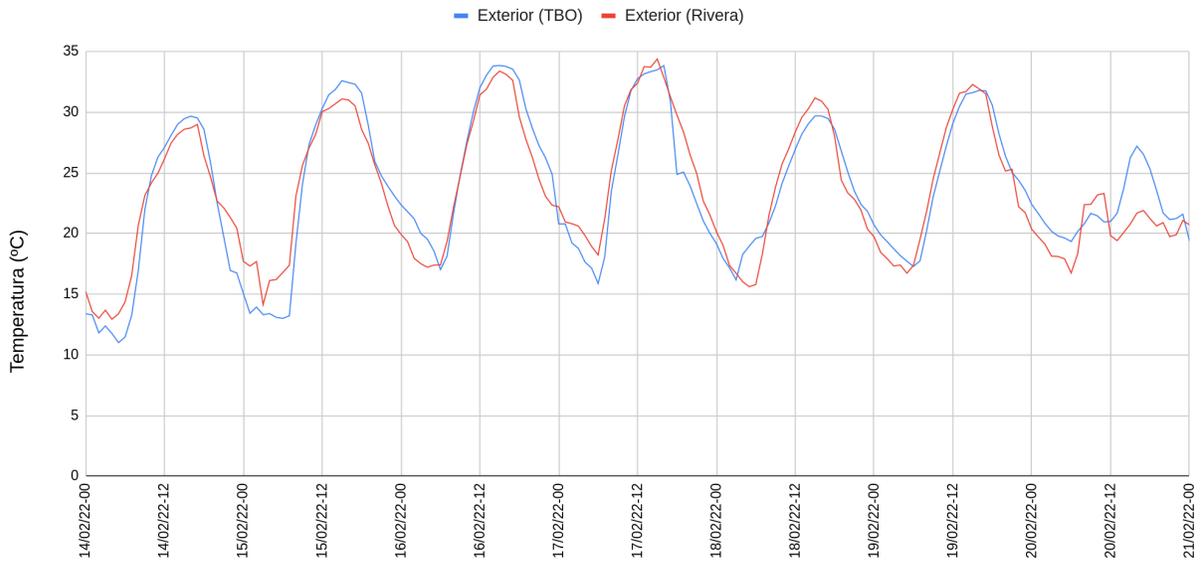


Figura 5: Temperatura de bulbo seco en Tacuarembó y Rivera durante una semana del período caluroso

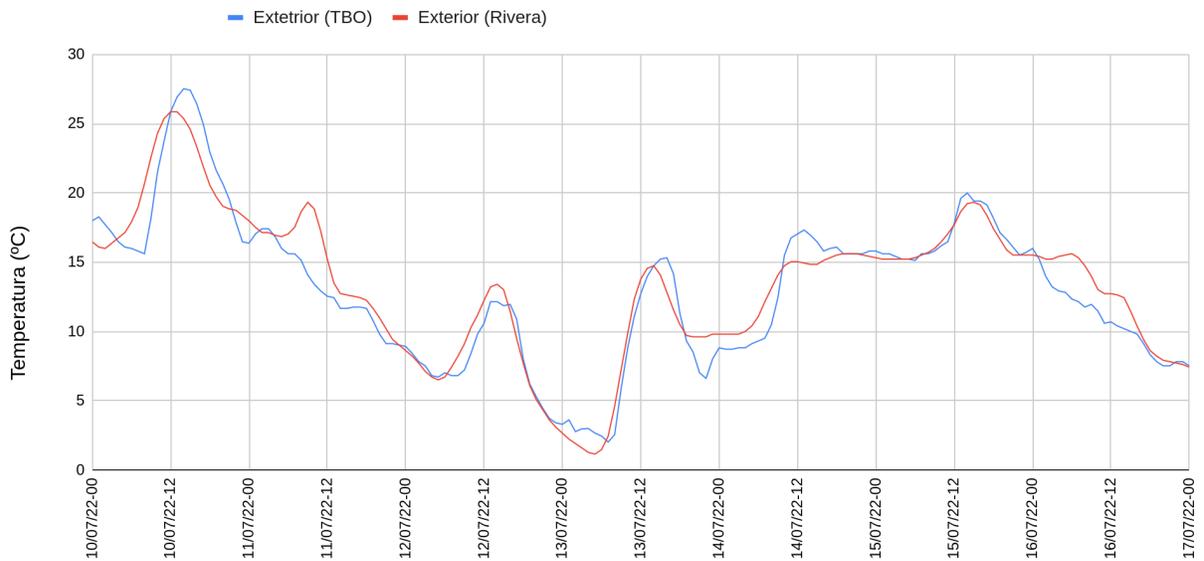


Figura 6: Temperatura de bulbo seco en Tacuarembó y Rivera durante una semana del período frío

En cuanto a la radiación solar, se observa que si bien existen diferencias, las mismas tampoco son significativas. Los días sin nubosidad la radiación directa en Tacuarembó alcanza valores aproximadamente 5% mayores a los determinados en Rivera, tanto en invierno como en verano. Por el contrario, la radiación difusa fue levemente mayor en

Rivera que en Tacuarembó, lo que puede atribuirse al método utilizado para generar los datos de irradiancia solar en esta localidad. Además se aprecia que los períodos de nubosidad fueron similares en ambas localidades. Por lo tanto, puede considerarse que las viviendas de ambas localidades estuvieron bajo condiciones de radiación similares en ambos períodos de medición.

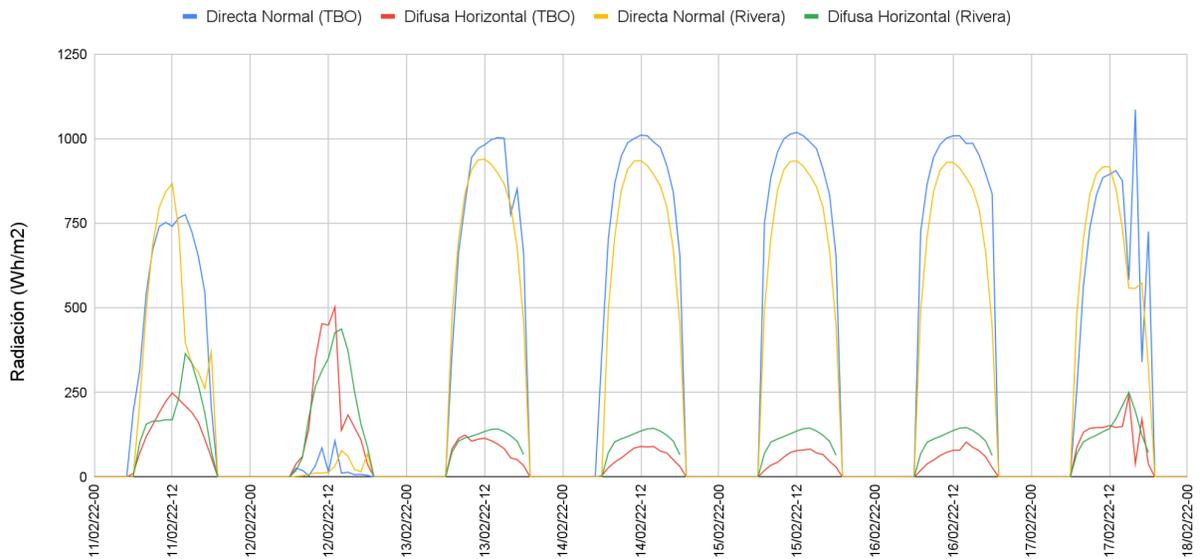


Figura 7: Radiación directa y difusa en Tacuarembó y Rivera durante una semana del período caluroso

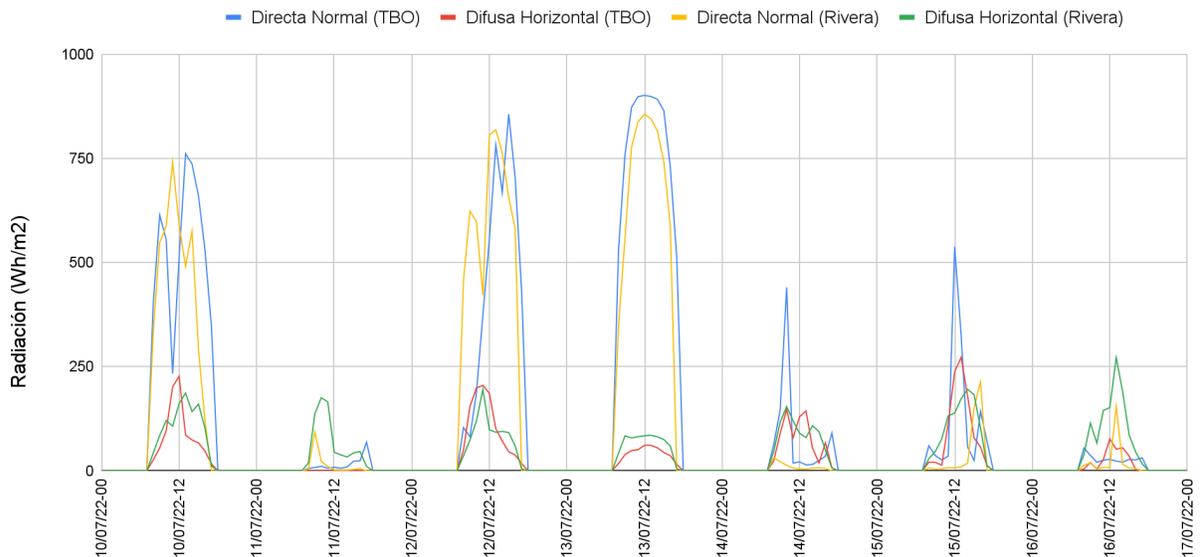


Figura 8: Radiación directa y difusa en Tacuarembó y Rivera durante una semana del período frío

---

### 2.2.1.2. Velocidad de viento

En las figuras 9, 10 y 11 se observan las rosas de vientos correspondientes a los datos de Santana do Livramento (muy cerca de La Canilla-Rivera), de Juan Pablo Terra (UTE) procesados y trasladados a 10m, y de Piedra Sola (UTE) procesados.

Se observa similitud entre ambas rosas provenientes de datos de UTE, con vientos predominantes desde la dirección Este. Asimismo, los valores medios de velocidad en ambos casos son muy similares (4,26 m/s en Piedra Sola y 4,43 m/s en Juan Pablo Terra).

Sin embargo, al comparar con los datos de Santana do Livramento, se observan grandes diferencias, tanto en la frecuencia de velocidades como en las direcciones más frecuentes. En este caso, los vientos parecen provenir principalmente desde el Sur, con una velocidad media para el período de 2,67 m/s.

Cabe destacar que a diferencia de lo que ocurre con los datos provenientes de INIA-Tacuarembó, en los de Santana no se detectaron problemas de datos faltantes, y se observa una distribución de velocidades que no llama particularmente la atención. Por tanto, no está clara la razón para las diferencias significativas entre estos datos y las estimaciones a partir de los datos de UTE. Es posible que haya efectos de la geografía local.

Si bien las estimaciones a partir de los datos de UTE dan vientos similares entre ambas localidades (con lo cual no deberían esperarse diferencias importantes por este efecto), sí que se encuentran diferencias muy significativas entre estos datos y los provenientes de la estación de Santana. Esto es aún más importante al comparar los datos provenientes de la estación de INIA-Tacuarembó, en la cual se detectó un faltante importante de datos (exceso de ceros), con un valor medio de velocidades aún menor que en Santana.

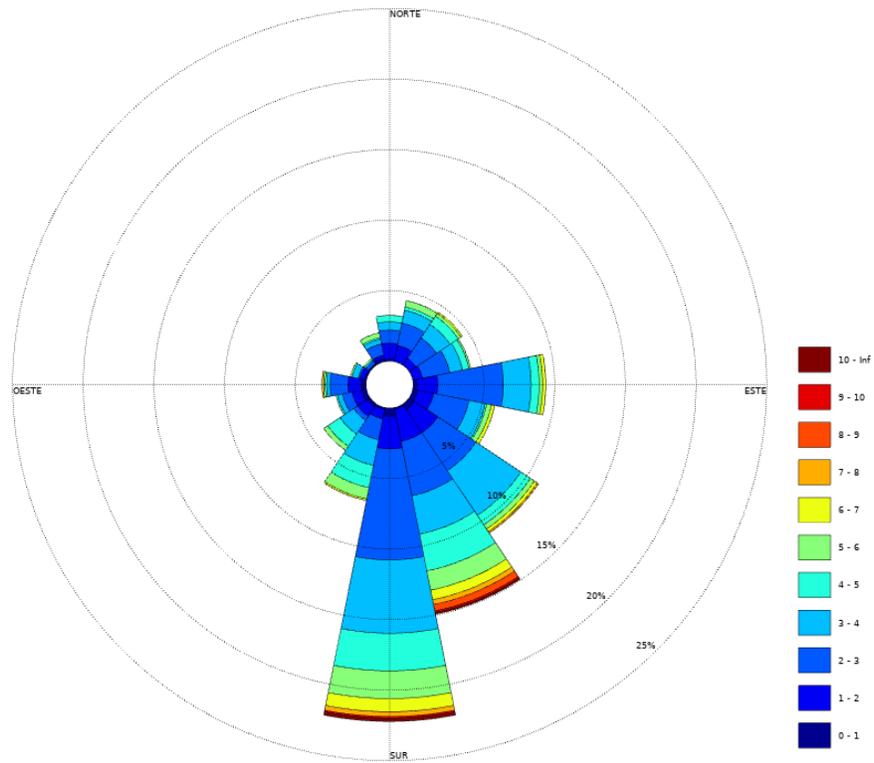


Figura 9: Rosa de vientos de Santana do Livramento en el período caluroso

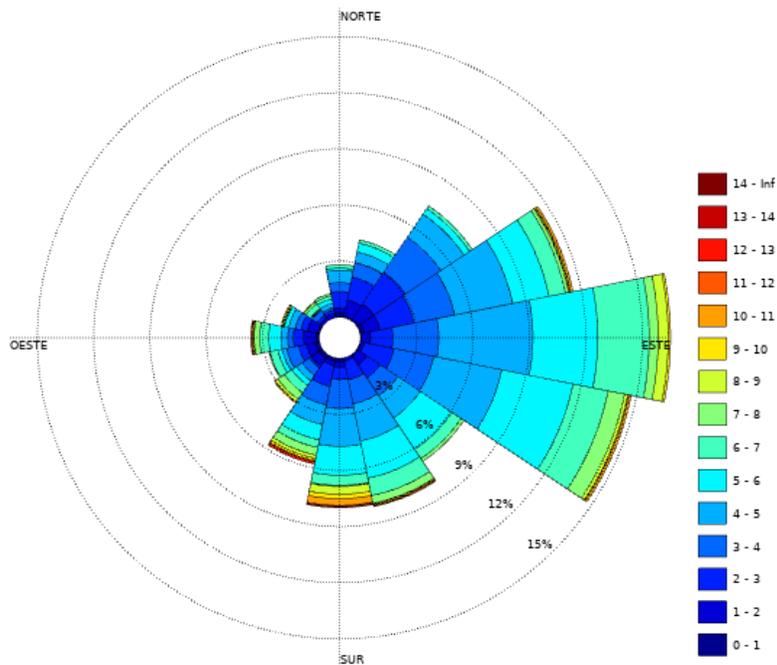


Figura 10: Rosa de vientos de Juan Pablo Terra (utilizado en La Canilla-Rivera), procesados y trasladados a 10m en el período caluroso

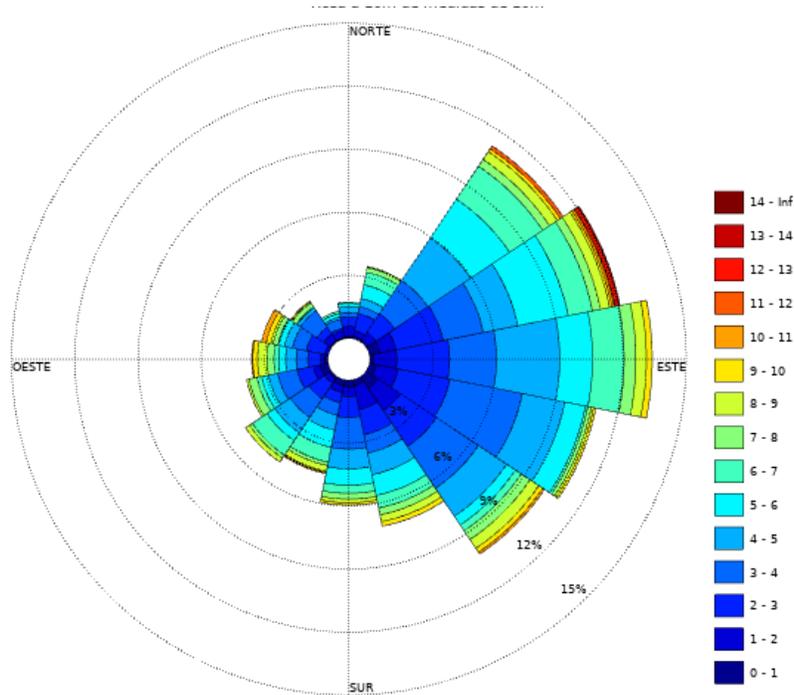


Figura 11: Rosa de vientos de Piedra Sola (utilizado en Cuchilla del Ombú-Tacuarembó), procesados, en el período caluroso.

## 2.2.2. Temperatura y humedad relativa

En las figuras 12 a 17 se presenta la evolución de la temperatura durante una semana<sup>1</sup> de las diferentes habitaciones de las viviendas de tres dormitorios para ambos períodos relevados (verano e invierno) con las dos soluciones constructivas, así como el rango de temperaturas de confort adaptativo<sup>2</sup>. Las series de datos completas, así como los datos y gráficos de las viviendas de dos dormitorios se encuentran en planillas adjuntas (Entregable\_2\_Mediciones\_Verano y Entregable\_2\_Mediciones\_Invierno).

### 2.2.2.1. Desempeños del sistema tradicional en el período caluroso

Según se aprecia en la figura 12, en la construcción tradicional de tres dormitorios, la vivienda controla la variación de los flujos de energía en el tiempo. Esto se cuantifica y sustancia en que mientras la amplitud diaria media exterior es de 12 °C, los espacios interiores alcanzan como máximo media 4,4 °C de amplitud, lo que permite principalmente controlar los picos inferiores de temperatura generados durante las noches. Durante el período de mediciones, la temperatura inferior de confort osciló entre 18,8 y 20,2 °C, mientras que la temperatura máxima de confort osciló entre 25,8 y 27,2 °C. Se aprecia

<sup>1</sup> Si bien se analizó el comportamiento durante todo el período relevado, se presentan gráficos de una semana representativa del mismo

<sup>2</sup> El criterio de confort adaptativo se encuentra explicado en la sección 3.3 del Capítulo 1.

claramente que cuando la temperatura exterior se aleja del límite inferior de confort la temperatura interior logra mantenerse dentro del rango deseable. Además la vivienda también fue capaz de reducir los picos superiores cuando la temperatura exterior fue máxima. A pesar de ello, la temperatura interior de todas las habitaciones se encontró por encima del límite superior de confort entre un 51 y 75% del tiempo (ver tabla 3).

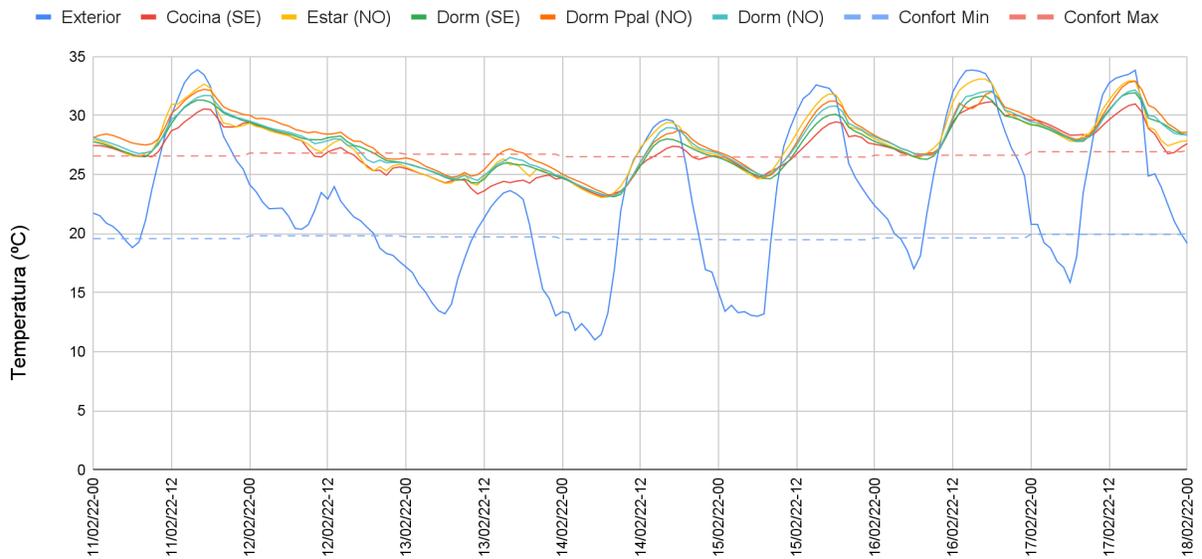


Figura 12: Vivienda de tres dormitorios en construcción tradicional. Período caluroso

En la gráfica también se observa un desfase de 1 hora y media (retraso) aproximadamente en la ocurrencia del máximo de temperatura exterior y la interior. Los cerramientos de un edificio deben tener un doble papel térmico: uno relacionado con la resistencia a la transmisión del calor y el otro relacionado con su capacidad de almacenar calor, conservarlo y liberarlo de una manera paulatina en el tiempo. La inercia térmica es un concepto integrador que caracteriza este sistema, y que es fundamental para poder afrontar la amplitud térmica de la temperatura exterior en una vivienda que está casi permanentemente ocupada. La inercia térmica conlleva los dos fenómenos anteriormente observados en la gráfica, la amortiguación en la variación de las temperaturas y el otro es el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior.

Por otra parte, en general, la evolución térmica para el registro de temperatura, muestra que el estar alcanza usualmente temperaturas más elevadas que el dormitorio SE, aunque en algunos momentos el dormitorio principal es el que tiene mayor temperatura. De acuerdo a lo esperado para una orientación con componente oeste que recibe la máxima energía cuando las temperaturas exteriores son mayores. Los locales donde se registran mayores niveles de temperatura interior son Estar, Dormitorio principal y Dormitorio (NO), los tres con aberturas orientadas al noroeste. Le siguen los locales orientados al sureste, el Dormitorio y con menores temperaturas la cocina. Vale destacar que estos locales

presentan mayores diferencias de temperaturas entre sí durante el día, siendo que durante las horas nocturnas tienden a una temperatura similar. Lo cual puede relacionarse con la incidencia de la radiación solar directa en las horas diurnas. La orientación NO y la SE reciben un total de energía solar diario similar en el período caluroso (debido a la altura del sol).

La gráfica muestra el potencial de refrescamiento que tiene la vivienda, en varios momentos de la gráfica (12, 13 y 15/02) denota que abren las ventanas ya que la temperatura interior desciende bruscamente, por lo tanto cuando la temperatura exterior es baja hay un gran potencial al utilizar la ventilación nocturna.

### 2.2.2.2. Desempeños del sistema tradicional en el período frío

En el período frío la vivienda de tres dormitorios con construcción tradicional, figura 13, presenta el mismo control de flujos de energía en el tiempo que en el período caluroso. Aunque las temperaturas exteriores se encuentran alejadas de los rangos de confort adaptativo, las temperaturas interiores registradas alcanzaron los niveles deseables la mayor parte del tiempo (utilizando el sistema de calefacción). En este período el límite inferior de confort adaptativo se encontró entre 16,7 y 19,1°C, mientras que el límite superior entre 23,7 y 26,1°C.

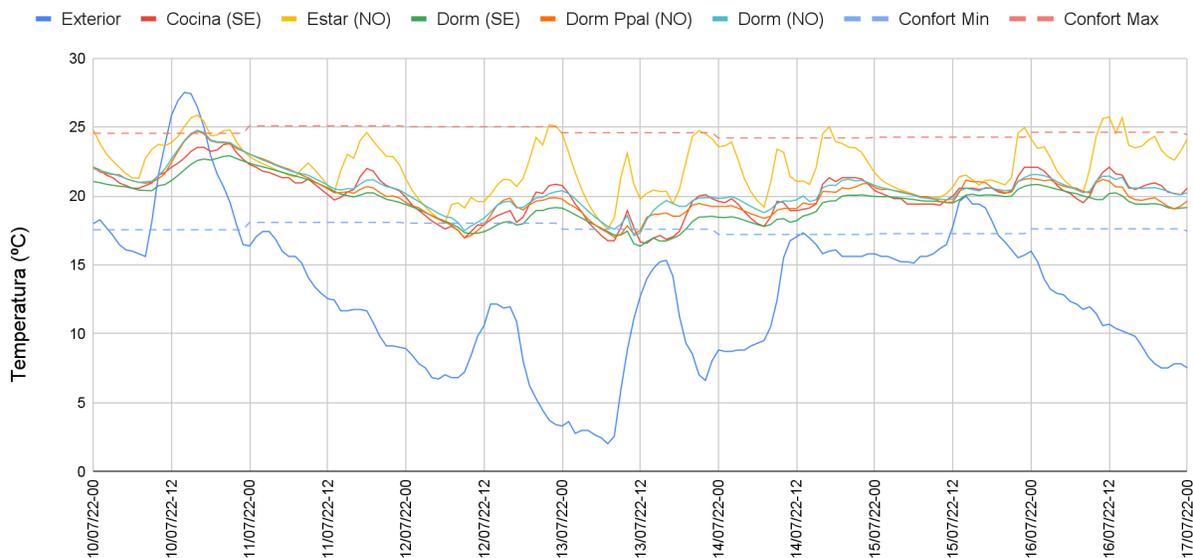


Figura 13: Vivienda de tres dormitorios en construcción tradicional. Período frío

En el gráfico se aprecia con claridad el uso del calefactor a leña, siendo esta su única fuente de calefacción, por medio del apartamiento de la curva amarilla correspondiente al Estar (NO) respecto al resto de los registros. Los usuarios declaran que prenden la estufa desde las 7 de la mañana hasta las 10 hs y esto se observa en la gráfica que presenta varias subas

---

de temperatura interior que coinciden con estos horarios, este comportamiento se repite en las horas de la tarde con un uso de la calefacción desde las 17 hasta las 23 hs. El uso del calefactor, así como otras cargas térmicas, repercute positivamente en los otros ambientes, aunque con diferencias notables. En los días 25, 26 y 27/07 se observa<sup>3</sup> que el calefactor no fue utilizado. Si bien la temperatura del estar es sensiblemente superior a la de los dormitorios en los períodos en los cuales el calefactor está encendido, el calor alcanza los dormitorios, permitiendo que los mismos superen el límite inferior de confort gran parte del tiempo. Luego de que el calefactor se deja de alimentar (durante la noche-madrugada) la temperatura interior desciende. Este descenso de temperatura es sensiblemente menor que el de temperatura exterior (la cual alcanzó 1 °C en algunos días), por lo tanto puede considerarse que la aislación e inercia térmica de la vivienda son aceptables. No obstante, durante las madrugadas más frías es necesario complementar con energía externa para permanecer todo el tiempo en condiciones de confort dentro de los dormitorios.

La primera premisa de diseño pasivo para mantener condiciones de confort térmico interior en el invierno es no perder energía, entonces es fundamental para este punto el manejo adecuado de la ventilación natural. En la gráfica de temperaturas se observa, que el usuario de esta vivienda ventila los espacios de las cocina, estar y dormitorios coincidiendo con los momentos donde la temperatura exterior es máxima, es decir que abre las ventanas al mediodía. Las gráficas coinciden con el comportamiento declarado por los residentes respecto a la apertura de las ventanas.

La segunda premisa de diseño es ganar energía, esto se observa en las habitaciones con ventanas orientadas al noroeste que presentan mayores temperaturas interiores. También se aprecia que el dormitorio orientado hacia el sureste siempre se encuentra a menor temperatura debido a tener menores ganancias solares. Este comportamiento responde a que las ganancias totales diarias de radiación solar en el período frío en la orientación NO es diez veces mayor que la SE.

### **2.2.2.3. Desempeños del sistema liviano en el período caluroso**

Una edificación con poca inercia térmica tiene un desempeño térmico próximo a las variaciones de la temperatura exterior, es decir la temperatura interior como en este caso sigue las fluctuaciones de la exterior. El uso de la inercia térmica en edificaciones además de amortiguar los picos de temperatura exterior proporcionan un retraso en los picos máximos y mínimos esta situación en esta gráfica claramente no se observa. El hecho de almacenar poca energía hace que las temperaturas oscilen, generando picos durante el día. En este sentido, el sistema constructivo en madera presenta una menor capacidad para controlar los flujos de calor respecto al sistema tradicional, lo que da lugar a una mayor amplitud térmica de la temperatura interior (figura 14). Las temperaturas interiores

---

<sup>3</sup> Ver gráfico completo en documento adjunto.

oscilaron entre 21 y 35°C, con una amplitud diaria promedio de aproximadamente 6°C en la mayoría de los ambientes (ver tabla 4).

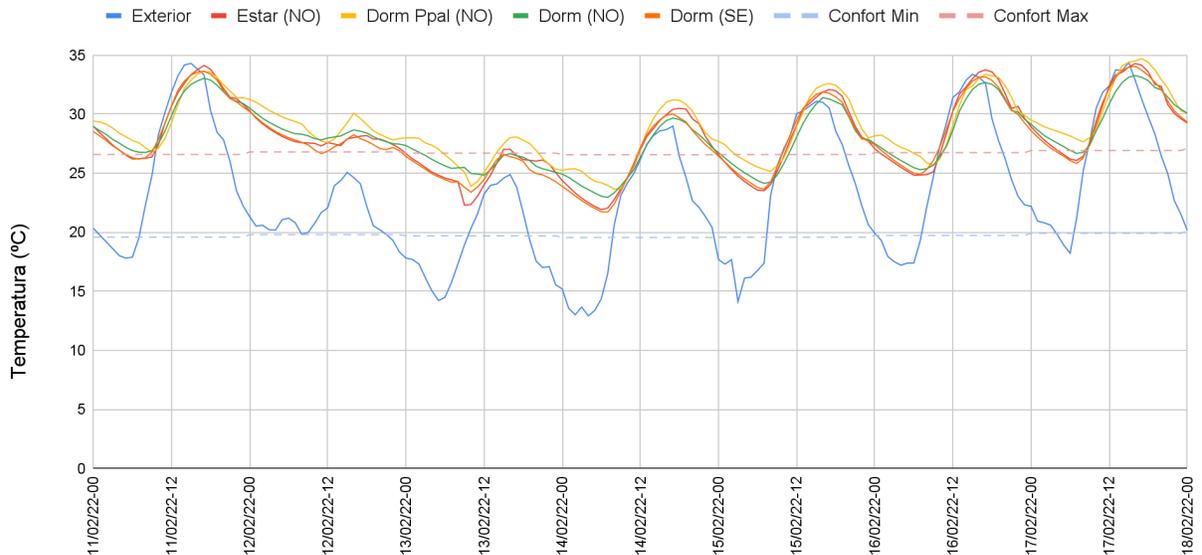


Figura 14: Vivienda de tres dormitorios en construcción en madera. Período caluroso

Por lo tanto, el comportamiento de la temperatura de bulbo seco interior del sistema constructivo liviano muestra que las mismas se encontraron por sobre las temperaturas de confort térmico entre 60 y 78% del tiempo (ver tabla 3).

#### 2.2.2.4. Desempeños del sistema liviano en el período frío

Según los registros de temperatura, figura 15 (y documento adjunto), la vivienda de sistema liviano tuvo un desempeño aceptable durante el período frío, observándose que la temperatura de todas las habitaciones se encontró dentro del rango de confort la mayor parte del tiempo. Las desviaciones que se constataron fueron durante las noches más frías, en las cuales se registraron temperaturas menores a 7°C (alcanzando 1°C en algunos casos).

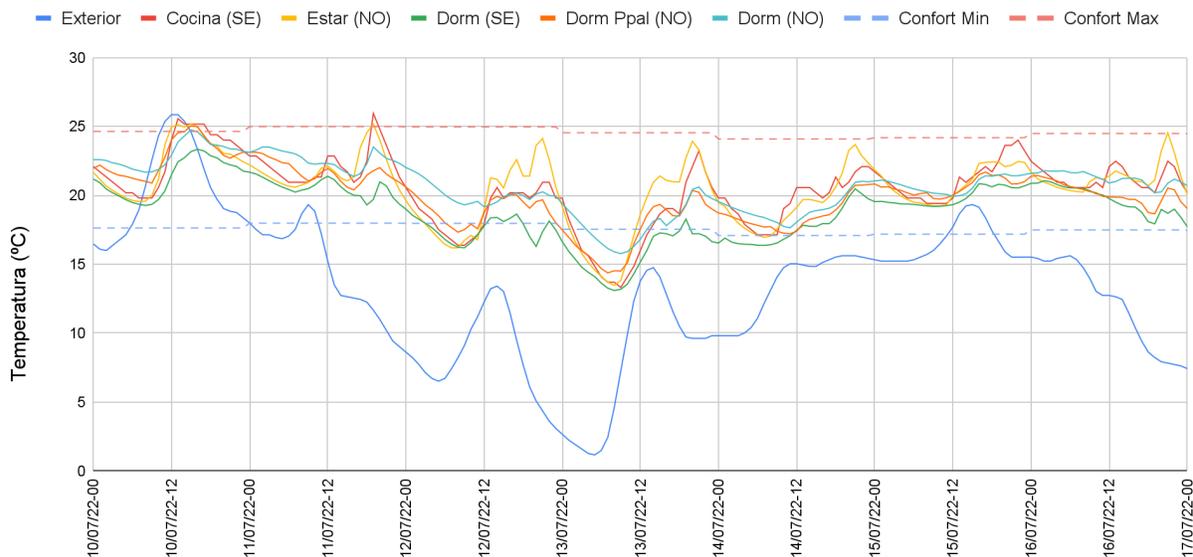


Figura 15: Vivienda de tres dormitorios en construcción en madera. Período frío.

En esta vivienda también se aprecia claramente cuando fue utilizado el calefactor a leña, observándose picos en la temperatura del estar (curva amarilla). Según lo informado por los residentes, el calefactor fue utilizado generalmente entre las 18 y 22. También es claro como la temperatura del dormitorio con ventana orientada al Sureste es menor que los dormitorios con ventanas al Noroeste. Análogamente a lo mencionado para la vivienda tradicional, en esta vivienda también es necesario complementar con energía externa los dormitorios durante las noches más frías para permanecer dentro del rango de confort.

Las temperaturas interiores fluctuaron en cada ambiente, por ejemplo el estar, registró temperaturas entre 13°C y 28°C con un  $\Delta T$  diario promedio de 6°C, mientras que el dormitorio (SE) varió de 13°C a 26°C con una amplitud diaria de casi 3,5°C ver tabla 4.

En lo que respecta al retardo térmico, el sistema tiene solo una hora de retardo, es decir cuando las temperaturas máximas o mínimas exteriores luego de una hora sucede esta mínima o máxima al interior.

#### 2.2.2.5. Comparación entre ambos sistemas constructivos

En la figura 16 se presenta la evolución de la temperatura del dormitorio con orientación sureste (con la finalidad de minimizar el impacto de la radiación directa) de ambas soluciones constructivas para el período caluroso. Si bien la temperatura exterior de ambas localidades es diferente, y el comportamiento de las personas también (referido al uso de ventilación y protecciones solares) se observa claramente que la vivienda con construcción tradicional presenta menor amplitud térmica, notándose que para la vivienda tradicional las temperaturas máximas diarias son menores y son inferiores a las temperaturas

---

exteriores, mientras que en la vivienda en madera, las máximas interiores son mayores y se encuentran por sobre las temperaturas exteriores registradas en dicha localidad. En lo que refiere a las temperaturas mínimas, el sistema tradicional tiene temperaturas mayores con respecto a las del sistema liviano. A su vez, en la gráfica se puede observar el aporte de la inercia del sistema tradicional generando un mayor retraso de los picos de temperatura interior respecto a los que se producen en el exterior.

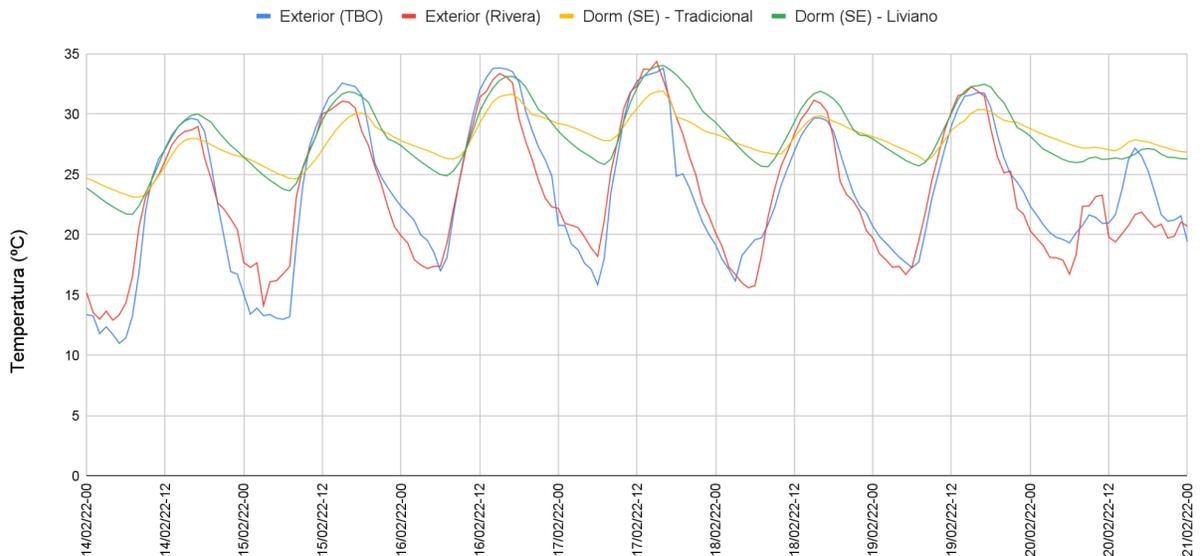


Figura 16: Dormitorio con orientación SE en ambas soluciones constructivas. Período caluroso.

De forma similar, comparando la evolución de ambos dormitorios en el período de invierno (figura 17), se observa que la vivienda de madera pierde calor con mayor velocidad durante las noches (notoriamente en las madrugadas del 14, 17 y 18/07). No obstante, también se aprecia que en el sistema liviano la temperatura interior aumenta con mayor velocidad que en la tradicional.

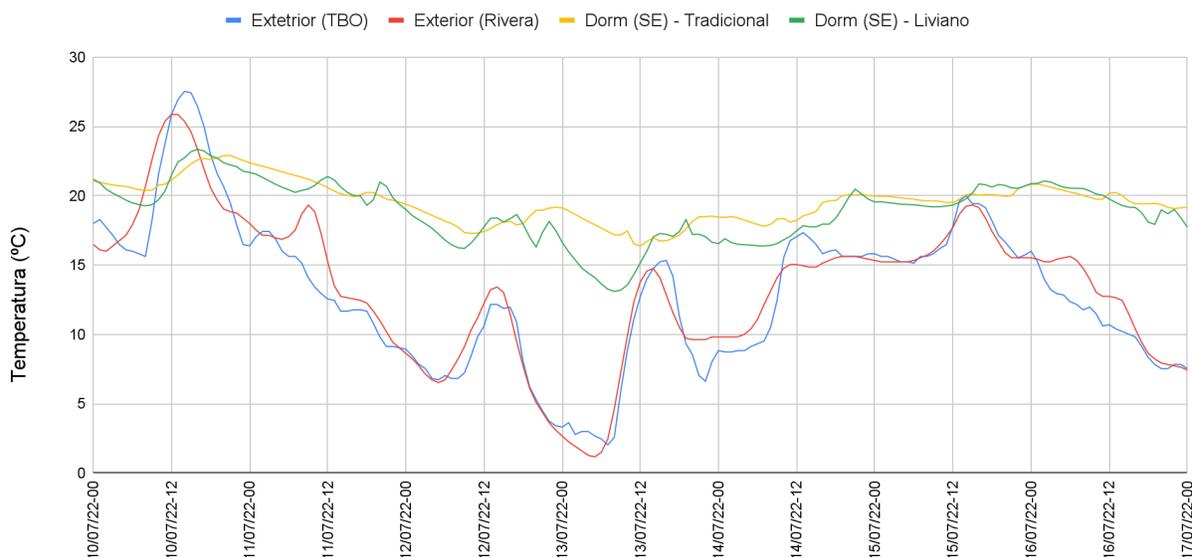


Figura 17: Dormitorio con orientación SE en ambas soluciones constructivas. Período invierno.

### 2.2.2.6. Grados hora de calefacción y refrigeración

En las tablas 1 y 2 se resumen los promedios diarios de grados hora de desconfort para las viviendas de tres dormitorios. Los niveles por debajo del mínimo de temperatura de confort térmico corresponden a los grados hora de calefacción, mientras que los que se encuentran por encima de los valores máximos de temperatura del rango corresponden a los grados hora de refrigeración.

Tabla 1: Promedio diario de grados hora de desconfort de las viviendas de tres dormitorios. Período invierno.

		Exterior	Cocina (SE)	Estar (NO)	Dorm (SE)	Dorm Ppal (NO)	Dorm (NO)
<b>Tradicional</b>	< Mínimo	99,21	1,88	0,32	2,84	1,30	1,09
	> Máximo	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Madera</b>	< Mínimo	87,51	3,21	3,18	6,49	2,51	0,61
	> Máximo	0,83	2,01	1,72	0,04	0,91	0,94

En primer lugar se observa que para el período de invierno estudiado, en la localidad de Cuchilla del Ombú (Tacuarembó) las condiciones de clima exterior presentaron mayor cantidad de grados hora de calefacción y mayor cantidad de grados horas de refrigeración que las condiciones que se dan en la localidad de La Canilla (Rivera).

La vivienda en madera presentó, en relación a la vivienda tradicional, mayor cantidad de grados hora de calefacción en todas las habitaciones con excepción del dormitorio con orientación NO. No obstante, haciendo uso del sistema de calefacción, las condiciones de temperatura dentro de ambas viviendas son notoriamente mejores que las condiciones ambientales exteriores.

En el período de verano estudiado, las condiciones de temperatura exterior presentan para la localidad de Cuchilla del Ombú mayor cantidad de grados horas de calefacción y menor cantidad de grados horas de refrigeración en relación a las condiciones exteriores de La Canilla. Es decir, durante este período las condiciones ambientales en Rivera fueron de temperaturas levemente mayores que en Tacuarembó.

*Tabla 2: Promedio diario de grados hora de desconfort de las viviendas de tres dormitorios. Período verano.*

		Exterior	Cocina (SE)	Estar (NO)	Dorm (SE)	Dorm Ppal (NO)	Dorm (NO)
<b>Tradicional</b>	< Mínimo	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> Máximo	15,9	16,5	27,3	21,7	32,9	26,9
<b>Madera</b>	< Mínimo	15,5	-	0,0	0,0	0,0	0,0
	> Máximo	17,7	-	44,5	37,8	52,2	39,8

En relación a las condiciones interiores, en ninguna de las dos viviendas se registraron condiciones de temperatura inferiores al límite mínimo de confort. En cambio los grados hora promedio de refrigeración fueron mayores para todos las habitaciones de la vivienda en sistema en madera. Es decir entonces que el sistema constructivo liviano presentó una mayor desviación respecto al límite máximo de confort. Esto se debe a las condiciones ambientales, comportamiento de los usuarios respecto al uso de ventilación y protecciones solares, así como a condiciones intrínsecas al diseño de la vivienda, como la aislación e inercia térmica de las mismas.

*Tabla 3: Porcentaje de horas de desconfort ( $T > \text{límite superior}$ ) por en el período caluroso de las viviendas de tres dormitorios.*

	Exterior	Cocina (SE)	Estar (NO)	Dorm (SE)	Dorm Ppal (NO)	Dorm (NO)
<b>Tradicional</b>	21%	51%	60%	62%	75%	66%
<b>Madera</b>	23%	-	67%	61%	78%	71%

Para este período del año también es relevante resaltar la cantidad de horas en las que las viviendas se encontraron en desconfort por estar sobre el límite superior de confort (tabla 3). En este sentido, se observa que las viviendas permanecieron más de la mitad de las horas del día en desconfort por temperaturas elevadas (entre 51 y 75% en la vivienda

tradicional y entre 61 y 78% en la vivienda de madera), mientras que las condiciones exteriores solamente entre un quinto y un cuarto de las horas del día la temperatura fue superior al límite de confort.

### 2.2.2.7. Coeficiente de amortiguación y retardo

La diferencia desde el punto de vista térmico de los dos sistemas constructivos es la inercia térmica. La inercia térmica de la envolvente de un edificio estabiliza la temperatura interior, reduciendo la variabilidad provocada por el clima exterior. En las tablas 4 y 5, se aprecia que la amplitud en todos los locales habitables en el sistema tradicional es menor que en el liviano, en todos los períodos, aunque se debe aclarar que la amplitud exterior es mayor en Rivera que en Tacuarembó.

Tabla T4: Promedio de amplitud térmica diaria en viviendas de tres dormitorios. Período verano.

		Exterior	Cocina (SE)	Estar (NO)	Dorm (SE)	Dorm Ppal (NO)	Dorm (NO)
Tradicional	Amplitud (°C)	11,9	3,7	4,4	3,0	3,6	3,6
	FA		0,31	0,37	0,25	0,30	0,30
Madera	Amplitud (°C)	12,4	-	6,3	5,7	5,7	4,8
	FA		-	0,51	0,46	0,46	0,39

Tabla T5: Promedio de amplitud térmica diaria en viviendas de tres dormitorios. Período invierno.

		Exterior	Cocina (SE)	Estar (NO)	Dorm (SE)	Dorm Ppal (NO)	Dorm (NO)
Tradicional	Amplitud (°C)	10,3	3,4	5,9	2,4	3,2	3,3
	FA		0,33	0,57	0,23	0,31	0,32
Madera	Amplitud (°C)	9,7	5,1	5,8	3,5	3,9	3,3
	FA		0,52	0,60	0,36	0,40	0,34

En relación a la amortiguación, se observa que mientras la vivienda en sistema tradicional presenta una disminución de la amplitud térmica interior en relación a la temperatura exterior media, cercana al 70%, la relación entre ambas amplitudes temperaturas para la vivienda en madera es del 50%.

### 2.2.2.8. Humedad relativa

El confort térmico de los ocupantes depende de la relación entre la temperatura del aire y la humedad relativa. El incrementar la humedad relativa, ya sea en verano y en invierno, tiene un efecto directo sobre los ocupantes. El valor recomendable de humedad relativa es

que esta se encuentre entre los 40 y 70%. Cuando nos exponemos a bajos niveles de humedad se provocan síntomas de irritación en los ojos y vías respiratorias. Además, el aire seco provocaría descargas electrostáticas, piel seca y enfermedades inflamatorias crónicas de la piel de origen autoinmunitario. Los niveles de HR altos reducen la capacidad del aire a evaporar agua de la piel de las personas y aumentan la reproducción de bacterias y mohos pudiendo provocar alergias en los usuarios.

Se midió esta variable tanto en el período caluroso como en el frío en las cuatro viviendas. Los resultados para las viviendas de tres dormitorios en ambos sistemas constructivos se presentan en las figuras 18 a 21. Como se puede ver en los gráficos, los problemas están en el período frío y dentro de este el que tiene los mayores datos fuera de los 70% de HR es el sistema liviano (figura 19). La mayoría de los registros de esta semana indicada como la de mayor estabilidad de los datos, tiene una humedad por encima de los recomendable lo que puede determinar la proliferación de hongos, mohos y esporas situación que se observó en la visita in situ de las viviendas de madera.

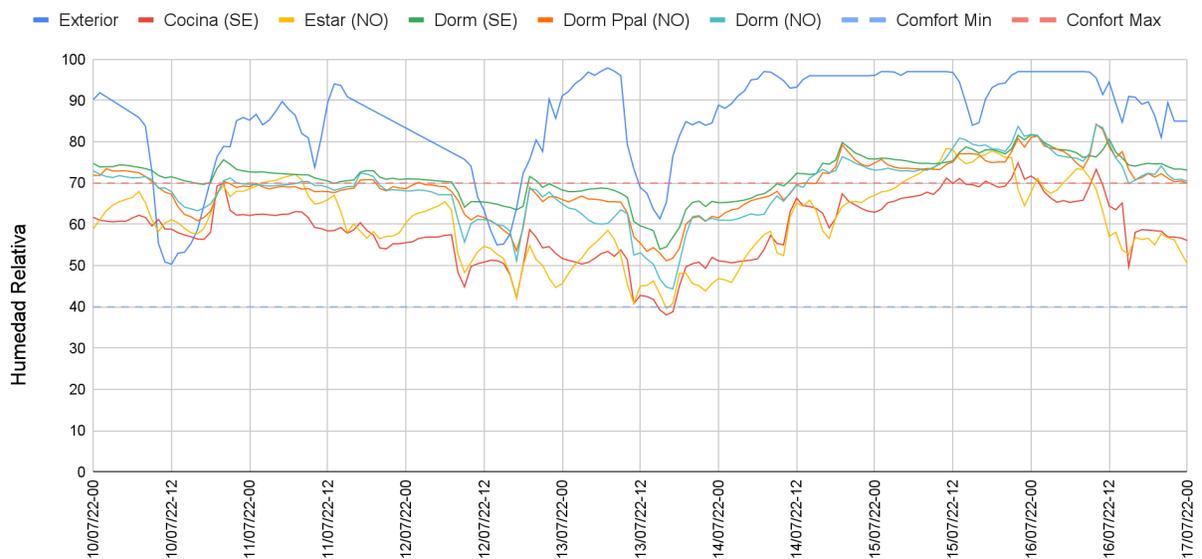


Figura 18: Vivienda de tres dormitorios en construcción tradicional. Período invierno.

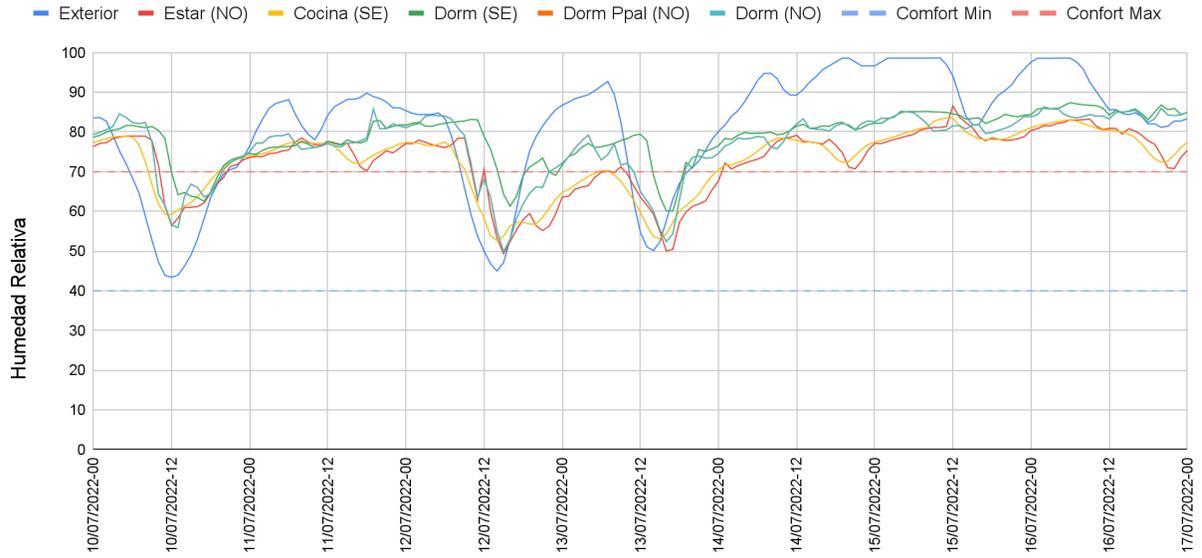


Figura 19: Vivienda de tres dormitorios en construcción liviana. Período invierno.

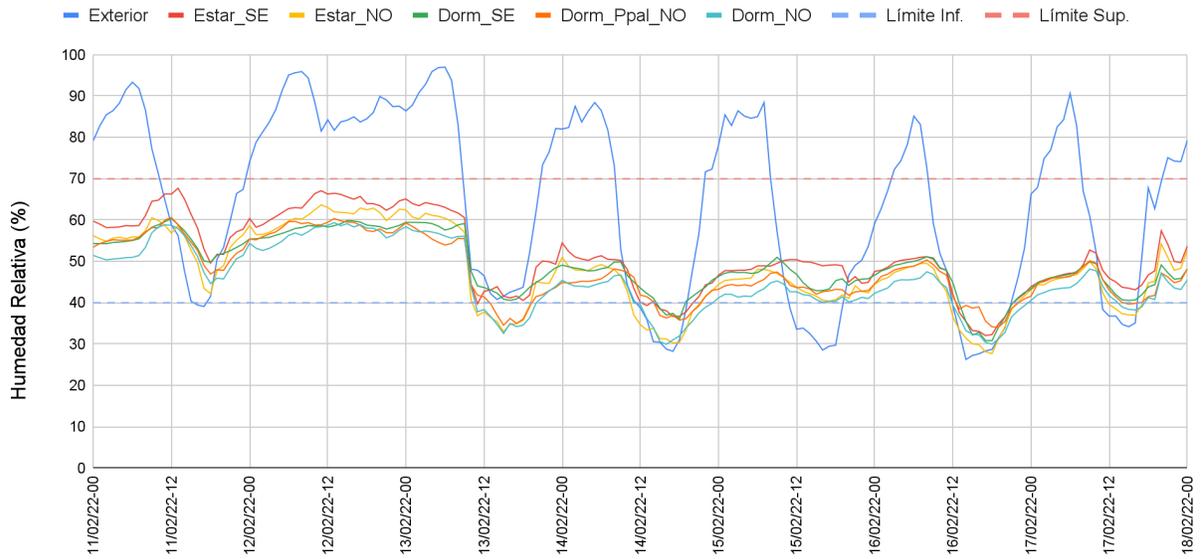


Figura 20: Vivienda de tres dormitorios en construcción tradicional. Período verano

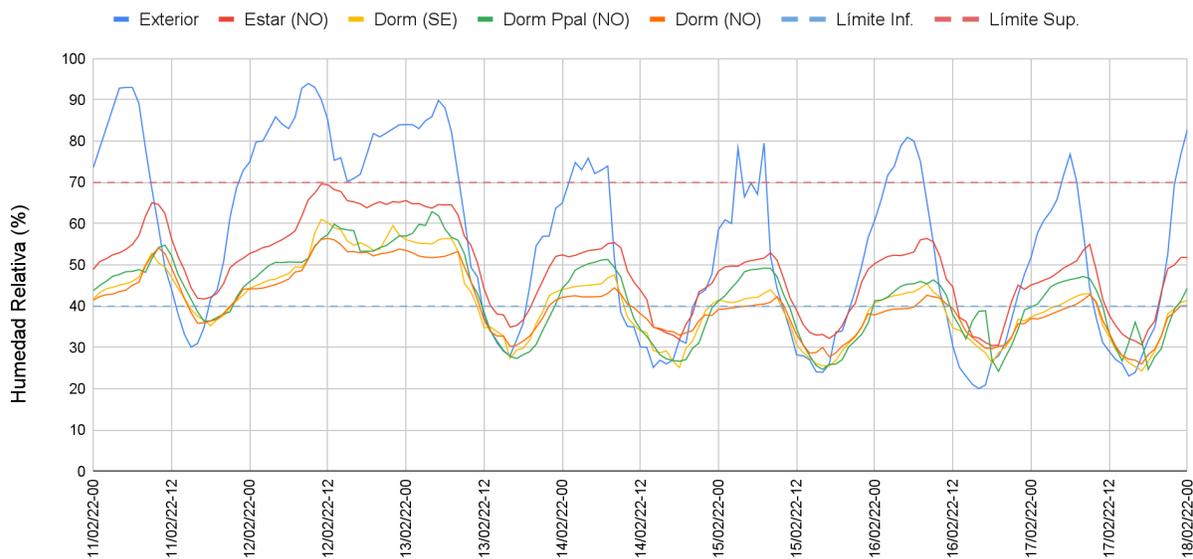


Figura 21: Vivienda de tres dormitorios en construcción liviana. Período verano

### 2.2.3. Permeabilidad

En la Tabla 6 se presentan un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad: volumen interior, coeficientes de caudal (CL) y presión (n), caudal y renovaciones de aire por hora a una diferencia de 50 Pa (q50 y n50, respectivamente). Este último parámetro posee una incertidumbre de aproximadamente 10 %.

Tabla 6: Aspectos relevantes respecto a la permeabilidad de las viviendas.

	Unidad	3D - Tradicional	3D - Madera	2D - Tradicional	2D - Tradicional (estufa sellada)	2D - Madera
<b>Vivienda</b>	<b>adim.</b>	31728	31997	31730	31730	31998
<b>Volumen</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	159,8	150,0	131,8	131,8	121,6
<b>C<sub>L</sub></b>	<b>m<sup>3</sup>/h.Pa<sup>n</sup></b>	187	140	170	156	138
<b>n</b>	<b>adim.</b>	0,557	0.616	0.568	0,572	0,544
<b>q50</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	1652	1558	1565	1559	1160
<b>n50</b>	<b>RPH</b>	10,34	10,39	11,88	11,83	9,54

---

Las renovaciones por hora a 50 Pa de las cuatro viviendas relevadas osciló entre 9,54 y 11,88, lo que representa una variabilidad del 20 % respecto al valor medio. Se hace notar que las diferencia entre las viviendas de 3 dormitorios es menor al 1%

Los principales puntos de permeabilidad identificados fueron:

- Umbral de puerta de la cocina
- Cajones de persianas de enrollar
- Ventana del baño
- Toma de aire del calefactor a leña
- Escotilla del cielorraso (vivienda en madera)

Por la perfilera de las aberturas, si bien se constató ingreso de aire, se considera el usual para la calidad de los perfiles.

Dada la incertidumbre del propio método de ensayo y al hecho de que las principales fuentes de ingreso de aire no dependen directamente del sistema constructivo, se concluye que no existen grandes diferencias entre ambas soluciones (tradicional y madera).

Se hizo un ensayo parcial con el calefactor a leña cubierto y sellado con una película plástica, a fin de determinar la permeabilidad por la toma de aire del mismo. La diferencia fue mínima, arrojando un valor para n50 de 11,83 rph. La resolución del umbral de la puerta de cocina para viviendas en Cuchilla del Ombú, permite el ingreso de gran cantidad de aire pues la puerta se recuesta sobre la contrahuella del pequeño escalón de acceso, siendo el ajuste inadecuado.

#### **2.2.4. Imágenes termográficas**

En este inciso se presentan algunas imágenes con trazas que indican valores de temperatura, mediante transformación por software de la radiación recibida por la cámara. No deben interpretarse como valores exactos ya que las tomas fueron de tipo exploratorio y realizadas con un ajuste de emisividad genérico. Para el análisis debe tenerse en cuenta que el relevamiento se realizó durante los días 29 y 30 de julio (período frío).

En la figura 21, correspondiente a una imagen del cielorraso sobre el pasillo de la vivienda tradicional de tres dormitorios, se aprecian diferencias radiativas superficiales, las cuales podrían indicar ausencia de aislación térmica en las áreas de color rojo, siendo esta zona próxima a la cumbrera de la cubierta. Esto no fue posible contrastarlo con observación directa, dada la conformación de la cubierta. La temperatura del aire exterior indicada por el registrador para ese momento, era de 15,6 °C, siendo un día con cielo despejado.

En la misma vivienda, sobre la parte superior de los muros de la envolvente, se aprecia el comportamiento diferencial de los materiales que los componen, (figura 22). Se observa que la viga de carrera genera un puente térmico en los muros, a pesar de contar con aislación térmica entre las dos hojas del cerramiento (según información suministrada).

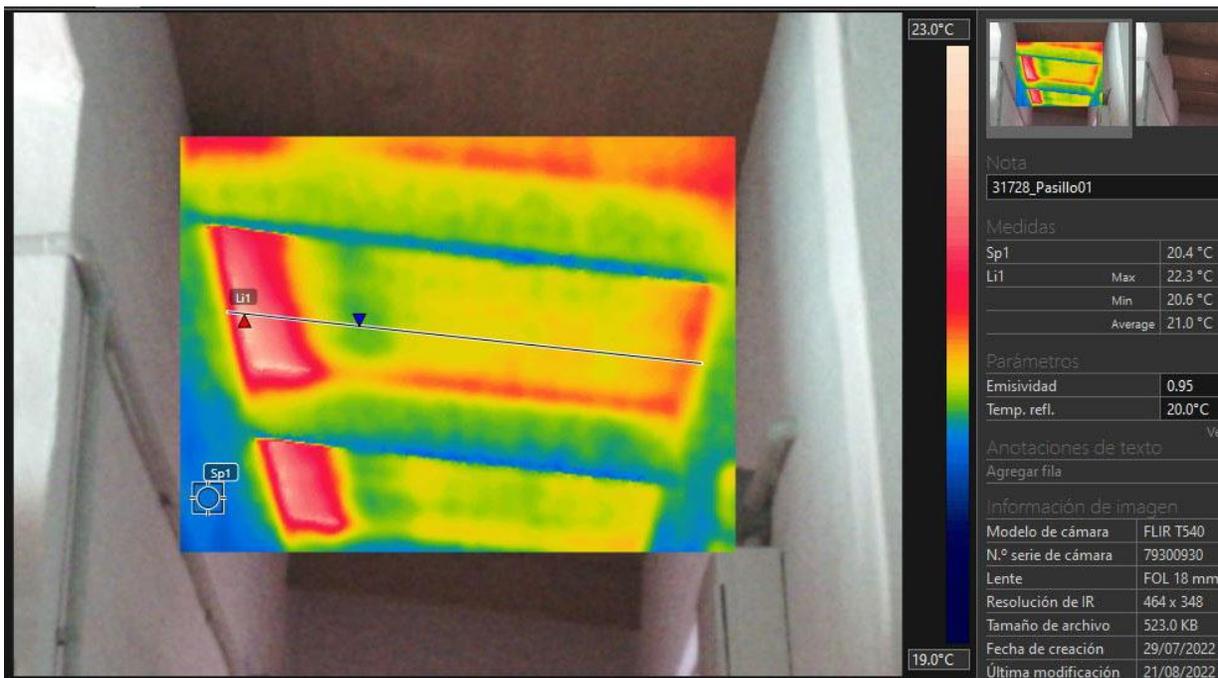


Figura 21. Vivienda 31728 - Cuchilla del Ombú. Cielorraso sobre pasillo.

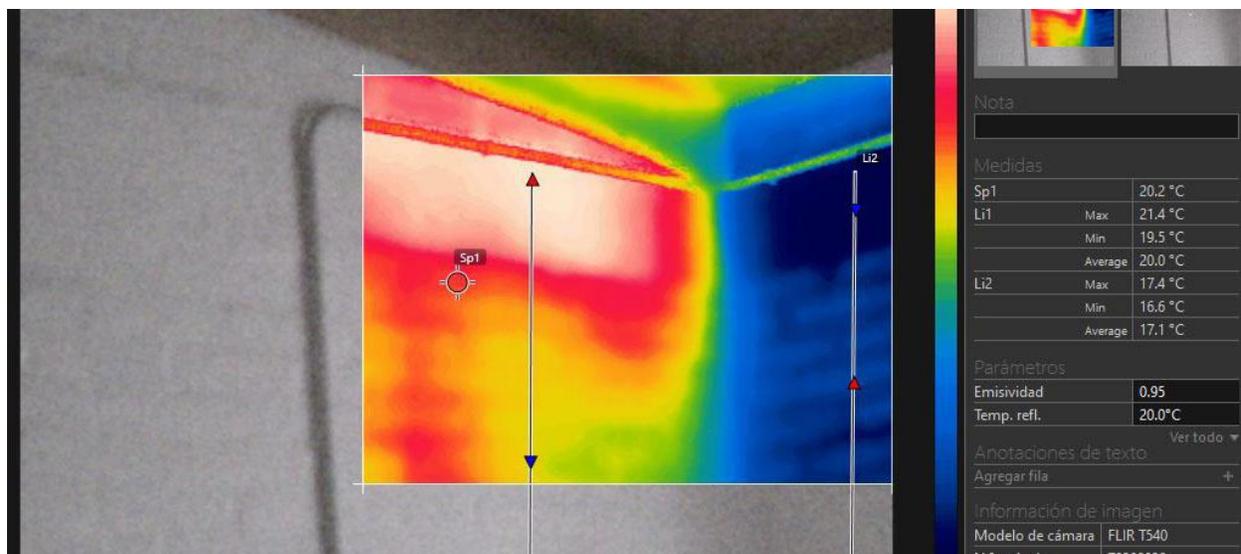


Figura 22. Vivienda 31728 - Cuchilla del Ombú. Muros exteriores en dormitorio Este.

---

En la vivienda de madera de tres dormitorios, sobre un muro donde se apreciaba la presencia de hongos superficiales, se observa en la imagen termográfica (figura 23) un gradiente de temperaturas importante, con temperaturas bajas próximas al piso. Se aprecia que el montante interior intensifica este fenómeno.

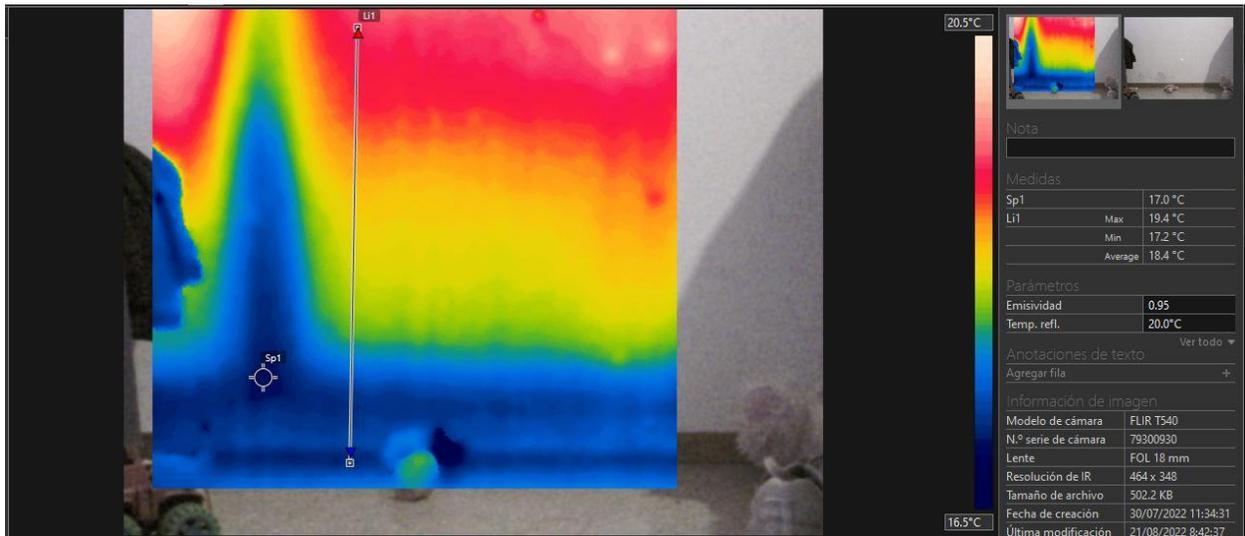


Figura 23. Vivienda 31997 - La Canilla. Muro exterior Este con hongos en dormitorio SE.

En la misma vivienda, la imagen de la figura 24 corresponde a una parte del cielorraso de un dormitorio, donde los ocupantes informaron sobre goteo de agua en días húmedos. Se trata del área en rojo de la termografía. Dada la irregular colocación de las capas superiores del cielorraso, podría deberse a acumulación de agua de condensación en las zonas bajas de la aislación y que drena por juntas discontinuas. Otra posibilidad de entrada de agua al cielorraso es, en caso de lluvia con viento, por las rendijas entre las chapas de la cubierta y la pieza cumbre, dada la poca pendiente de las primeras y los desajustes con la segunda, a pesar de contar con "pestañado" de las chapas. También las rejillas simples de ventilación ubicadas en los tímpanos laterales, pueden servir de ingreso de agua en dichas condiciones climáticas.

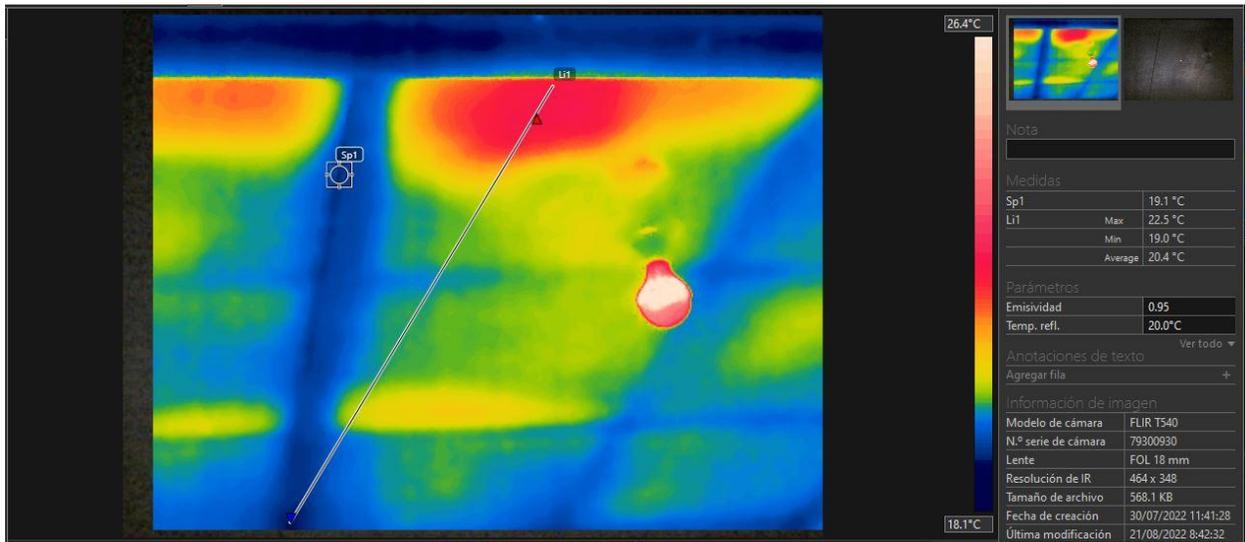


Figura 24. Vivienda 31997 - La Canilla. Cielorraso sobre dormitorio NE.

En el cielorraso del pasillo de esta misma vivienda se observan áreas con diferencias radiativas importantes (figura 25), en el sitio donde se detectó, mediante observación directa en abril, ausencia de aislación térmica. Indicaría que los problemas no fueron resueltos totalmente.

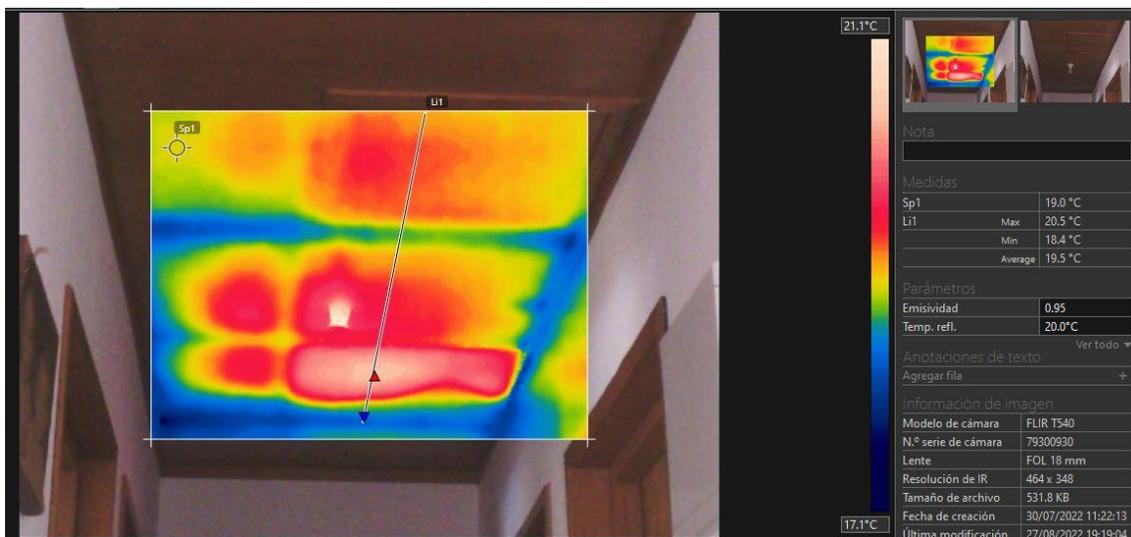


Figura 25. Vivienda 31997 - La Canilla. Cielorraso sobre pasillo.

---

### 2.2.5. Equipos internos

Las viviendas de tres dormitorios (de ambas localidades) relevadas en abril contaban con termotanque (1500 W) -en una de ellas con timer-, heladera (aprox 100 W), lavarropas, entre uno y tres televisores (entre 70 y 150 W cada uno), calefactor a leña de alto rendimiento, anafe (de 4 hornallas) y horno a GLP, extractor de aire, luminarias de bajo consumo, ventiladores de pie y otros equipos de uso esporádico como procesadora, batidora, licuadora, freidora. Una de las viviendas contaba con un freezer adicional.

En las figuras 26 y 27 se muestra la evolución del consumo eléctrico de la vivienda tradicional de tres dormitorios durante una semana en los períodos de verano e invierno. A grandes rasgos el consumo tiene una línea base correspondiente a equipos que están encendidos de forma continua, como la heladera, acompañado de picos diarios los cuales corresponden a calentamiento de agua. El consumo energético en Rivera sería mayor al de la vivienda en Tacuarembó.

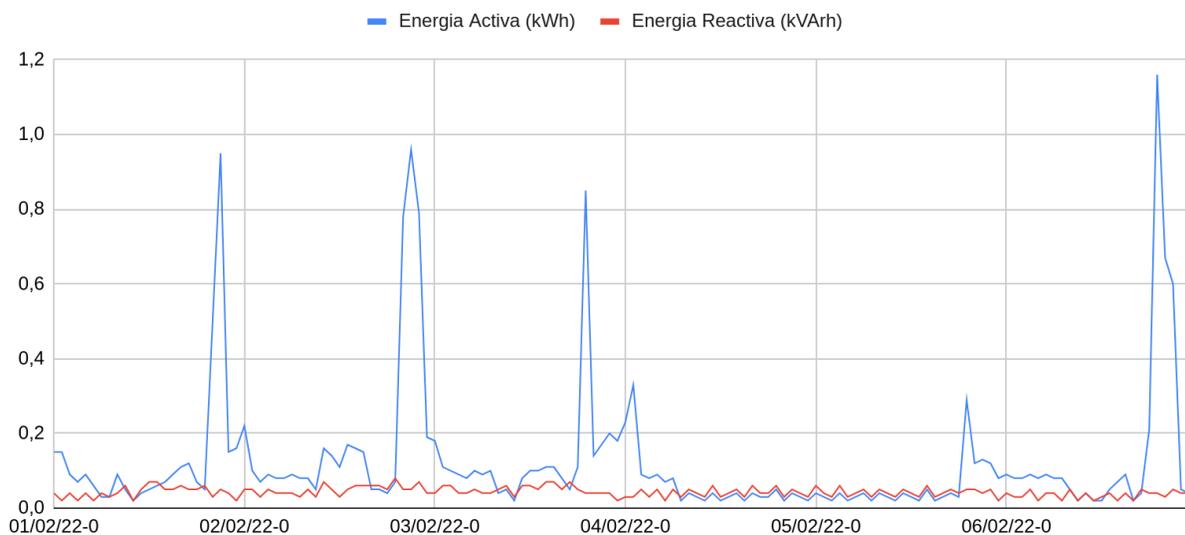


Figura 26: Consumo eléctrico de una semana de la vivienda tradicional de tres dormitorios en el período caluroso.

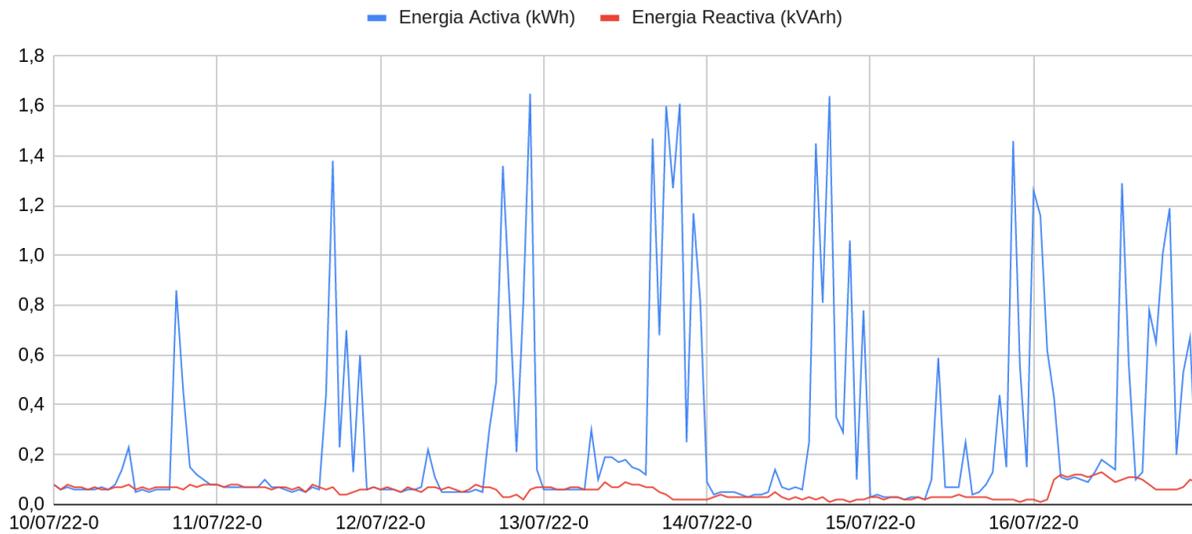


Figura 27: Consumo eléctrico de una semana de la vivienda tradicional de tres dormitorios en el período frío.

Nótese que los picos diarios corresponden a los períodos donde estuvo encendido el termotanque. Por lo tanto, asumiendo que si el consumo supera los 100Wh, el complemento desde 100Wh hasta el consumo correspondiente se debe al ACS, se estima que el peso ponderado de ACS sobre el consumo total mensual es de 60% aproximadamente. De forma análoga, observando la línea base de consumo de las otras viviendas y realizando cálculos similares, se puede estimar que el consumo de energía eléctrica para agua caliente de estas cuatro familias representó entre el 40 y 60% del consumo entre el 01/01 y el 31/08 del 2022.

La heladera suele ser también otro electrodoméstico de gran consumo, más aún si la misma es de tecnología antigua. Habiendo relevado los equipos y observando los consumos, se observa que para la vivienda 31997 el consumo de la heladera es muy significativo (figuras 28 y 29), superior a 200W ininterrumpido durante el día y presenta un gran consumo de energía reactiva. Este consumo se reduce en el período frío respecto al caluroso.

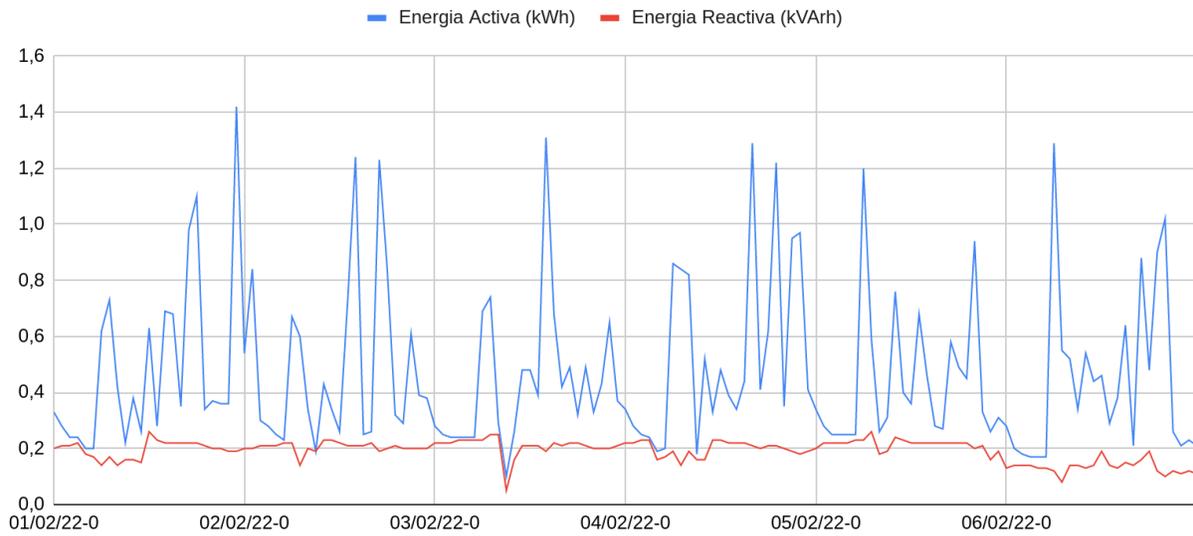


Figura 28: Consumo eléctrico de una semana de la vivienda de madera de tres dormitorios en el período caluroso.

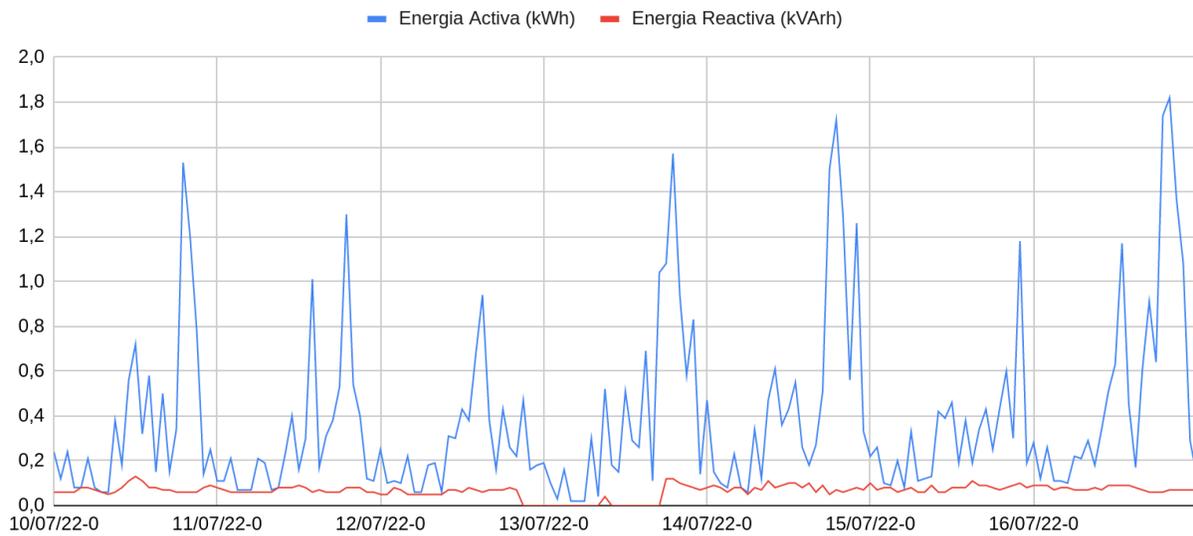


Figura 29: Consumo eléctrico de una semana de la vivienda de madera de tres dormitorios en el período frío.

---

## 2.2.5 Evaluación cualitativa de las condiciones de los usuarios y las viviendas

Para abordar un estudio de confort con enfoque adaptativo (que se entiende es el adecuado para usuarios no acostumbrados históricamente a disponer de medios de calefacción o refrigeración artificial permanentes) es necesario recabar, mediante una encuesta de campo, información sobre la sensación y preferencia térmica de las personas en diferentes ambientes y relacionarlas con las variables térmicas en esos espacios, particularmente la temperatura de bulbo seco.

En todas las veces que se concurrió, en los espacios de estar los usuarios indicaron que sensación térmica de los usuarios era de confort térmico y le gustaría permanecer en estas condiciones de temperatura de bulbo seco, tanto para el sistema constructivo liviano como para el pesado.

Pero por otro lado en lo que refiere a los dormitorios, esta sensación de confort térmica cambia. En la visita de campo de julio los dormitorios con orientación SE se perciben como fríos por parte de los usuarios de los sistemas constructivos pesado y liviano.

En lo que refiere al uso de las viviendas, todos indicaron que ventilan los espacios habitables todos los días y que colocan protecciones solares por lo menos cuatro horas todos los días. Un punto importante a destacar sobre las visitas de julio es que en la vivienda de tres dormitorios construida en madera vivían siete personas, mientras que en la vivienda tradicional, también de tres dormitorios, vivían cinco personas.

Se efectuó además el relevamiento ocular del estado de conservación de todas las viviendas. En general las mismas se encontraban en buenas condiciones de conservación, situación que es altamente esperable para viviendas recientemente habitadas. A pesar de esto, en la vivienda de madera de tres dormitorios se observó en los dormitorios presencia de hongos en las paredes y cielorraso. Siendo este el primer invierno habitado, llama la atención encontrar esta situación. La presencia de hongos por condensaciones se debe a que la humedad relativa está por encima de los 70% en combinación con temperaturas superficiales bajas, situación que se corroboró en las mediciones (figura 19) e imágenes termográficas (figura 23). Si bien las humedades medias de entre 40 a 60% son imprescindibles para mantener adecuado funcionamiento del sistema respiratorio, las humedades superiores afectan la calidad del aire interior y deterioran los materiales de construcción. El origen de las condensaciones es multicausal y se debe a una o más de una de estas causas: baja temperatura interior, alta producción de vapor, insuficiente ventilación o cerramientos exteriores con altas transmitancia térmica.

Los habitantes entregan al ambiente a través de la piel y a través de la respiración, vapor de agua que puede estimarse en alrededor de 4 litros/día para una familia tipo. Este valor se puede incrementar si en la vivienda hay hacinamiento como es la situación de la

---

vivienda monitoreada. La producción de vapor también varía con la actividad y la edad de las personas.

### 3. Calibración de modelos

#### 3.1. Metodología

Para elaborar los modelos computacionales, se eligieron las tipologías de tres dormitorios ya que son las que tienen la mayor representatividad dentro de MEVIR.

Para la calibración se realizaron modelos “ajustados” atendiendo a las características particulares de las viviendas relevadas, por ejemplo si se agregan espacios o si las medidas reales difieren de las que estaban en planos. Los datos del monitoreo horario de temperatura de bulbo seco y humedad relativa interiores y las infiltraciones medidas de las viviendas por un período de al menos dos semanas, se usaron para el calibrado como los datos a comparar, así como el comportamiento de los usuarios relevados.

Según JudKoff et Al, 2008 [3] existen dos fuentes principales de errores en los modelos que determinan la exactitud de la predicción del comportamiento del edificio: Las fuentes externas (independientes del modelo de cálculo) que depende de la exactitud de los datos introducidos. y las fuentes internas (dependientes del modelo de cálculo), las cuales se basan en los modelos físicos matemáticos empleados en la simulación. Estos dos aspectos se trataron de minimizar realizando un relevamiento preciso de las viviendas monitoreadas. Dentro de las fuentes externas, son determinantes los archivos de clima utilizados, el comportamiento de los usuarios y las características físicas y materiales introducidas en el modelo. Con el objetivo de reducir los errores de las fuentes externas, se profundizó en el análisis del archivo climático introducido.

La temperatura de bulbo seco dentro de la vivienda se tomó como variable de salida de las simulaciones para efectuar la calibración. El criterio para evaluar la conformidad entre los resultados de las simulaciones y las mediciones se basó en lo propuesto por K. Sun, et al 2014 [1], adoptando índices estadísticos estandarizados que representarán mejor la fiabilidad de un modelo. Al tratarse de mediciones de temperatura y no de consumo energético, aquí se utilizó el RMSE como indicador principal:

RootMean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{sim} - X_{real})^2}{n}},$$

Ecuación 1

---

donde  $X_{sim}$  representa el valor simulado de la variable a comparar y  $X_{real}$  el valor real registrado de dicha variable. En este caso se trata de las temperaturas en cada habitación.

Los modelos de simulación energética de edificios se consideran "calibrados" para este proyecto si cumplen con los criterios establecidos por ASHRAE Guideline 14 [2]. Esto significa que una vez que existe una concordancia razonable entre los datos medidos experimentalmente y los simulados, el modelo puede ser considerado "calibrado".

Adicionalmente, se analizó que la temperatura tuviera el mismo andamio (oscilación y retardo diario similar entre mediciones y simulación). Esto se fue ajustando con la ocupación de las personas y otras cargas térmicas como por ejemplo uso del calefactor.

### **3.1.1. Archivo climático**

El archivo climático utilizado para la calibración de cada solución constructiva se construyó de forma específica para cada localidad, tal como se comentó en la sección 2.2.1, contemplando datos correspondientes a los mismos días en los cuales se monitorea el interior de la vivienda. En las simulaciones además se incluyeron los datos climáticos de las dos semanas previas a los días monitoreados, a fin de que el modelo integre las condiciones previas al período de calibración. Se utiliza entonces un único archivo climático para cada una de las viviendas contemplando ambos periodos monitoreados.

Si bien se conformaron dos sets de datos climáticos para cada localidad, únicamente diferenciando los datos de velocidad y dirección de viento (ver), se observó que los resultados de las simulaciones se acercaban significativamente más a las mediciones al usar los sets cuyas variables de viento habían sido estimadas a partir de las mediciones de UTE. Se recuerda que estos valores de velocidad de viento son en promedio bastante más altos que los correspondientes a las mediciones de Tacuarembó (INIA) y Santana do Livramento (Ogimet) (ver sección 2.2.1.2). Es por esto que los resultados aquí presentados surgen a partir del uso de las estimaciones a partir de las series de viento de UTE, únicamente.

### **3.1.2. Usuario "real"**

El comportamiento de los usuarios en el período de medición se definió a partir de los datos recabados durante las entrevistas realizadas en las tres visitas a las viviendas. A partir de esta se especificó la cantidad de ocupantes y uso de los espacios en la vivienda.

Asimismo, se consultó sobre el uso de protecciones solares, ventilación, iluminación y equipos de calefacción. Además de la información descrita por el propietario, el perfil de

---

uso de la vivienda se complementa con observaciones realizadas en las visitas, así como el registro fotográfico de las mismas.

A partir de esta información y la información resultante de las mediciones, se construyó la programación horaria por local de ocupación, ventilación, uso de protecciones solares y uso de iluminación interior.

En el período frío, a partir de las entrevistas de los usuarios, así como el propio análisis de temperaturas, se determinó también los momentos en los cuales los calefactores a leña estuvieron encendidos. Consecuentemente, se adicionó una fuente de calefacción en el estar/cocina durante esos períodos diarios.

En el proceso de calibración fue necesario ajustar la carga térmica provocada por los usuarios (pequeños cambios) así como la apertura de ventanas en momentos puntuales y el encendido de la calefacción, de forma de obtener mejor concordancia entre los resultados de las simulaciones y las mediciones.

### **3.1.3. Características físicas de las viviendas**

Respecto al modelo generado en el segundo capítulo la única modificación es que se debió simetrizar ambas geometrías para que quedaran acordes a las viviendas monitoreadas. Además se orientaron las viviendas siguiendo la orientación real de cada caso.

El resto de las características (materiales, espesores y propiedades térmicas de los mismos) se mantuvieron con sus valores originales.

## **3.2. Resultados**

### **3.2.1. Construcción tradicional**

En la tabla 7 se resumen los valores de RMSE correspondientes a todas las habitaciones de la vivienda 31728. Los periodos utilizados para los cálculos de error fueron una semana en verano comenzando a la 0:00 del 14/02 y otra semana en invierno comenzando a la 0 del 10/07.

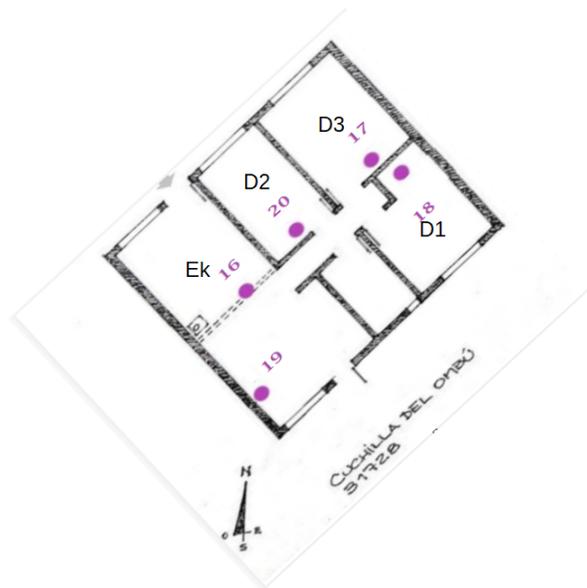


Figura 30. Esquema con nomenclatura de espacio para sistema tradicional (Cuchilla del Ombú).

En la figura 30, se muestra la nomenclatura utilizada para cada una de las zonas en este modelo. En tabla 7, se muestra los resultados de la aplicación de la ecuación 1.

Tabla 7: Resultados del error de las calibraciones para la vivienda tradicional en período caluroso y frío.

		Estar	D1	D2	D3
RMSE (°C)	Verano	1,94	1,79	1,89	1,32
RMSE (°C)	Invierno	1,37	0,77	1,10	1,16

Se observa que el error cuadrático medio es de entre 1 y 2 grados, siendo incluso menor a 1 en la habitación D1 del período frío.

A continuación, en la figura 31, se muestran las temperaturas simuladas y monitoreadas para cada una de las zonas del modelo para invierno y verano. Se observa que los resultados de simulación describen bien en general la evolución de las temperaturas en todas las habitaciones. En el período caluroso se observan diferencias algo mayores a las del período frío, tal como lo demuestran los valores de RMSE.

Se puede concluir entonces que el modelo simulado está calibrado respecto a la vivienda "real".

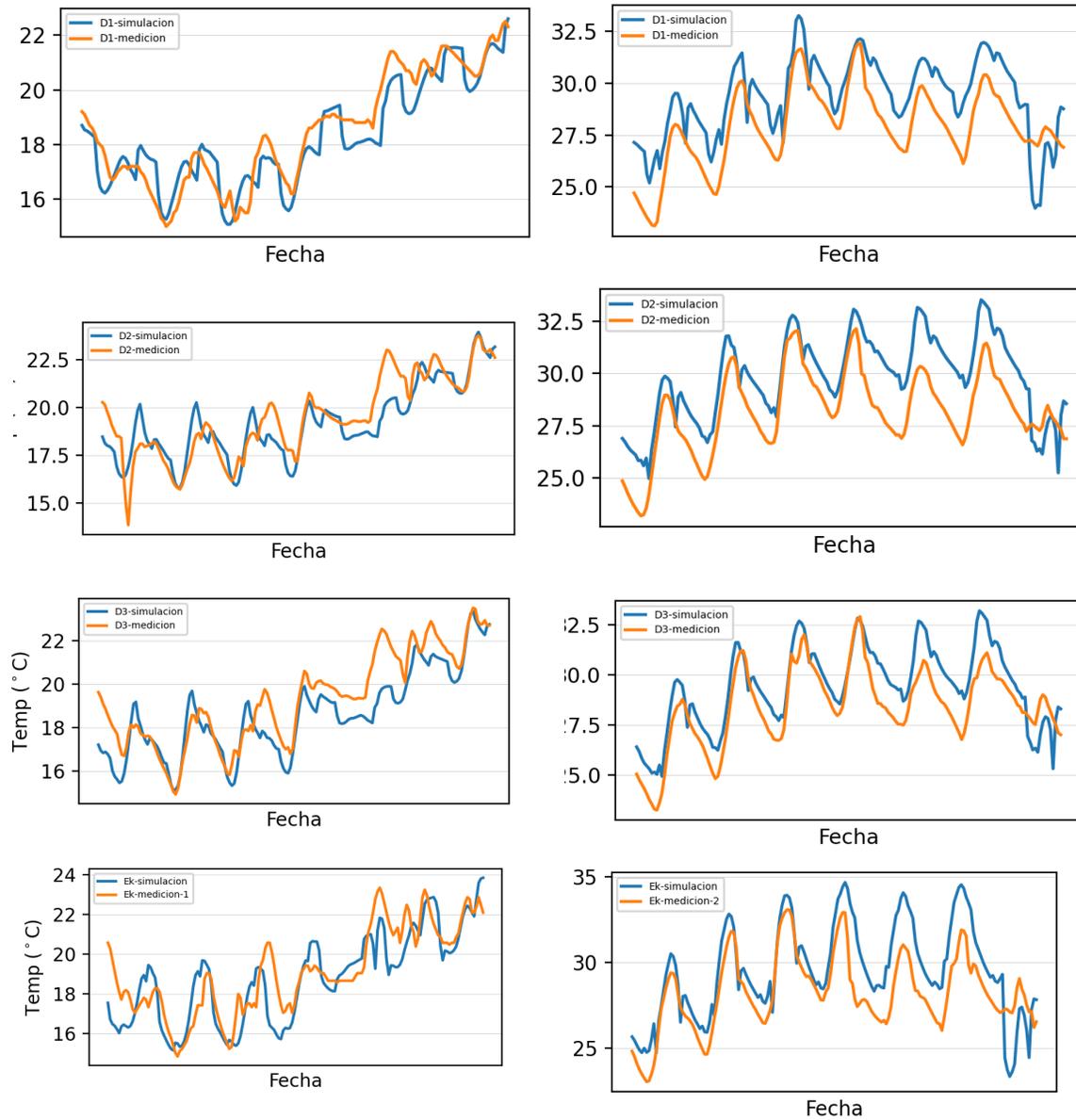


Figura 31. Temperaturas medidas y simuladas para las diferentes habitaciones de la vivienda tradicional. Izquierda: período frío; derecha: período caluroso.

### 3.2.2. Construcción madera

Para el sistema liviano se utilizó la misma metodología de verificación del calibrado. Los periodos utilizados para los cálculos de error fueron los mismos que para la otra vivienda, una semana en verano comenzando a la 0:00 del 14/02 y otra semana en invierno

comenzando a la 0 del 10/07. Los espacios tuvieron la nomenclatura que se detallan en la figura 32.

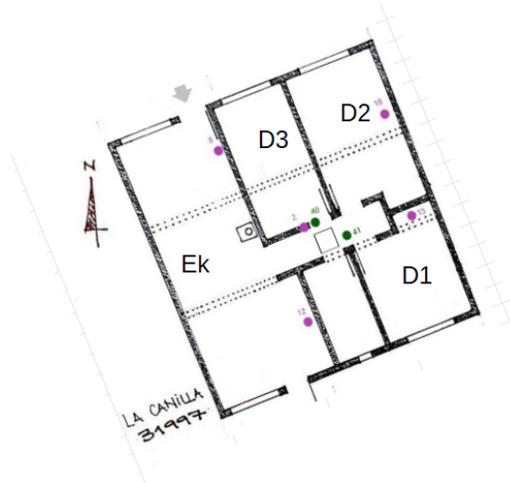


Figura 32. Esquema con nomenclatura de espacio para sistema liviano (La Canilla).

Tabla 8: Resultados del error de las calibraciones para la vivienda liviana en período caluroso y frío

		Estar	D1	D2	D3
RMSE	Verano	1,96	1,39	1,20	1,28
RMSE	Invierno	1,55	1,28	1,31	1,03

En todos los casos en tabla 8, se observa que el error cuadrático medio es de entre 1 y 2 °C.

En la figura 33 se muestran las temperaturas simuladas y monitoreadas para cada una de las zonas del modelo para invierno y verano. Al igual que en el caso de vivienda tradicional, se observa una buena concordancia entre resultados simulados y medidos. En este caso hay mayor paridad entre los períodos frío y caluroso.

Se puede concluir entonces que el modelo simulado está calibrado respecto a la vivienda "real".

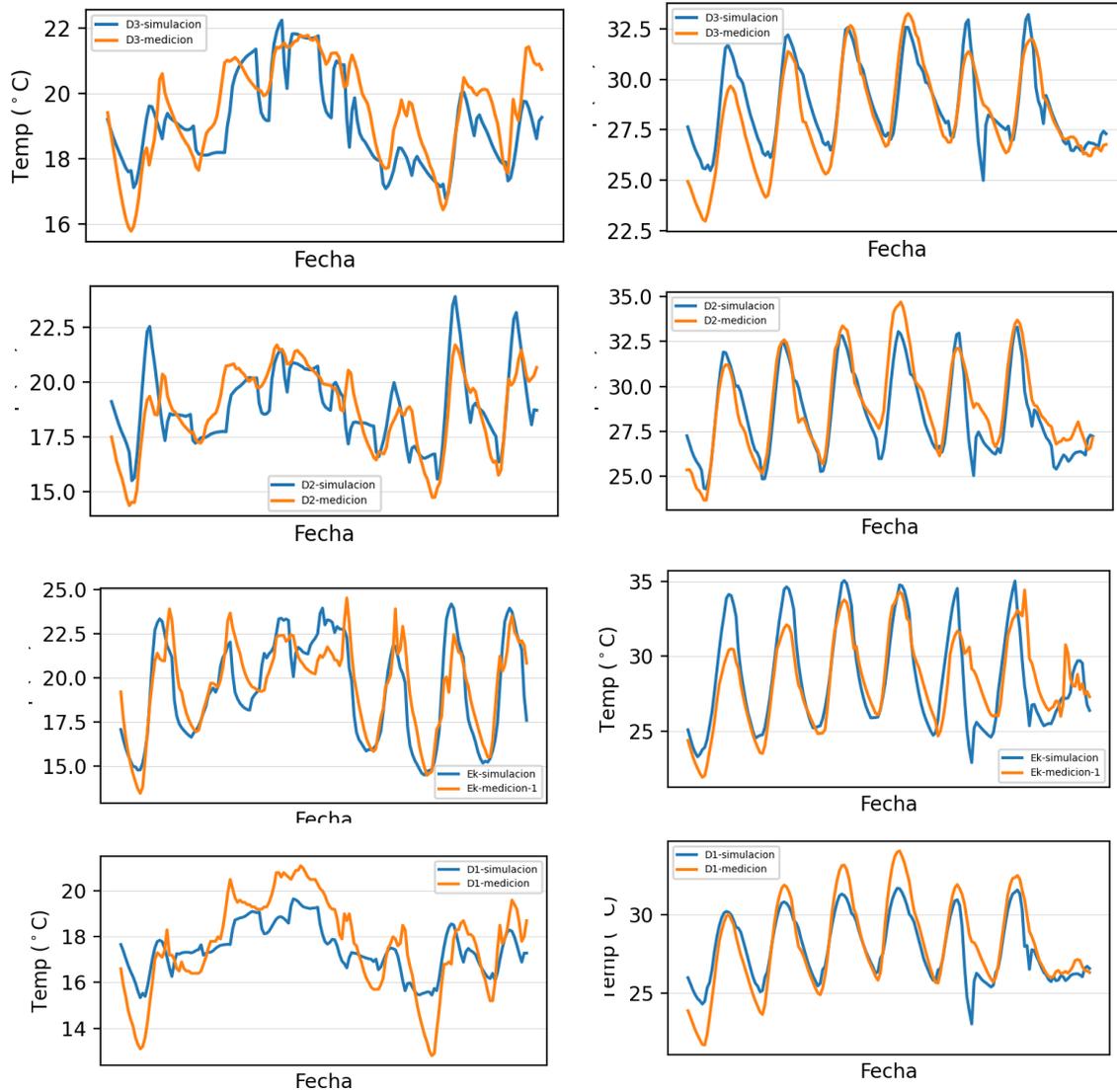


Figura 33. Temperaturas medidas y simuladas para las diferentes habitaciones de la vivienda en madera. Izquierda: período frío; derecha: período caluroso.

La metodología propuesta comprueba que fue exitosa, que los resultados de la simulación calibrada y las mediciones para ambos modelos ocasionaron un error reducido. Por este motivo se pueden usar estos modelos para hacer las futuras modificaciones de estrategias de diseño.

---

## 4. Conclusiones

Habiendo monitoreado cuatro viviendas de dos sistemas constructivos diferentes, durante el período caluroso y frío del año, a continuación se resaltan algunos resultados relevantes. Debe tenerse en cuenta que el desempeño térmico de las viviendas está muy vinculado al comportamiento del usuario, siendo diferente en cada vivienda, por lo tanto resultados más afinados comparando el desempeño de ambas soluciones constructivas se conseguirán a partir de las simulaciones (Capítulo 3), donde se evaluará las soluciones constructivas bajo las mismas condiciones ambientales y el mismo comportamiento de los usuarios.

- Las condiciones ambientales, temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento, de ambas localidades (Cuchilla del Ombú - Tacuarembó y La Canilla - Rivera) presentan diferencias pero las mismas son poco significativas, por lo que puede considerarse que las viviendas estuvieron expuestas a condiciones ambientales relativamente similares en los períodos de medición.
- Si bien ambas soluciones constructivas lograron un relativamente buen desempeño térmico en general, las cuales lograron mejorar las horas de confort térmico interior respecto a las condiciones exteriores, la solución tradicional alcanza un desempeño mejor que la de madera, presentando menor cantidad de grados hora de discomfort térmico.
- Las viviendas de construcción tradicional presentaron un mejor amortiguamiento y retardo de las condiciones exteriores, generando una amplitud térmica menor en todas las habitaciones, lo cual es razonable dada la mayor inercia térmica que presenta este sistema constructivo. Además en el período caluroso, este tipo de viviendas, logró que la temperatura interior permaneciera por debajo de la exterior en el pico máximo diario. Esta vivienda controla de mejor manera la variación de los flujos de energía en el tiempo.
- No obstante lo anterior, se hace notar que la temperatura en la localidad de Rivera fue levemente superior a la de Tacuarembó en el período caluroso. Además, la aislación del cielo raso de la vivienda en Rivera contaba con algunos desperfectos en su instalación y el consumo eléctrico de esta vivienda fue mayor en este periodo. Todo esto hace, naturalmente, que la temperatura interior de la vivienda en Rivera sea mayor que la de Tacuarembó, en particular en el mediodía, periodo en el cual la irradiancia solar es mayor en el techo. Por tanto, las diferencias en los grados horas de discomfort y en la amplitud térmica no pueden atribuirse exclusivamente a los sistemas constructivos.

- 
- El uso del calefactor a leña como sistema de calefacción, sumado a la baja transmitancia térmica de las viviendas, es suficiente para calefaccionar toda la vivienda mientras se encuentra encendido el mismo. No obstante, durante las noches (calefactor apagado), la temperatura de los dormitorios por momentos alcanzaron valores por debajo del límite inferior de confort, principalmente en las viviendas construidas en madera.
  - Ambas soluciones constructivas, con el equipamiento de acondicionamiento actual, únicamente calefactor a leña, mostraron mejor desempeño en invierno que en verano. Esto se refleja y cuantifica en los grados hora de desconfort de cada período, siendo este indicador muy bajo (casi nulo) en invierno mientras que alcanzó valores considerable en verano.
  - Respecto a la permeabilidad de la envolvente, dada la incertidumbre del propio método de ensayo y al hecho de que las principales fuentes de ingreso de aire no dependen directamente del sistema constructivo, se concluye que no existen grandes diferencias entre ambas soluciones (tradicional y madera).
  - Las viviendas relevadas contaban con poco equipamiento eléctrico, donde los principales consumos pueden ser atribuidos al agua caliente sanitaria y a la conservación de alimentos con heladeras de tecnología antigua.
  - Los resultados de las simulaciones en EnergyPlus se correlacionan adecuadamente con lo medido en sitio, y en su calibración no fue necesario realizar intervenciones sobre las propiedades físicas de la envolvente. Sí se realizaron algunas intervenciones puntuales sobre las cargas térmicas, apertura de ventanas y encendido de calefactor.
  - La mejor correlación del modelado se da en el modelo para la vivienda de madera aunque ambos modelos se correlacionan adecuadamente, aunque ambos modelos computacionales pueden ser utilizados para hacer las futuras modificaciones de estrategias de diseño.

---

## Referencias

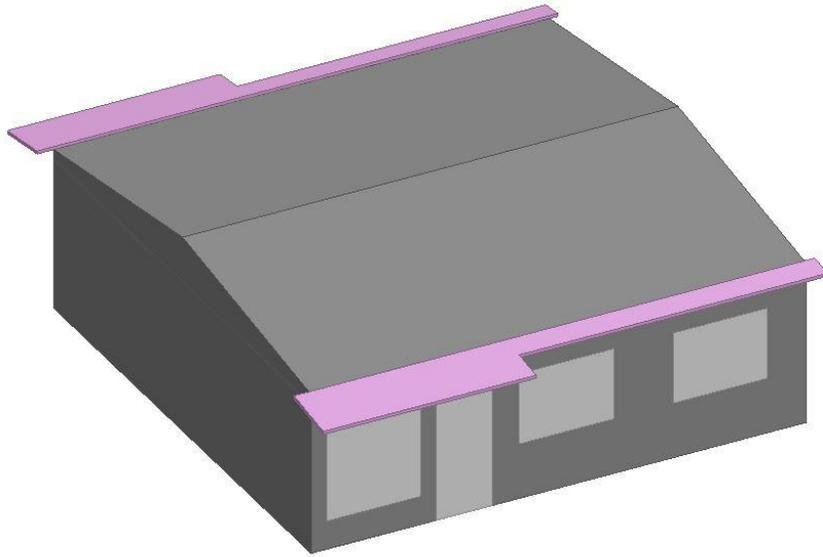
[1] K. Sun, D. Yan, T. Hong, and S. Guo, "Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration," *Build. Environ.*, vol. 79, pp. 1– 12, Sep. 2014.

[2] ASHRAE Guideline 14-2014. Measurement of Energy, Demand, and Water Savings. ASHRAE Guidel 14-2014 2014;4:1–150.

[3] Judkoff R, Wortman D, O'Doherty B, Burch J. A methodology for validating building energy analysis simulations. NREL Tech Rep 550-42059 2008:1–192.

# CAPÍTULO 3: ESTRATEGIAS DE DISEÑO

---



---

## Índice del capítulo

<b>Lista de acrónimos</b>	<b>82</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>83</b>
<b>2. Definición del Usuario y cargas internas</b>	<b>83</b>
2.1. Ocupación	83
2.3. Equipamiento	87
2.4. Apertura y cierre de ventanas y protecciones solares	88
<b>3. Comparación de resoluciones constructivas</b>	<b>91</b>
3.1. Modelo casos base	91
3.2. Requerimientos de Energía Casos Base	93
3.3. Confort en las viviendas en simulaciones sin acondicionamiento (temperatura en oscilación libre).	97
3.4. Caso combinado: Construcción tradicional con techo con cámara ventilada.	99
<b>4. Evaluación de mejoras de eficiencia energética</b>	<b>103</b>
4.2. Definiciones de estrategias de mejora de eficiencia energética.	105
4.3. Resultados de las simulaciones con mejoras	108
<b>5. Evaluación del usuario</b>	<b>112</b>
5.1. Comparación usuarios en caso Base	113
5.2. Impacto del usuario en las mejoras	114
<b>6. Evaluación de modificaciones geométricas</b>	<b>115</b>
6.1. Aleros	115
6.2. Factor de Hueco	117
<b>7. Conclusiones</b>	<b>119</b>
<b>Referencias</b>	<b>121</b>

---

## Lista de acrónimos

*FA* - Factor de amortiguamiento

MEVIR- Movimiento de Erradicación de la Vivienda Rural

LES - Laboratorio de Energía Solar

$T_{Int}$  - Temperatura interior

$T_{Max}$  - Temperatura máxima de confort

$T_{Min}$  - Temperatura mínima de confort

*Gh* - Grados hora de discomfort

NE - Noreste

NO - Noroeste

SE - Sureste

SO - Suroeste

**Requerimiento de energía (o demanda):** Energía útil o necesaria para calefaccionar y refrigerar la vivienda con la finalidad de mantenerse dentro de los criterios de confort en las habitaciones donde se encuentra al menos una persona y durante la permanencia de las mismas. El valor obtenido de requerimiento energético no contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) del sistema de acondicionamiento térmico, siendo directamente la energía que se debe agregar o extraer de la vivienda.

**Consumo de energía:** Energía neta por el sistema de calefacción y refrigeración para mantenerse dentro de los criterios de confort.

---

## 1. Introducción

Este capítulo tiene como objetivo principal obtener conocimientos desde un enfoque multidisciplinario para proponer medidas de eficiencia energética en el diseño de la tipología "Cardal" de MEVIR en dos diseños tipológicos, madera y tradicional .

Para dicha evaluación se definió un usuario único representativo de las dos poblaciones consideradas en este proyecto. El mismo fue elaborado a partir del trabajo realizado asociado al Capítulo 4 y se presenta en la Sección 2 del presente.

Con el usuario definido y tomando el año climático típico de Tacuarembó se procedió a simular ambos diseños tipológicos para comparar su comportamiento desde el punto de vista térmico y energético. Los resultados de dicha evaluación se presentan en la sección 3. Luego, en la sección 4, a partir del análisis de dichos resultados y en función de las condiciones climáticas se proponen y evalúan una serie de medidas de mejora de eficiencia energética de ambos casos de estudio.

En la sección 5 se estudia el impacto del usuario de la vivienda. Para ello se define un usuario eficiente y se estima mediante simulaciones el requerimiento de energía comparándolo con el usuario original. También se simula el caso aplicando las medidas de eficiencia energética para el usuario eficiente. De esta manera se puede evaluar en qué medida las distintas estrategias pueden ser independientes del usuario. Finalmente en la sección 6 se analiza cómo influye el tamaño de aberturas y de aleros en los requerimientos de energía, tomando como referencia la tipología tradicional con el usuario eficiente.

## 2. Definición del Usuario y cargas internas

A partir de las encuestas a los usuarios (16 viviendas, 8 viviendas de sistema tradicional y 8 de sistema madera en cada período caluroso y frío), sobre su comportamiento en relación al uso de la vivienda, equipamiento de las mismas, conocimiento y al empleo de estrategias de acondicionamiento térmico, se definió un usuario tipo (o "real") el cual se utiliza en las simulaciones. El mismo es un promedio de los usuarios de Rivera y Tacuarembó, los cuales tienen perfiles de uso con diferencias apreciables.

Primeramente se definieron las cargas térmicas internas como la suma de tres factores: la ocupación, la iluminación y los aparatos eléctricos.

### 2.1. Ocupación

El cuerpo humano se encuentra a una temperatura de entorno de 37°C y desde el punto de vista térmico se configura en focos o sumideros de energía interior dependiendo de las diferencias de temperaturas. Los valores utilizados para considerar las cargas térmicas por los ocupantes son de 60 y 70 W de calor sensible y latente respectivamente por cada

individuo. A partir de las encuestas que se realizaron en el trabajo de campo se definen la cantidad de ocupantes por vivienda y un factor de simultaneidad por local habitable, de modo que la carga térmica por la ocupación sea la más real, ya que no todas las personas estarán en la casa todo el día a todas horas, ni en todos los locales. Para cada conjunto estudiado en Tacuarembó y Rivera se define una ocupación, así como un usuario tipo representativo de ambos conjuntos. El usuario "tipo" se determina a partir de las respuestas promedio de ambas localidades, ver Tabla 1, por ejemplo a las 12 am el usuario tipo se determina a partir del promedio de (3,5 y 3,9), dando como resultado 3,7. En el cuadro de la Tabla 1 observa el detalle de estas cargas.

*Tabla 1. Cantidad de usuarios por vivienda y por local habitable Fuente: elaboración consultoría*

1. Carga térmica de ocupación de los usuarios																
Horario de domingo a sábado	Usuario en vivienda			Estar			Dormitorio 1			Dormitorio 2			Dormitorio 3			
	Tipo	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Tipo	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Tipo	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Tipo	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Tipo	Cuchilla del Ombú	La Canilla	
12:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
1:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
2:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
3:00 a. m.	3,8	3,5	4,0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
4:00 a. m.	3,8	3,5	4,0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
6:00 a. m.	3,8	3,5	4,0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
6:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
7:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
8:00 a. m.	3,7	3,5	3,9	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
9:00 a. m.	2,1	2,6	4,5	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:00 a. m.	2,1	2,6	4,5	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:00 a. m.	2,1	2,6	4,5	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:00 p. m.	1,7	2,0	1,4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13:00 p. m.	1,7	2,0	1,4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14:00 p. m.	1,7	2,0	1,4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15:00 p. m.	3,1	3,3	2,9	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16:00 p. m.	3,1	3,3	2,9	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17:00 p. m.	3,1	3,3	2,9	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:00 p. m.	3,6	4,5	3,8	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:00 p. m.	3,6	4,5	3,8	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20:00 p. m.	3,6	4,5	3,8	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00 p. m.	3,5	4,5	4,5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00 p. m.	3,5	4,5	4,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
23:00 p. m.	3,5	4,5	4,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
Media de habitantes	4,4	4,8	4,5													
Media de menores	2,5	2,8	2,25													
Media de mayores	1,9	2,0	1,75													

De la Tabla 1 y las encuestas (ver Capítulo 5 para más detalles), se desprende que existen diferencias en los modos de ocupación en ambos conjuntos, en un caso definimos al usuario como urbano y otro rural, con una ocupación y una cantidad de personas por hogar que es distinto. El usuario de Tacuarembó es el rural ya que tiene un uso de menor cantidad de horas de permanencia el fin de semana. Para las simulaciones del caso de base para ambos diseños se usa el usuario tipo definido, el cual es el promedio de los usuarios de las dos localidades.

Para la ocupación, debido a que no es posible considerar fracciones de personas en el programa de simulación se considera el valor entero, suponiendo para arriba el decimal. Por ejemplo, en Cuchilla del Ombú a las 12.00 am tenemos un promedio de 3,5; entonces

---

se consideran en la vivienda 4 personas desglosadas de la siguiente forma: en el dormitorio 1 (1); en el dormitorio 2 (1) y en el dormitorio 3 (2).

## 2.2. Iluminación

Otra fuente de calor es la iluminación. Para la iluminación se relevaron la cantidad y tipo de lámparas en los locales habitables. Además se consultó por el horario de uso de las mismas. Esto también se determinó por localidad y por usuario tipo. Debido a que no existían diferencias significativas se adoptó una planilla única para cargas de iluminación, ver Tabla 2 y 3.

Tabla 2. Lámparas relevadas. Fuente: elaboración consultoría

Iluminación artificial		
Local	cantidad	tipo
Estar	1	Fluorescente compacta E27
Comedor	1	Fluorescente compacta E27
Cocina	1	Fluorescente compacta E27
Baño	1	Fluorescente compacta E27
Hab. 1	1	Fluorescente compacta E27
Hab. 2	1	Fluorescente compacta E27
Hab. 3	1	Fluorescente compacta E27
Pasillo	1	Fluorescente compacta E27
Exterior	2	s/d

En la Tabla 2 se especifican la cantidad y tipo de lámpara por habitación, mientras que en la Tabla 3 se detallan las cargas horarias utilizadas en las simulaciones. En función de la posibilidad de reposición de estas lámparas y calidad de la eficiencia energética disponible en el mercado uruguayo de las lámparas se adoptó el valor de 18 W que sería semejante a una lámpara incandescente de 80W, ya que este valor corresponderá al 54% de las lámparas de este tipo posibles de ser compradas en el país, ver Tabla 4.

Tabla 3: Cargas de iluminación. Fuente: elaboración consultoría

2.Carga de iluminación				
Horario de domingo a sábado	Estar	Dormitorio	Dormitorio	Dormitorio 3
	W	W	W	W
12:00 a. m.	0	0	0	0
1:00 a. m.	0	0	0	0
2:00 a. m.	0	0	0	0
3:00 a. m.	0	0	0	0
4:00 a. m.	0	0	0	0
6:00 a. m.	0	0	0	0
6:00 a. m.	18	0	0	0
7:00 a. m.	18	0	0	0
8:00 a. m.	0	0	0	0
9:00 a. m.	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0
12:00 p. m.	0	0	0	0
13:00 p. m.	0	0	0	0
14:00 p. m.	0	0	0	0
15:00 p. m.	0	0	0	0
16:00 p. m.	0	0	0	0
17:00 p. m.	0	0	0	0
18:00 p. m.	18	0	0	0
19:00 p. m.	18	0	0	0
20:00 p. m.	18	0	0	0
21:00 p. m.	18	0	0	0
22:00 p. m.	0	18	18	18
23:00 p. m.	0	0	0	0

Tabla 4: Ventas de lámparas fluorescentes compactas. Fuente: [d24c0234-e751-4b28-9748-b9655d78cfce \(eficienciaenergetica.gub.uy\)](https://d24c0234-e751-4b28-9748-b9655d78cfce.eficienciaenergetica.gub.uy)

**Evolución de ventas por potencia**

Potencia	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
≤ 10 W	13%	10%	12%	12%	12%	11%	6%	3%
11 W	10%	10%	11%	11%	8%	7%	4%	4%
12 - 14 W	13%	13%	15%	15%	16%	17%	18%	17%
15 W	20%	22%	17%	17%	20%	15%	23%	31%
16-19 W	10%	9%	10%	9%	7%	10%	8%	3%
20 W	18%	20%	18%	20%	20%	19%	21%	20%
21 - 29 W	11%	10%	10%	11%	11%	14%	13%	15%
≥ 30 W	6%	6%	7%	6%	7%	7%	7%	8%

## 2.3. Equipamiento

Al igual que para la iluminación, para determinar las cargas térmicas por equipamiento se relevaron los equipos instalados en los distintos locales de las viviendas.

Las viviendas de tres dormitorios, según el Capítulo 2, contaban con: heladera (aprox 100 W), lavarropas, entre uno y tres televisores (entre 70 y 150 W cada uno), calefactor a leña de alto rendimiento, anafe (de 4 hornallas) y horno a GLP, extractor de aire, ventiladores de pie y otros equipos de uso esporádico como procesadora, batidora, licuadora, freidora. Una de las viviendas contaba con un freezer adicional. Para las simulaciones se consideró en el estar una carga esporádica promedio de 200 W (110 W promedio de la tele y algún consumo de equipo de cocina). Los equipos seleccionados fueron los que eran más representativos de las viviendas encuestadas (ver Tabla 5). En promedio, los equipos presentes en la zona del estar fueron heladera y televisor (se tomó el promedio de pulgadas). El consumo promedio en la zona del estar fue de 200W. El resto de las habitaciones, debido a la disparidad de equipamiento o inexistencia, se consideró sin equipamiento.

Para las simulaciones no se considera el calefactor a leña ya que en las mismas se analizan los requerimientos energéticos de calefacción y refrigeración con un sistema HVAC ideal. Esto implica calcular la energía útil o necesaria para calefaccionar y refrigerar la vivienda con la finalidad de mantenerse dentro de los criterios de confort en las habitaciones donde se encuentra al menos una persona y durante la permanencia de las mismas. El valor obtenido de requerimiento energético no contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) del sistema de acondicionamiento térmico, siendo directamente la energía que se debe agregar o extraer de la vivienda.

Tabla 5. Relevamiento de equipos por locales. Fuente: elaboración consultoría

Equipos				Equipos				Equipos			
Local	cantidad	tipo	P(W)	Local	cantidad	tipo	P(W)	Local	cantidad	tipo	P(W)
Estar	1	Estufa leña alto rendimiento		Estar	1	Estufa leña alto rendimiento		Estar	1	Estufa leña alto rendimiento	
Estar	1	TV 32"	70	Estar	1	TV 42"	75	Estar	1	TV 33"	70
Comedor	1	Freezer	180	Estar	1	Equipo de música	100	Comedor	1	Microondas	800
Cocina	1	Extractor de aire	25	Cocina	1	Extractor de aire	25	Comedor	4	Máquinas: procesadora, batidora, licuadora, freidora	1200/1000/800
Cocina	1	Cocina a gas 4 hornallas + horno	11500/1800	Cocina	1	Cocina a gas 4 hornallas + horno	11500/1800	Cocina	1	Cocina a gas 4 hornallas + horno	11500/1800
Cocina	1	Heladera	100	Cocina	1	Heladera	100	Cocina	1	Heladera (modelo viejo)	150
Baño	1	Calefón + Timer	1500	Cocina	1	Microondas	800	Cocina	1	Extractor de aire	25
Baño	1	Calefón	0	Baño	1	Calefón	1500	Baño	1	Calefón	1500
Baño	1	Lavarropas	1900/500	Baño	1	Lavarropas	1900/500	Baño	1	Lavarropas	1900/500
Hab. 1	1	Ventilador de pie	90	Hab. 1	1	Estufa halógena	1200	Hab. 1	1	TV 23"	70
Hab. 2	1	Ventilador de pie	90	Hab. 1	1	Secador de pelo (uso habitual)	1000	Hab. 2	1	TV 44"	150
Hab. 2	1	Plancha pelo chica (uso muy esporádico)		Hab. 2	1	Ventilador de pie	90	Hab. 2	1	Ventilador de pared	90
		<b>Zona</b>	<b>carga promedio</b>								
		<b>Estar-cocina</b>									
		heladera-freezer	100								
		extractor de aire	25								
		tv	72								
			197								

Tabla 6: Cargas de equipamiento por local y por hora. Fuente: elaboración consultoría

3.Carga de equipamiento				
domingo a sábado	Estar	Dormitorio	Dormitorio	Dormitorio 3
	W	W	W	W
12:00 a. m.	0	0	0	0
1:00 a. m.	0	0	0	0
2:00 a. m.	0	0	0	0
3:00 a. m.	0	0	0	0
4:00 a. m.	0	0	0	0
6:00 a. m.	0	0	0	0
6:00 a. m.	0	0	0	0
7:00 a. m.	0	0	0	0
8:00 a. m.	0	0	0	0
9:00 a. m.	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0
12:00 p. m.	0	0	0	0
13:00 p. m.	0	0	0	0
14:00 p. m.	0	0	0	0
15:00 p. m.	0	0	0	0
16:00 p. m.	0	0	0	0
17:00 p. m.	0	0	0	0
18:00 p. m.	200	0	0	0
19:00 p. m.	200	0	0	0
20:00 p. m.	200	0	0	0
21:00 p. m.	200	0	0	0
22:00 p. m.	0	0	0	0
23:00 p. m.	0	0	0	0

## 2.4. Apertura y cierre de ventanas y protecciones solares

La ventilación natural permite renovar el aire, este puede aportar calor o quitarlo, en función de la diferencia de temperatura interior-externo. En función del promedio de las respuestas de las encuestas relevadas, se determinó la apertura de las ventanas, ver Tabla 7, donde se puede observar que el usuario real es realmente poco eficiente en el período caluroso en el manejo de la energía ya que ventila cuando la temperatura exterior es elevada aportando calor al espacio interior. Para elaborar la Tabla se le asigna 1 cuando las ventanas están abiertas, y 0 para cuando permanecen cerradas. Esto supone en la simulación un flujo de aire a través de las ventanas cuando están abiertas (al ser 1) o se desestima al ser 0.

Tabla 7: Apertura y cierre de ventanas, periodo caluroso. Fuente: elaboración consultoría

4. Ventilación			
Referencias: abierto 1 y cerrado 0			
Horario de domingo a sábado	Estar y dormitorios		
	General	Cuchilla del Ombú	La Canilla
12:00 a. m.	0	0	0
1:00 a. m.	0	0	0
2:00 a. m.	0	0	0
3:00 a. m.	0	0	0
4:00 a. m.	0	0	0
6:00 a. m.	0	0	0
6:00 a. m.	1	1	1
7:00 a. m.	1	1	1
8:00 a. m.	1	1	1
9:00 a. m.	1	1	1
10:00 a. m.	1	1	1
11:00 a. m.	1	1	1
12:00 p. m.	1	1	1
13:00 p. m.	1	1	1
14:00 p. m.	1	1	1
15:00 p. m.	0	0	0
16:00 p. m.	0	0	0
17:00 p. m.	0	0	0
18:00 p. m.	0	0	0
19:00 p. m.	0	0	0
20:00 p. m.	0	0	0
21:00 p. m.	0	0	0
22:00 p. m.	0	0	0
23:00 p. m.	0	0	0

Otro punto importante para el control de la radiación solar e ingreso de energía a la viviendas es el uso de las protecciones solares (persianas). El uso de las protecciones se define como 1 si se colocan (persiana cerrada) y 0 si no se ponen (persiana abierta). En la Tabla 8 se presentan los patrones de uso de las protecciones solares, para el usuario tipo, según lo relevado en las encuestas.

Tabla 8: Apertura y cierre de protecciones solares. Fuente: elaboración consultoría

<b>5. Colocación de cortinas</b>			
Caso tipo (general)			
Referencia: 1= si coloca cortina y 0 sino lo hace			
Horario de domingo a sábado	DORMITORIO 1	DORMITORIO 2	DORMITORIO 3
	Domingo a sábado	Domingo a sábado	Domingo a sábado
12:00 a. m.	1	1	1
1:00 a. m.	1	1	1
2:00 a. m.	1	1	1
3:00 a. m.	1	1	1
4:00 a. m.	1	1	1
6:00 a. m.	1	1	1
6:00 a. m.	1	1	1
7:00 a. m.	0	0	0
8:00 a. m.	0	0	0
9:00 a. m.	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0
12:00 p. m.	0	0	0
13:00 p. m.	0	0	0
14:00 p. m.	0	0	0
15:00 p. m.	0	0	0
16:00 p. m.	0	0	0
17:00 p. m.	0	0	0
18:00 p. m.	1	1	1
19:00 p. m.	1	1	1
20:00 p. m.	1	1	1
21:00 p. m.	1	1	1
22:00 p. m.	1	1	1
23:00 p. m.	1	1	1

### 3. Comparación de resoluciones constructivas

#### 3.1. Modelo casos base

Para las simulaciones presentadas en el presente informe se utilizó como archivo climático del año meteorológico correspondiente a la ciudad de Tacuarembó [1] con las modificaciones incluidas en el Capítulo 2. Esto es correcciones en los datos de radiación solar y sustitución de los datos obtenidos para la calibración. La última modificación permite hacer comparaciones puntuales con las mediciones analizadas en el Capítulo 2. Como ya se dijo se utiliza un único usuario tipo definido en la Sección 2.

Tabla 9: Características térmicas de la vivienda.

	<b>Tradicional</b>	<b>Madera</b>
Paredes exteriores	$Conductancia = 0,844 W/m^2K$ $mc_p = 5.41 kWh/^\circ C$	$Conductancia = 0,694 W/m^2K$ $mc_p = 1.22 kWh/^\circ C$
Paredes interiores	$mc_p = 2.60 kWh/^\circ C$	$mc_p = 0.86 kWh/^\circ C$
Techo	$Conductancia = 0,782 W/m^2K$	Cielorraso $Conductancia = 0,797 W/m^2K$ Tiene cámara ventilada
Ventanas	$área = 7,26 m^2$ $U = 5.87 W/m^2K$ $\tau_s = 0,89$	$área = 7,26 m^2$ $U = 5.87 W/m^2K$ $\tau_s = 0,89$
	Tiene Persianas en los Dormitorios y cortinas en el Estar y cocina.	
Protecciones solares	Cortinas $\tau_s = 0,3$ Persianas $\tau_s = 0,0$	Cortinas $\tau_s = 0,3$ Persianas: $\tau_s = 0,0$

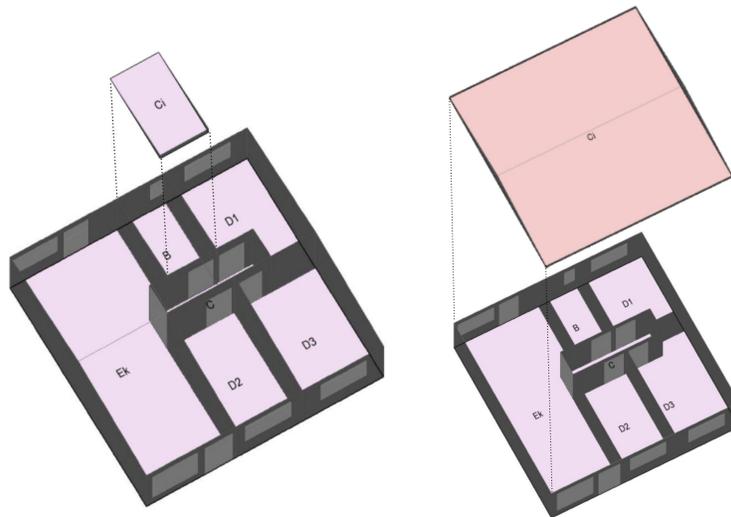
Las simulaciones toman los diseños de la tipología “Cardal” en resoluciones constructivas madera y tradicional, de acuerdo a los recaudos gráficos y memoria brindados por MEVIR. Del punto de vista de la espacialidad ambos casos tienen la misma distribución en planta y tamaño de aberturas. Sin embargo se diferencian por la materialidad de la envolvente vertical y el diseño del cerramiento horizontal generando una diferencia tanto en el volumen interior como en los intercambios de calor que se producen a través del mismo. El desarrollo de los modelos es el presentado en el Capítulo 1 y ajustado durante la calibración en el Capítulo 2. En estos capítulos quedaron definidas las variables que

---

definen el edificio como son las paredes que lo forman, los equipos que contiene y los materiales que componen cada fachada. En la Tabla 9 se resumen las características de la envolvente desde el punto de vista térmico, siendo los valores teóricos en función de las propiedades de conductividad y calor específico y los espesores que tienen los recaudos gráficos.

Se observa que las paredes exteriores en ambas construcciones tienen un buen nivel de aislación térmica siendo mejor el caso de construcción en madera, mientras que las paredes de la construcción tradicional presentan una inercia térmica muy superior. La diferencia en la inercia entre las viviendas se acentúa al considerar las paredes interiores, presentando la construcción tradicional cuatro veces más capacidad térmica ( $mc_p$ ) que la de madera. Las ventanas en ambos casos tienen la misma área, misma transmitancia térmica, igual transmisividad respecto a la radiación solar ( $\tau_s$ ) y tienen las mismas protecciones solares.

Respecto a la envolvente, donde se encuentra la mayor diferencia es en el techo. En ambas construcciones el material y espesor de aislante es el mismo, lo que hace que la conductancia del cielorraso en la tipología de madera coincida con la conductancia del techo en la tipología tradicional. Sin embargo en la solución de madera existe una cámara de aire ventilada que actúa como otro elemento que modifica los intercambios térmicos con el exterior. En la Figura 1 se muestran las zonas de cada caso.



*Figura 1. Zonas térmicas para la simulación. Izquierda: Vivienda tradicional. Derecha: Vivienda liviana.*

Es por esto que es muy importante señalar que las diferencias entre los casos y por ende entre los modelos de simulación, no son únicamente de la materialidad. Se debe aclarar que es difícil comparar resoluciones constructivas cuando el techo de una tipología es ventilado y en el otro caso no, por lo que en este informe se habla de diseño tipológico de

madera y diseño tipológico tradicional y no se evalúa un sistema constructivo, por lo que no se puede simplificar al análisis solo a la materialidad.

Se debe aclarar además que se denomina tradicional porque así lo especifica la solicitud de la consultoría y es el diseño que más se repite en MEVIR, ver Figura 3. Sin embargo la solución constructiva de techo de chapa con aislación para esta tipología genera desde el punto de vista tecnológico una combinación entre el sistema tradicional (o pesado) y el liviano.



Figura 3. A la izquierda vivienda de tipología "Cardal" madera, planta en el centro y a la derecha tipología "Cardal" tradicional

### 3.2. Requerimientos de Energía Casos Base

En una primera instancia, se analiza el desempeño de la vivienda en sus dos variantes. Las viviendas se simulan para varias orientaciones, a fin de determinar la orientación de mejor desempeño, así como identificar puntos con potencial de mejora. Se define el caso base (orientación 0°) con la fachada principal orientada al norte, y las demás orientaciones corresponden a rotar la vivienda en sentido horario (ver Figura 4).

El objetivo es estimar los requerimientos energéticos para mantener el interior de la vivienda en confort térmico. Para ello se utiliza un sistema HVAC ideal (aporta o retira la cantidad de calor necesario para mantener las temperaturas deseadas). Para definir las temperaturas de consigna del equipo se trabajó con el modelo adaptativo de confort para pautas de diseño que permiten optimizar las condiciones de confort del usuario.

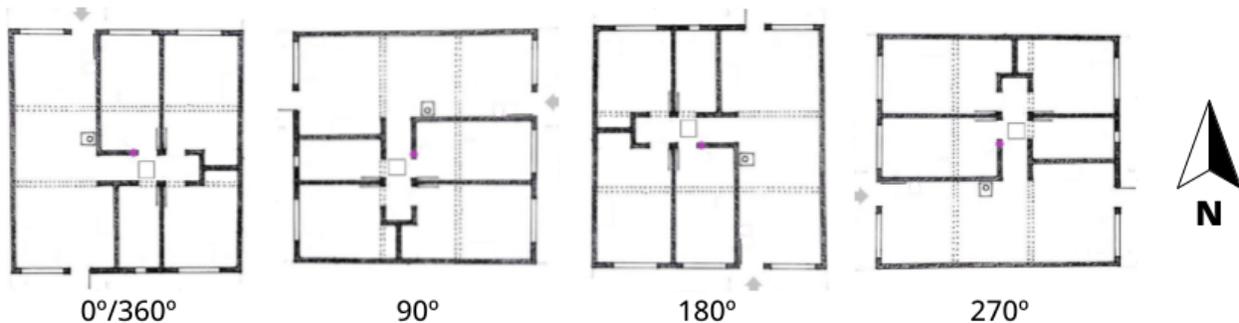
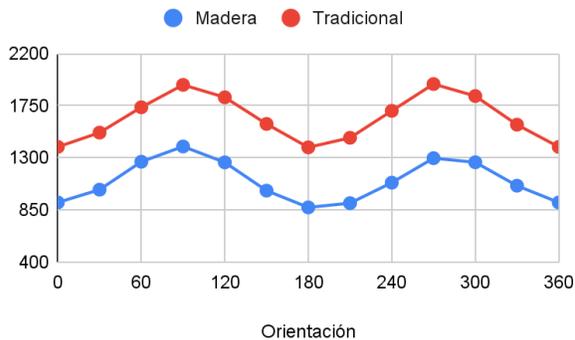


Figura 4. Orientación de referencia de las viviendas

Requerimiento anual refrigeración (kWh)



Requerimiento anual calefacción (kWh)

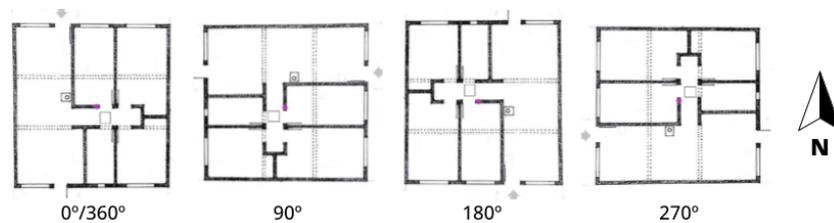
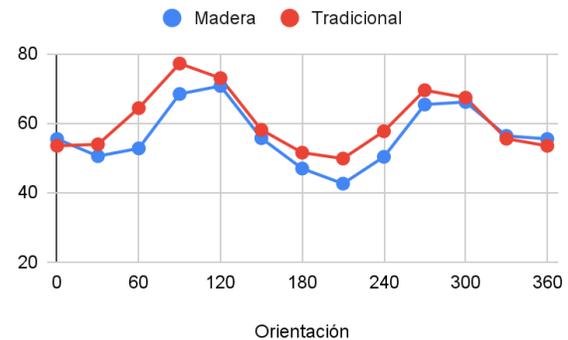


Figura 5. Requerimientos de Energía Anual (kWh)

Las estimaciones de requerimientos energéticos para acondicionamiento térmico en estos casos se presentan en la Figura 5. Para todas las orientaciones solares la demanda energética de refrigeración es mucho mayor que la de calefacción.

Se observa, en ambos casos una importante dependencia con la orientación. Las orientaciones 0° (fachada principal al norte) y 180° (fachada principal al sur) son las que presentan mejor comportamiento tanto en verano como en invierno. Esto se debe a que en esos casos todas las ventanas de las viviendas quedan orientadas al sur o al norte. En verano la radiación solar incidente es bastante mayor en las fachadas este y oeste que en las fachadas norte y sur (ver Figura 6), por lo que es menor el calor que ingresa por las ventanas en las orientaciones 0° y 180° ya que quedan todas ubicadas en fachadas sur y norte, y por lo tanto es menor el requerimiento de refrigeración. En invierno, la radiación solar incidente en la fachada norte supera a la radiación solar incidente en las fachadas este y oeste combinadas, por lo cual las orientaciones con ventanas orientadas al norte (o sea 0° y 180°) serán las que reciban más calor y por lo tanto las que presentan menores requerimientos de calefacción.

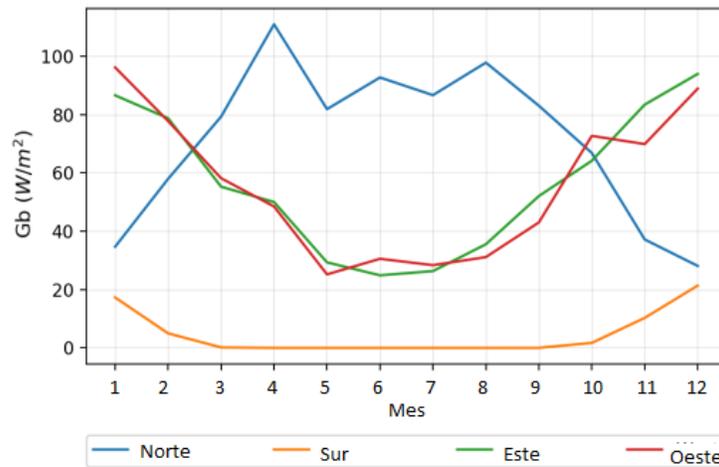


Figura 6. Radiación solar incidente en Uruguay según la orientación del plano vertical. Fuente: adaptado de Gervaz 2021 [2].

Esta comparación se puede ver en el gráfico de la Figura 7 para el caso particular de la vivienda de Madera. En el gráfico de dicha Figura se observan las ganancias (valores positivos) y pérdidas (valores negativos) de calor por las distintas componentes. Dichos valores representan la energía acumulada en el período considerado. Si tomamos como ejemplo las paredes, puede pasar que por momentos ingrese energía y por momentos se pierda energía a través de las mismas, y si lo que se perdió en ese período supera lo que se ganó, el valor graficado será negativo (como sucede en este caso), lo que representa pérdidas de calor en dicho período.

En este caso se presentan para el período caluroso. Se puede ver que si se comparan dos orientaciones de vivienda se tiene que el calor neto acumulado que ingresa por las ventanas es notoriamente mayor para la orientación 90° que 0° ya que en el caso de 90° las ventanas quedan en las fachadas que reciben más radiación solar.

De los gráficos de requerimiento energético anual de la Figura 5 también se desprende que el diseño tipológico tradicional presenta mayores requerimientos energéticos. Al comparar los aportes de calor por la envolvente en ambos casos (ver Figura 8) se puede ver que hay una diferencia significativa en el aporte de calor a través del techo. Mientras que las otras cargas térmicas o pérdidas de calor se mantienen prácticamente sin cambios, el calor que ingresa por el techo en el caso con cámara ventilada es sustancialmente menor.

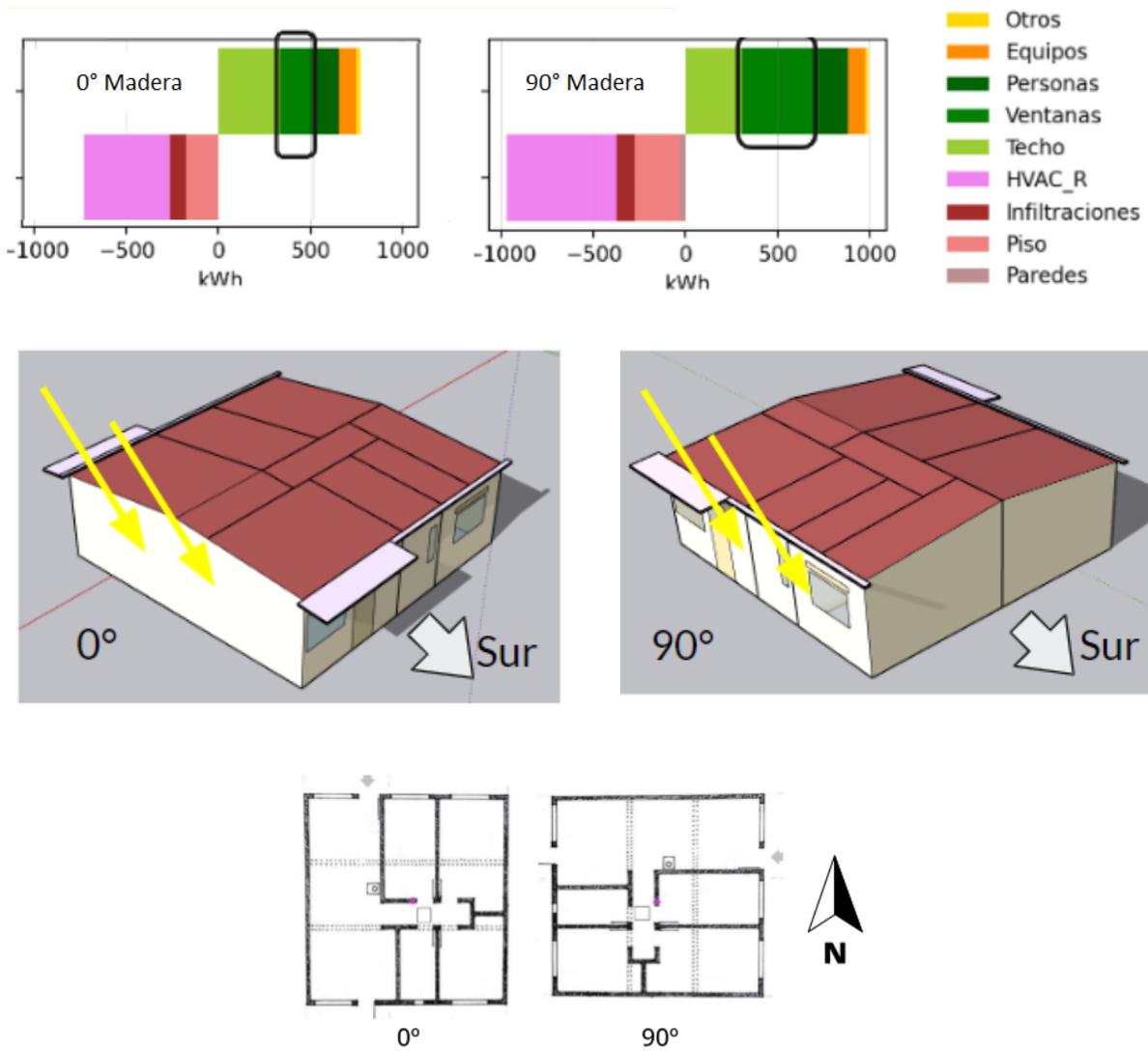


Figura 7. Arriba: Aporte de energía de las distintas componentes en el periodo caluroso para dos orientaciones en el caso de la tipología en madera. Abajo: Alta incidencia de radiación solar en el atardecer en fachada Oeste para dos orientaciones de vivienda

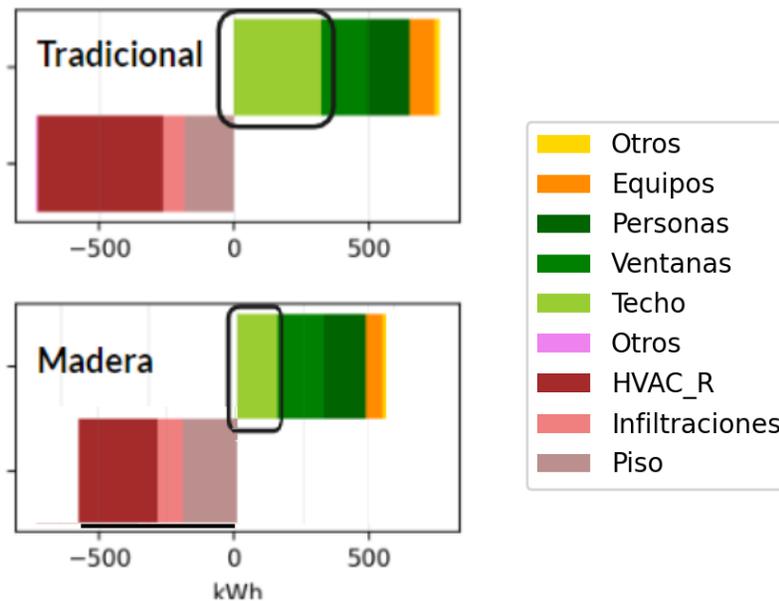


Figura 8. Aporte de energía de las distintas componentes en el periodo caluroso para ambos casos para orientación 0°.

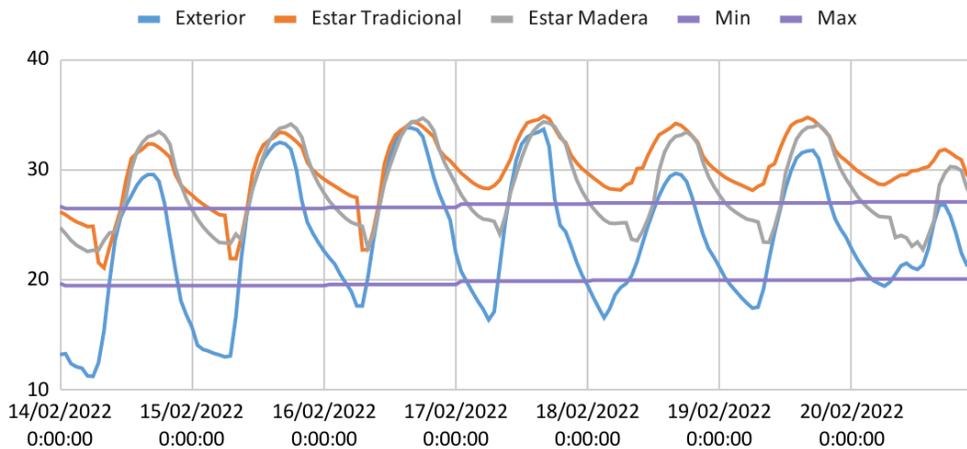
### 3.3. Confort en las viviendas en simulaciones sin acondicionamiento (temperatura en oscilación libre).

Los resultados de la Sección 3.2 muestran un mejor comportamiento del diseño tipológico de la vivienda en madera, lo cual puede ser interpretado como contradictorio respecto a lo analizado de las mediciones del Capítulo 2, en las cuales se estimó un mejor desempeño del diseño tipológico de la vivienda tradicional. Debe considerarse que las mediciones presentadas en el Capítulo 2 (útiles para el calibrado de los modelos) no permiten evaluar comparativamente su desempeño térmico porque hay muchas variables diferentes (de uso, cantidad de personas por vivienda, de clima). Por otro lado, en los resultados presentados en este informe dichas diferencias fueron eliminadas para hacer posible la comparación, de todas formas tal como se mencionó anteriormente, los dos casos evaluados presentan diferencias en su diseño tipológico que trascienden la materialidad, repercutiendo en los resultados obtenidos.

Para reforzar el análisis de la sección anterior se incluyó la simulación de los casos base en oscilación libre, donde se observan las temperaturas del aire alcanzadas en los espacios interiores. O sea, sin incluir acondicionamiento térmico de las viviendas. Esto se realizó para la orientación 0°.

---

### Temperaturas en oscilación libre - Verano



### Temperaturas en oscilación libre - Invierno

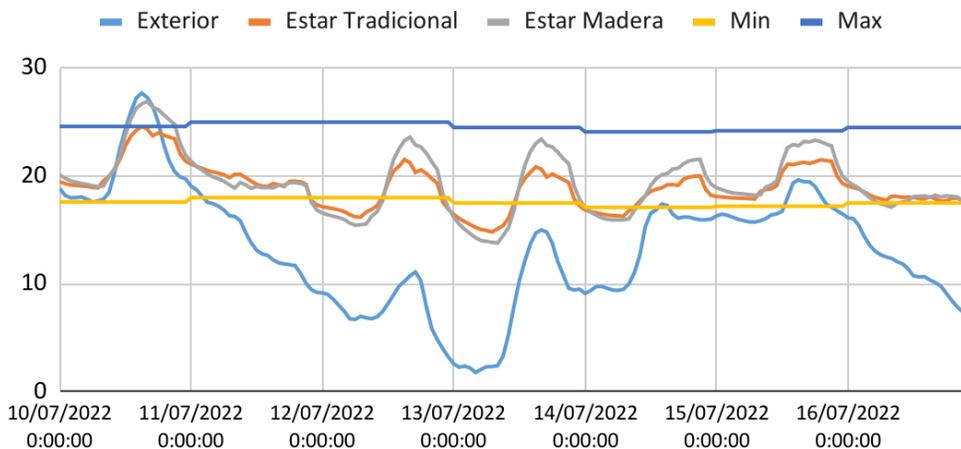


Figura 9. Temperatura durante las semanas de calibración de verano e invierno en la sala de Estar.

La temperatura de la sala de Estar de las viviendas y la temperatura exterior en una semana de verano y una de invierno se presentan en la Figura 9. En los gráficos se incluye también el rango de confort considerado, identificado el mínimo (Min) y el máximo (Max) Se puede observar que en el diseño tipológico tradicional la amplitud térmica es claramente inferior respecto al diseño tipológico en madera. Esto se debe a la mayor inercia térmica que se tiene por su materialidad en muros (mampostería) del primer caso.

En el invierno se observa que las temperaturas medias no son muy diferentes, por lo que gracias a la menor amplitud en la vivienda tradicional los mínimos de temperatura no son tan bajos lo que resulta en mayor confort en ese período.

Sin embargo, si se analiza la semana de verano se puede ver que la temperatura media en dicha vivienda es más alta respecto a la vivienda de madera, esto se debe a que el ingreso de calor a la vivienda del diseño tipológico tradicional es mayor, principalmente por el techo (de solución constructiva liviana) (ver Figura 10). Debido a esto, para poder disipar el calor (por paredes, piso, y renovación de aire) se tiene una mayor temperatura interna. Lo que resulta en un mayor desconfort en la vivienda tradicional en el período caluroso.

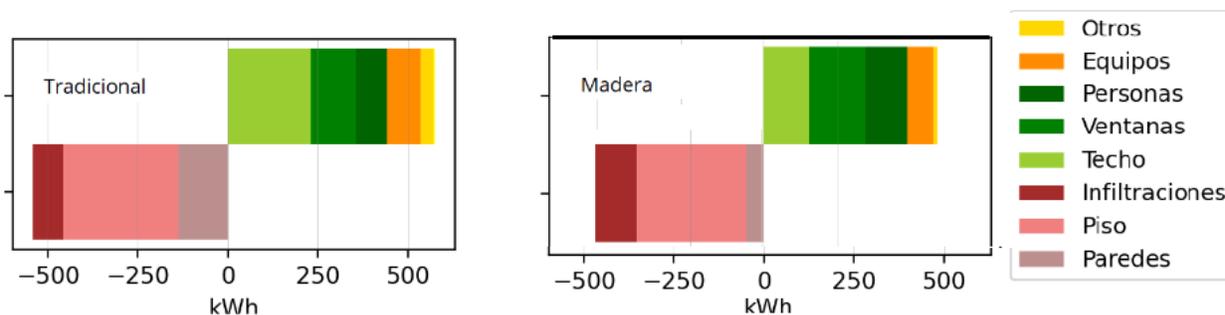


Figura 10. Aporte de energía de las distintas componentes en el periodo caluroso para ambos casos para orientación 0° sin acondicionamiento térmico.

En definitiva, la vivienda de diseño tipológico tradicional presenta mayor desconfort para las condiciones evaluadas en este caso en términos globales. En la Tabla 10 se resumen los valores de promedios diarios de grados-hora de desconfort en cada caso. Es importante resaltar nuevamente que la causa de dicha diferencia es principalmente la resolución constructiva del techo y no a la materialidad.

Tabla 10. Promedio diario de grados-hora de desconfort.

	Calor	Frío
Tradicional	84,1 °Ch	6,55 °Ch
Madera	57,6 °Ch	9,78 °Ch

### 3.4. Caso combinado: Construcción tradicional con techo con cámara ventilada.

Para analizar la influencia de la solución constructiva del techo con la cámara ventilada, se definió un tercer caso en el cual se usa la tipología con la resolución del techo con cámara ventilada y muros según la materialidad del diseño tipológico tradicional. En esas condiciones se realizaron dos nuevas simulaciones, una con acondicionamiento térmico para evaluar la demanda de energía y otra sin acondicionamiento (oscilación libre) para ver la evolución de las temperaturas en ese nuevo caso. Con el fin de comparar los resultados con los obtenidos para los casos base de la Sección 3.2 se utiliza el mismo usuario y cargas

internas definidas en la sección 2.1.

En la Figura 11 se presenta el requerimiento de energía para mantener temperaturas de confort en el verano. Se puede observar que una vivienda de construcción tradicional pero con la resolución de techo de cámara ventilada se comporta mejor que los dos casos base. Si se mira este caso como una mejora de la vivienda tradicional, el requerimiento energético se reduce a una tercera parte para las orientaciones más favorables (0° y 180°).

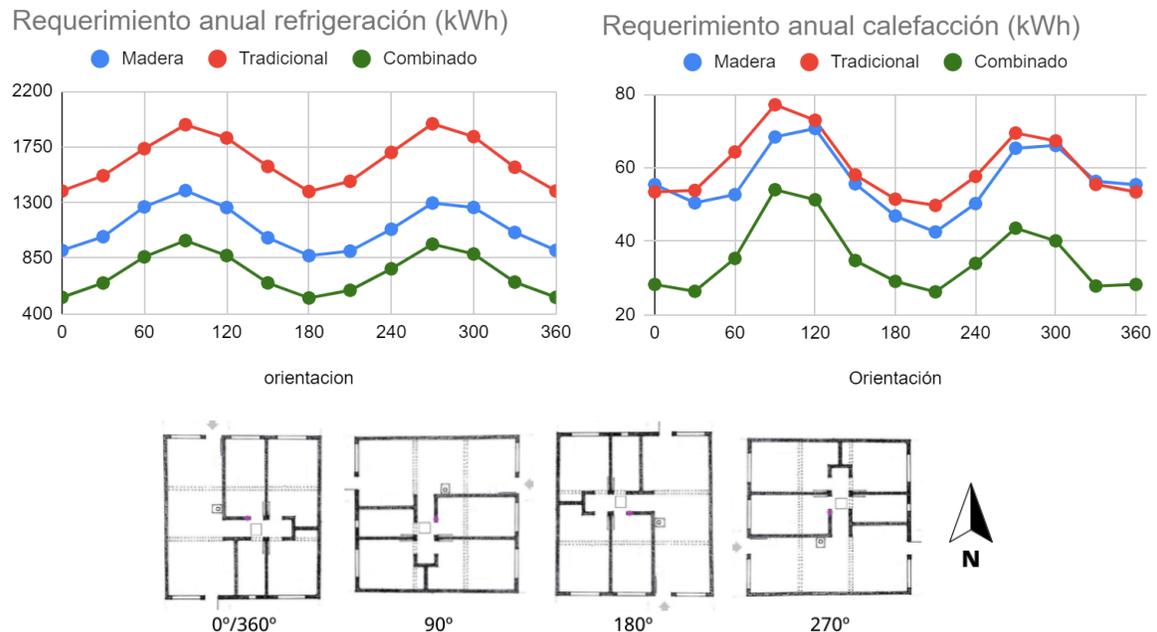
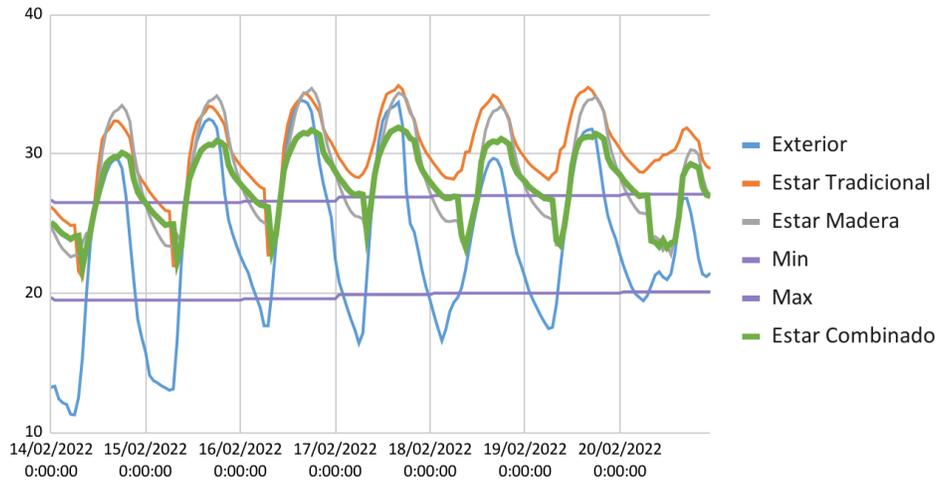


Figura 11. Requerimientos de Energía Anual para refrigeración en caso combinado en comparación con casos base(kWh).

Al simular el caso de oscilación libre (sin acondicionamiento térmico) también se obtiene una mejora muy considerable en el caso combinado respecto a los casos base. En las gráficas de la Figura 12 se presenta la temperatura de la sala de estar en los tres casos en una semana de verano y una de invierno respectivamente.

Para el verano la temperatura media obtenida en el caso combinado es la más baja, obteniéndose valores de temperatura dentro del rango de confort por más tiempo. A su vez se puede observar que la amplitud térmica en este caso tiene un comportamiento casi idéntico al caso base del diseño tipológico tradicional. En la semana de invierno presentada se observa una temperatura media levemente superior respecto al caso tradicional con similar amplitud térmica lo que también genera mayor confort térmico en el caso combinado.

Temperaturas en oscilación libre - Verano



Temperaturas en oscilación libre - Invierno

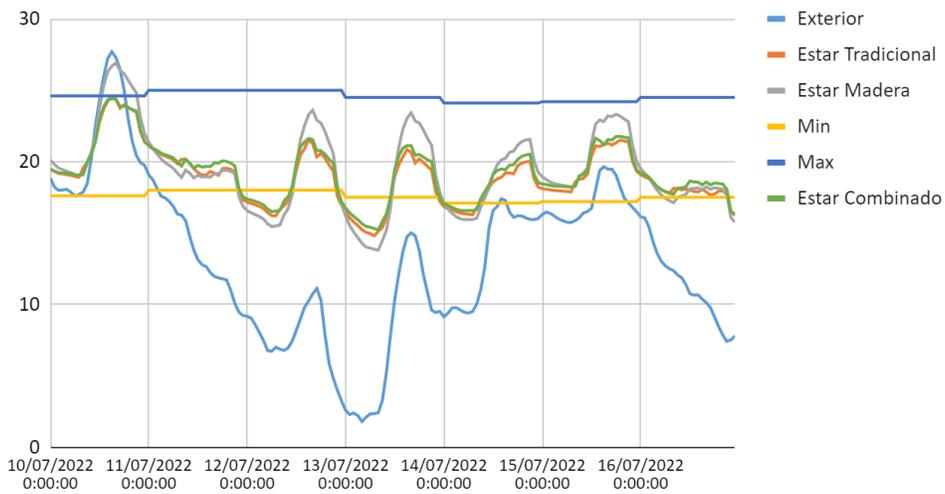


Figura 12. Temperatura durante la semana de calibración de verano en la sala de Estar para los tres casos.

Tabla 11. Promedio diario de grados-hora de discomfort.

	<b>Calor</b>	<b>Frío</b>
Tradicional	84,1 °Ch	6,55 °Ch
Madera	57,6 °Ch	9,78 °Ch
Combinado	39,4 °Ch	5,13 °Ch

En la Tabla 11 se presenta el promedio diario de grados-hora de desconfort en los tres casos, valor que muestra explícitamente la mejora del caso combinado, tanto para frío como para calor.

El balance de energía de los tres casos en oscilación libre se presenta en la Figura 13 para el período caluroso. Se puede ver que en el caso de Madera y en el caso combinado las ganancias de calor son muy similares (~440 kWh) y menores que en el caso Tradicional (~530 kWh). Como se mencionó anteriormente esto se debe a la reducción de calor entrante por el techo y permite disipar dicho calor con valores más bajos de temperatura interior. Por otro lado, la alta inercia del caso combinado reduce la amplitud de la oscilación de la temperatura (Figura 12) de la vivienda permitiendo que con valores de energía entrante similares tener picos de temperatura menores y por lo tanto menor desconfort.

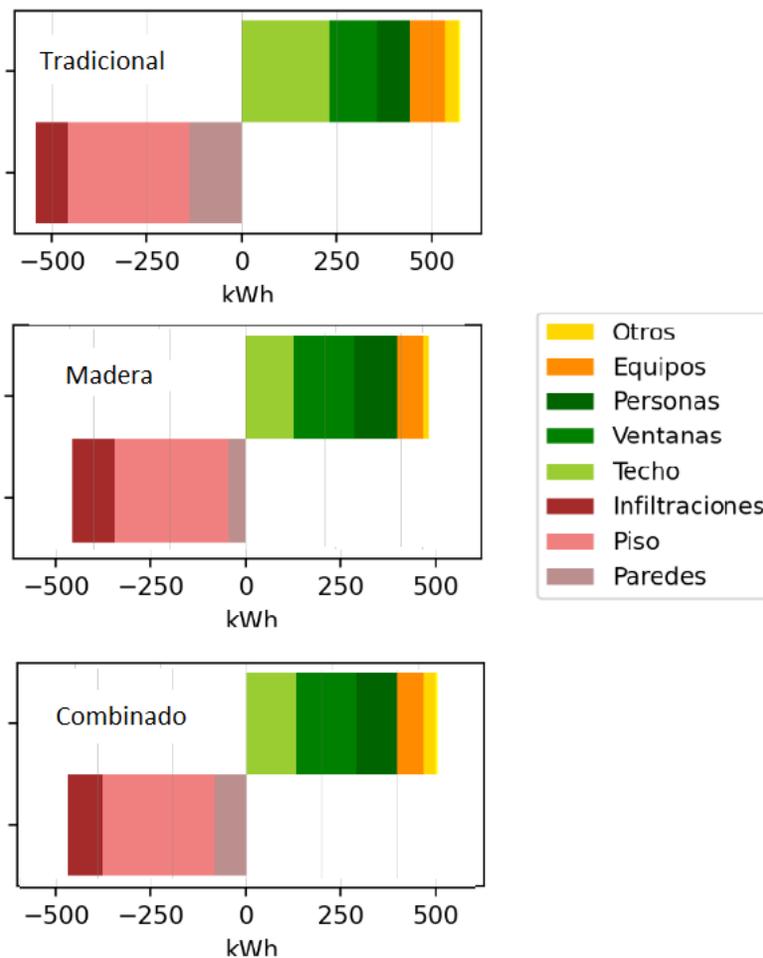


Figura 13. Aporte de energía de las distintas componentes en el periodo caluroso para los tres casos para orientación 0° sin acondicionamiento térmico.

## 4. Evaluación de mejoras de eficiencia energética

Para determinar las estrategias de mejoras a evaluar se consideró por un lado los resultados obtenidos de la evaluación del caso base y por otro el análisis general de las condiciones climáticas y las estrategias bioclimáticas apropiadas para la localidad de Tacuarembó mediante la herramienta Climate Consultant 6.0 (Energy Design Tool UCLA). A partir del primer análisis surge que sólo un 15% de las horas del año las temperaturas se encuentran dentro del rango de confort térmico. A su vez, de las mediciones realizadas surge que existen requerimientos principalmente de refrigeración y en menor medida de calefacción, por lo que se debe atender principalmente a los primeros.

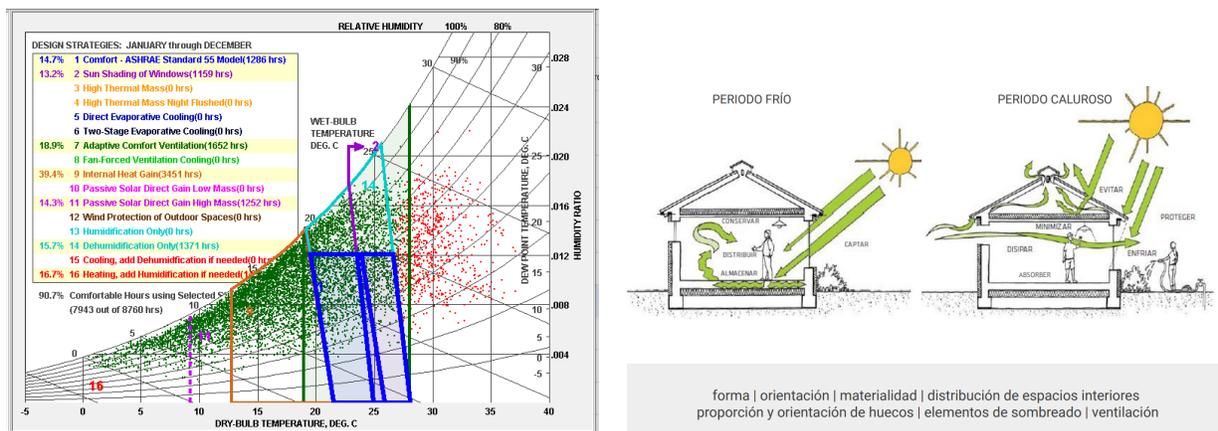


Figura 14. Carta bioclimática según Climate Consultant para Tacuarembó.

De la herramienta se observa que las estrategias bioclimáticas con mayor incidencia que permiten incrementar el tiempo en confort durante el período caluroso son protecciones solares y ventilación natural.

La primera de las estrategias para el período caluroso es no ganar energía, para ello se debe por un lado orientar adecuadamente las aberturas de manera de que la disponibilidad de energía por plano vertical sea la menor posible y colocar protecciones solares que eviten el ingreso de la radiación solar. La siguiente estrategia es disipar la energía contenida en los espacios interiores, esto se logra mediante la ventilación natural, siempre que la temperatura del aire exterior sea menor a la del interior.

### 4.1. Orientación solar de las ventanas.

Las ganancias de radiación solar dependen de la orientación del plano como se pudo observar en los resultados de requerimientos de energía de la Sección 3. Se concluye a partir de ese análisis que con las ventanas ubicadas en dos fachadas opuestas, las mejores

orientaciones son las norte y sur. Como se explicó esto se debe a que en dichas fachadas la radiación solar incidente es menor que en las fachadas este y oeste, en el período caluroso.

Por otro lado, estas orientaciones también son más favorables para reducir la demanda energética de invierno, ya que en ese período la radiación solar aporta al confort, y la orientación norte es la que presenta mayor radiación solar incidente en invierno.

Además de dicho análisis, se simularon casos para evaluar el impacto de la ubicación de las ventanas de los dormitorios. A partir del caso base con las ventanas ubicadas todas en dos fachadas opuestas, se definen los casos D1, D3 y D1D3 en los cuales las ventanas de los dormitorios de D1 y D2 se cambiaban de fachada como se muestra en la Figura 15.

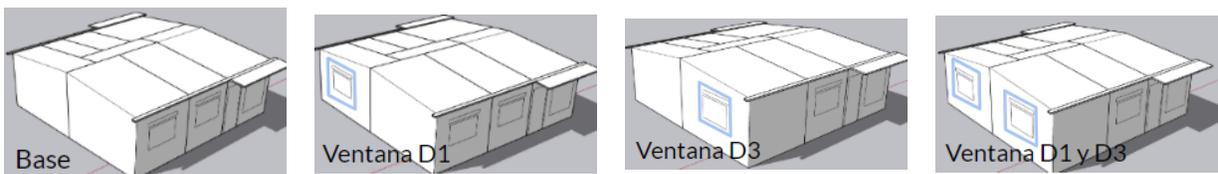


Figura 15. Ubicación de la ventana en los distintos casos considerados

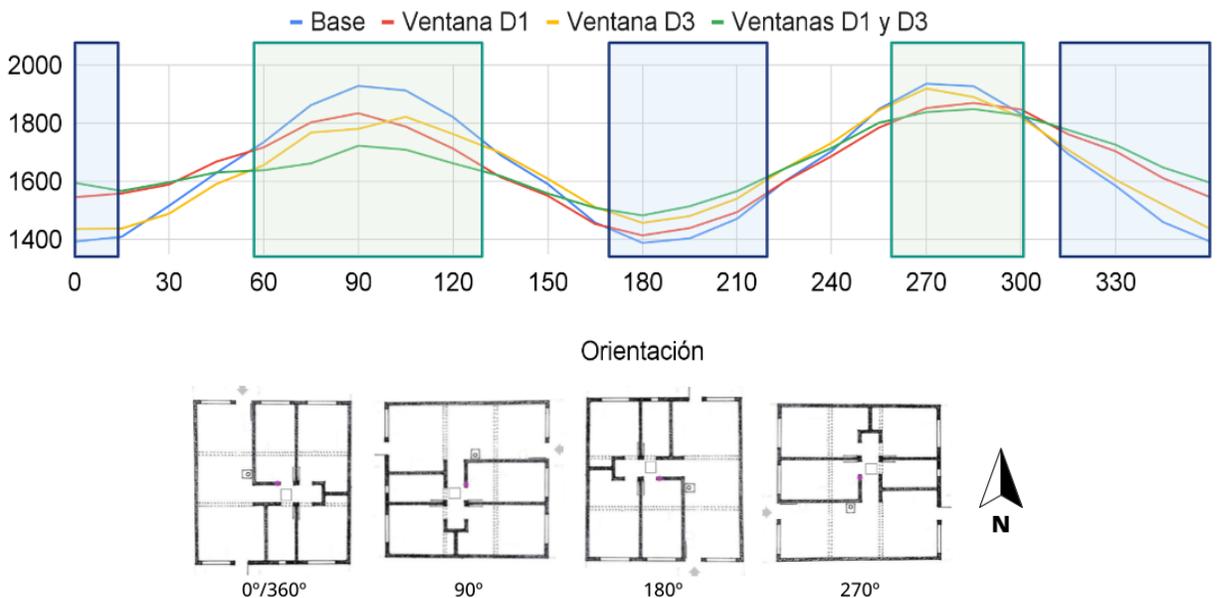


Figura 16. Requerimientos de Energía Anual para refrigeración (kWh) en caso diseño tipológico Tradicional en función de la orientación de la vivienda para distintas ubicaciones de las ventanas.

En la Figura 16 se muestra el resultado del requerimiento de energía para refrigeración en función de la orientación de la vivienda para los distintos casos considerados para la vivienda tradicional. Todos los casos mantienen la misma tendencia en el que las

---

orientaciones 0° y 180° son las más favorables. Para esos casos la ubicación original de las ventanas es la más favorable ya que de por sí están ubicadas en las fachadas de menor incidencia de radiación solar. Según los resultados esto es para orientaciones de -45° a 15° y de 170° a 220°.

Si la orientación de la vivienda es cercana a 90° o 270° conviene modificar la ubicación de las ventanas de ambos dormitorios. Esto sería para los rangos aproximadamente de 60° a 130° para el primer caso y de 260° a 300° para el segundo. La reducción en esos casos es más notoria con la vivienda orientada cerca de 90° ya que en ese caso las ventanas de los dormitorios estarían orientadas en dirección aproximadamente sur, fachada que tiene la menor radiación solar incidente. En otros casos donde las cargas de refrigeración no sean tan predominantes, esto podría variar debido a que en cargas de calefacción sería menos beneficiosa esa ubicación de ventana.

## 4.2. Definiciones de estrategias de mejora de eficiencia energética.

### 4.2.1. M1: Protecciones solares (persianas)

Se simula el uso de las cortinas de enrollar (persianas) en todos los locales con el uso que le da el usuario definido en la Sección 2, a diferencia del caso base donde se contaba con persianas en los dormitorios y cortinas de tela en la sala de estar y cocina. En este punto se identifica si es eficiente o no contar con este dispositivo, así como evaluar su uso. Vale aclarar que el uso eficiente de las protecciones solares se estudia en la siguiente sección.

### 4.2.2. M2: Infiltraciones

Una posible mejora a la vivienda es reducir las infiltraciones (ingreso no planificado de aire a la vivienda) mediante aberturas de mejor calidad. Se asume una reducción a la mitad de la permeabilidad de la vivienda en ambas soluciones constructivas. Se toma como referencia en cada caso el valor medido con el ensayo de BlowerDoor. En la Tabla 12 se detallan los valores originales y nuevos considerados en la mejora.

Tabla 12: Valores de permeabilidad global considerados.

	Caso Base $n_{50}(RPH)$	Mejora M2 $n_{50}(RPH)$
Tradicional	10,34	5,17
Madera	10,38	5,19

---

#### 4.2.3. M3: Masa térmica para refrescamiento

Se simula la colocación de masa térmica para refrescamiento en el diseño tipológico Cardal Madera.

Se considera que las paredes del baño son construidas en mampostería para aumentar la inercia térmica de dicha vivienda, las mismas se indican en rojo en la Figura 17. Esta mejora solo es considerada en el diseño tipológico en Madera, en la Tabla 13 se resume la inercia térmica total de las paredes en los distintos casos.

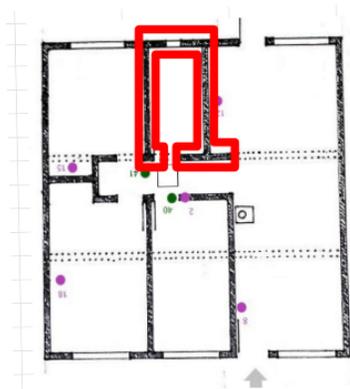


Figura 17: Paredes para las cuales se modifica la inercia

Tabla 13: Inercia térmica de las paredes en los distintos casos

Caso	Capacidad térmica total paredes
Tradicional	$mc_p = 8.01 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$
Madera	$mc_p = 2.08 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$
Madera con mejora M3	$mc_p = 3.31 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$

#### 4.2.4. Absortividad solar ( $\alpha_s$ ): M4 techo y M5 paredes

Esta propiedad se define como la fracción de irradiancia solar recibida que es absorbida por un cuerpo, los valores considerados para el techo han sido tomados de normativa y de proveedores internacionales. En la Tabla 14 se muestra una selección de posibles acabados o pinturas y sus respectivas propiedades.

Tabla 14: Absortancia solar Fuente: traducido de <https://coolroofs.org/resources/end-user-faqs>

	Reflexión inicial solar		Emitancia térmica inicial (o absortancia)	
	%		%	
	min	max	min	max
Blanco brillante	40	77	82	97
Blanquecino	29	67	9	89
Verde	25	46	75	87
Azul	25	32	83	87
Rojo	21	46	82	97
Metálico	24	78	30	85
Fuente: traducido de <a href="https://coolroofs.org/">https://coolroofs.org/</a>				
Metálico	35	60	20	30
Repartido de acdto térmico FADU, 2001				

La mejora M4 ( $\alpha_s$  del techo) corresponde reducir dentro de lo posible la radiación solar absorbida en el techo. Se pasa de  $\alpha_s = 0,5$  del caso base a  $\alpha_s = 0,22$  que según la Tabla 14 es posible alcanzar.

La mejora M5 ( $\alpha_s$  de paredes exteriores) corresponde también a reducir dicha fracción. En el caso de la vivienda en diseño tipológico tradicional el valor original es  $\alpha_s = 0,55$  y en la vivienda en diseño tipológico en Madera es  $\alpha_s = 0,6$ , pasando a ser en ambos casos el valor de mejora  $\alpha_s = 0,10$ . Este valor corresponde a una superficie muy reflectiva que puede ser difícil de alcanzar en terminaciones reales, sin embargo se utiliza como caso límite para analizar el posible alcance de ésta medida.

#### 4.2.5. M6: Transmitancia de paredes

La mejora de la aislación en las paredes corresponde en ambos casos a aumentar el espesor del aislante, considerando los espesores de aislante disponibles en el mercado. En el caso de solución de muros en sistema Tradicional se pasa de 30mm de EPS a 80mm y en el caso de muros con paneles de Madera se pasa de 50mm de lana de vidrio a 100mm. En la Tabla 15 se resumen las transmitancias de las paredes en cada caso.

Tabla 15: Transmitancia paredes en casos base y mejora M6

	Caso Base $U_p (W/m^2K)$	Mejora M6 $U_p (W/m^2K)$
Tradicional	0,844	0,411
Madera	0,664	0,384

---

#### 4.2.6. M7: Transmitancia de techos (cielorraso)

En ambos casos la mejora de la aislación en el techo corresponde a incrementar el espesor de la aislación, considerando los espesores de aislante disponibles en el mercado se pasa de 50mm de lana de vidrio a 100mm. Manteniendo el resto de materiales sin modificar. Esto resulta en que la transmitancia del techo pasa en ambos casos de  $U_T = 0,851 W/m^2K$  a  $U_T = 0,420 W/m^2K$

#### 4.2.7. M8: Doble Vidrio Hermético (DVH)

Se considera también sustituir el vidrio simple por vidrio doble hermético en toda el área vidriada. Esto implica doble vidrio con cámara de aire de 13 mm. De esta forma la transmitancia de las ventanas se reduce de  $U_V = 5,87 W/m^2K$  a  $U_V = 2,71 W/m^2K$  para ambos diseños tipológicos. Por otro lado la transmisividad de radiación solar se reduce levemente de  $\tau_s = 0,89$  a  $\tau_s = 0,80$ .

#### 4.2.8. Combinación de medidas de eficiencia energética

Se realizan también simulaciones que combinan estrategias para evaluar el efecto en los requerimientos energéticos.

Se realiza un caso que combina las tres medidas que dan mayor ahorro, que como se verá en la siguiente sección corresponde las medidas M4 (absortividad solar techo), M5 (absortividad solar paredes) y M7 (transmitancia techo) y se denomina "Techo y Paredes". Finalmente se incluye un caso que combina todas las estrategias consideradas.

### 4.3. Resultados de las simulaciones con mejoras

En el gráfico de la Figura 18 se presenta el requerimiento anual de energía estimado en los distintos casos promediados entre todas las orientaciones simuladas. En todos los casos se mantiene que el requerimiento de la vivienda con el diseño tipológico en madera (cerramiento horizontal con cámara de aire) es menor.

Requerimiento Anual (kWh)

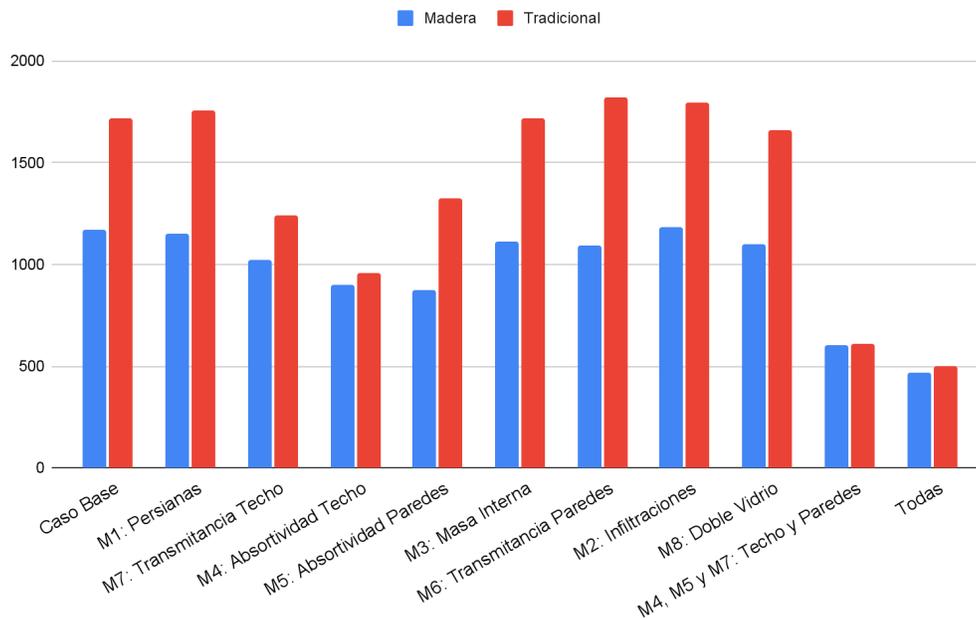
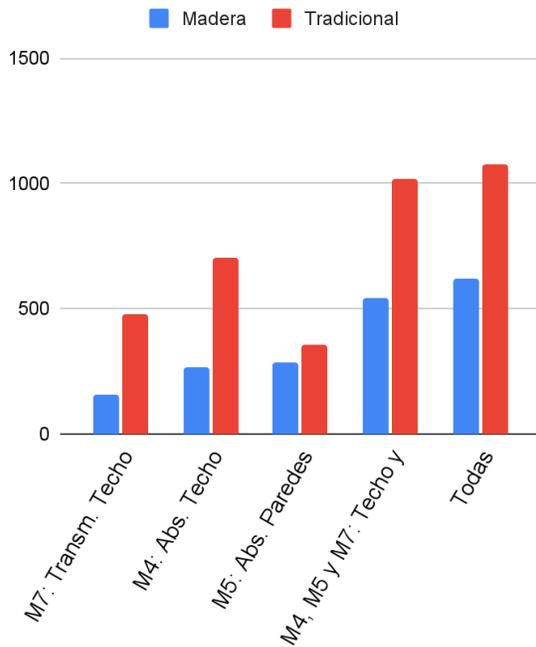


Figura 18. Requerimientos de energía total anual para las estrategias de mejora propuestas promediada según las orientaciones

Se puede observar que las mayores disminuciones de requerimientos se dan en las medidas M4 (absortividad techo), M5 (absortividad paredes) y M7 (transmitancia techo). Por otro lado las medidas M3 (masa interna solo en el caso Madera) y M8 (dvh) presentan un ahorro muy pequeño y la medida M6 (transmitancia paredes) presenta un ahorro pequeño en el diseño tipológico en madera y un aumento también pequeño en el tradicional. Finalmente las medidas M1 (persianas) y M2 (permeabilidad) muestran un pequeño incremento de los requerimientos energéticos.

Se puede observar también que al combinar medidas de eficiencia energética es posible acumular la reducción de requerimientos. Al combinar las medidas más efectivas de Techo y Paredes (M4, M5 y M7) se obtienen, respecto a los casos base, requerimientos de casi la mitad en el diseño tipológico en Madera, y de la tercera parte en el diseño tipológico Tradicional, con lo cual se equipara el desempeño de ambas viviendas. Al combinar todas las medidas se obtiene una reducción aún menor pero no muy significativa.

Ahorro (kWh): Orientación 0°



Ahorro (kWh): Orientación 90°

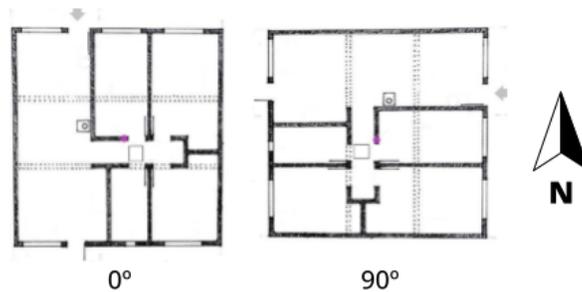
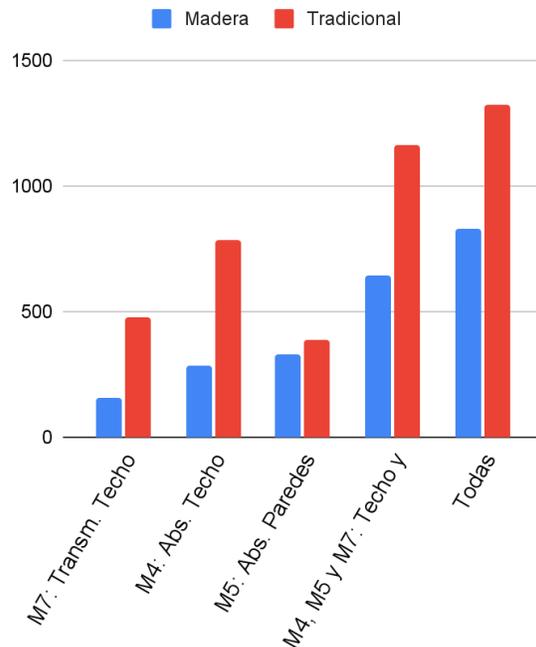


Figura 19. Ahorro anual de requerimientos energéticos para las estrategias más relevantes para dos orientaciones particulares

En los gráficos de la Figura 19 se presenta el ahorro anual para las tres medidas que presentan mejor comportamiento (M4, M5, M7 y combinaciones) en dos orientaciones diferentes. Se puede observar que el ahorro estimado para las medidas individuales seleccionadas no varía significativamente con la orientación, aunque se observa que para las orientaciones más desfavorables el ahorro es algo mayor en todos los casos.

#### 4.3.1. Mejoras en el Techo

Como se puede observar en el balance de energía de la vivienda (ver Figura 20), el calor que ingresa por el techo representa la principal carga térmica de la vivienda en el período caluroso, superando al calor neto que ingresa por ventanas y a las cargas internas

(personas y equipos). Las paredes presentan un flujo neto aproximadamente nulo, y el calor se retira debido a pérdidas por el piso, por la renovación de aire debido a infiltraciones y principalmente gracias al equipo de acondicionamiento de aire (HVAC).

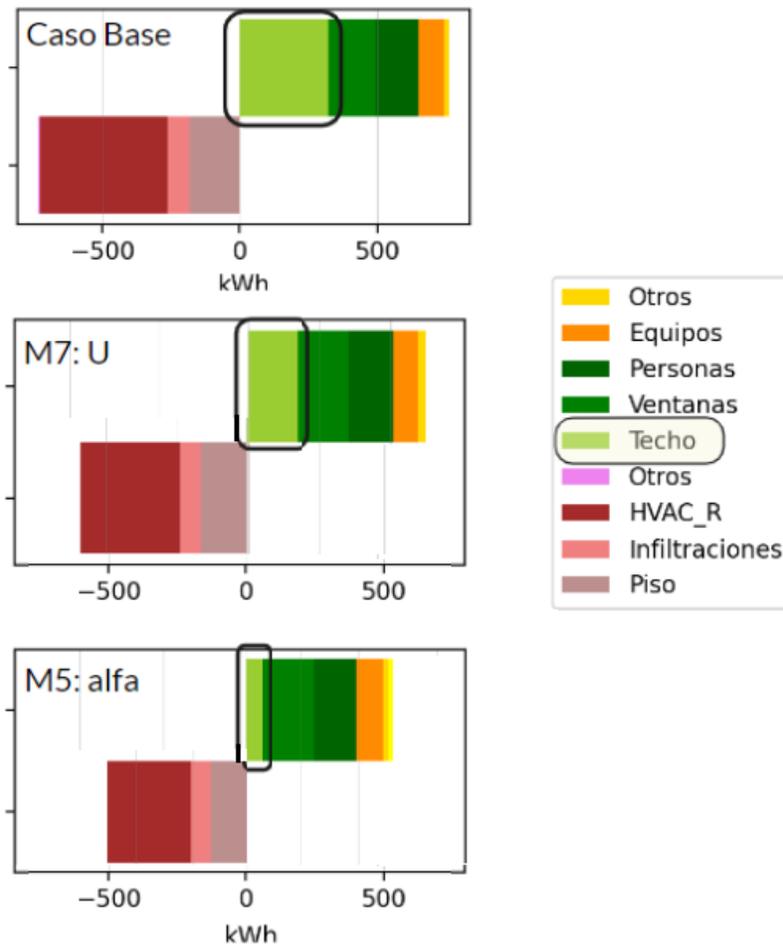


Figura 20. Aporte de energía de las distintas componentes en el periodo caluroso en la vivienda tradicional para orientación 0° para caso base y mejoras M5 y M7.

La importancia del techo ya se resaltó al comparar ambas resoluciones tipológicas. Debido a que el diseño tipológico en Madera tiene una cámara ventilada en su techo, el ingreso de calor en ese caso era menor lo que significaba un menor consumo energético. Es razonable esperar también que las estrategias que busquen reducir ese calor que ingresa por el techo generen una reducción del requerimiento energético de la vivienda.

Este elevado ingreso de calor por el techo puede reducirse de dos formas: reduciendo la radiación solar que se absorbe en el techo (M5) y reduciendo la transmitancia desde la superficie exterior del techo al interior de la vivienda (M7). En la Figura 20 se puede observar que ambas estrategias efectivamente reducen esa carga produciendo una disminución del requerimiento energético.

## 5. Evaluación del usuario

Para evaluar el impacto del comportamiento del usuario se tomó como referencia el caso Base del diseño tipológico tradicional. Para dicho caso se analizan el Usuario Tipo (definido en la Sección 2) y el Usuario Eficiente, para el cual se modifica el comportamiento respecto a la apertura de ventanas para ventilación y al uso de cortinas y persianas. En ambos usuarios la cantidad de personas, el cronograma de ocupación y las cargas internas de equipos se mantienen como se definieron en la Sección 2.

El Usuario Eficiente definido para este estudio se basa en trabajos previos del equipo de investigaciones [3,4]. En las Tablas 16 y 17 se detalla el comportamiento de los usuarios respecto a las cortinas y persianas y respecto a la abertura de ventanas, diferenciando según la ocupación de la casa y de las distintas zonas.

*Tabla 16: Comportamiento de los usuarios respecto a las protecciones solares.*

Si hay gente en la casa		Si no hay gente en la casa
Zonas ocupadas	Zonas sin ocupar	Todas las zonas
Cerradas si está encendido el HVAC en modo frío. Abiertas en caso contrario.	Cerradas en el período de calor. Abiertas en el período frío.	Siempre cerradas.

*Tabla 17: Comportamiento de los usuarios respecto a la ventilación natural.*

Si hay gente en la casa		Si no hay gente en la casa
Zonas ocupadas	Zonas sin ocupar	Todas las zonas
Si la temperatura es menor que la de confort están cerradas. Si la temperatura es mayor a la de confort y menor al límite superior y el HVAC está apagado, están abiertas. Si el HVAC está encendido están cerradas.	Siempre cerradas.	Siempre cerradas.

En las siguientes subsecciones se presentan los resultados de las simulaciones con el fin de comparar los requerimientos energéticos de cada tipo de usuario y para evaluar si las medidas de eficiencia energética siguen siendo beneficiosas con un usuario más eficiente.

## 5.1. Comparación usuarios en caso Base

En los gráficos de la Figura 21 se presentan los requerimientos de energía de refrigeración y calefacción en función de la orientación. El Usuario Eficiente reduce considerablemente el requerimiento de refrigeración para todas las orientaciones, pero incrementa (muy poco) el requerimiento de calefacción. Esto se debe a que el Usuario Eficiente actúa de manera más adecuada principalmente en verano, con un mejor uso de las persianas y cortinas para evitar carga térmica por las ventanas y con una estrategia de ventilación más acertada que permite disipar más el calor que ingresa a la vivienda.

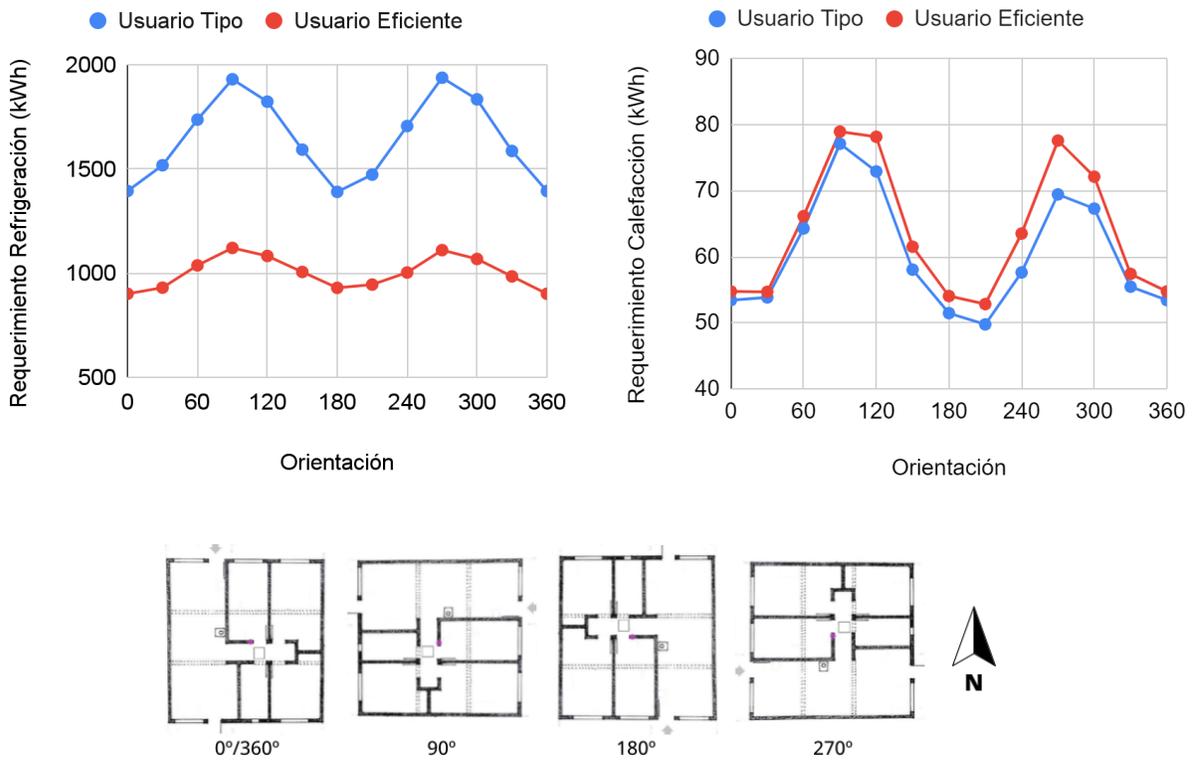


Figura 21. Comparación de requerimientos de Energía Anual (kWh) según el usuario.

La reducción de requerimientos de refrigeración es más acentuada en las orientaciones 90° y 270°, para las cuales el calor ganado por las ventanas es mayor y por lo tanto el uso eficiente de las protecciones tiene más impacto.

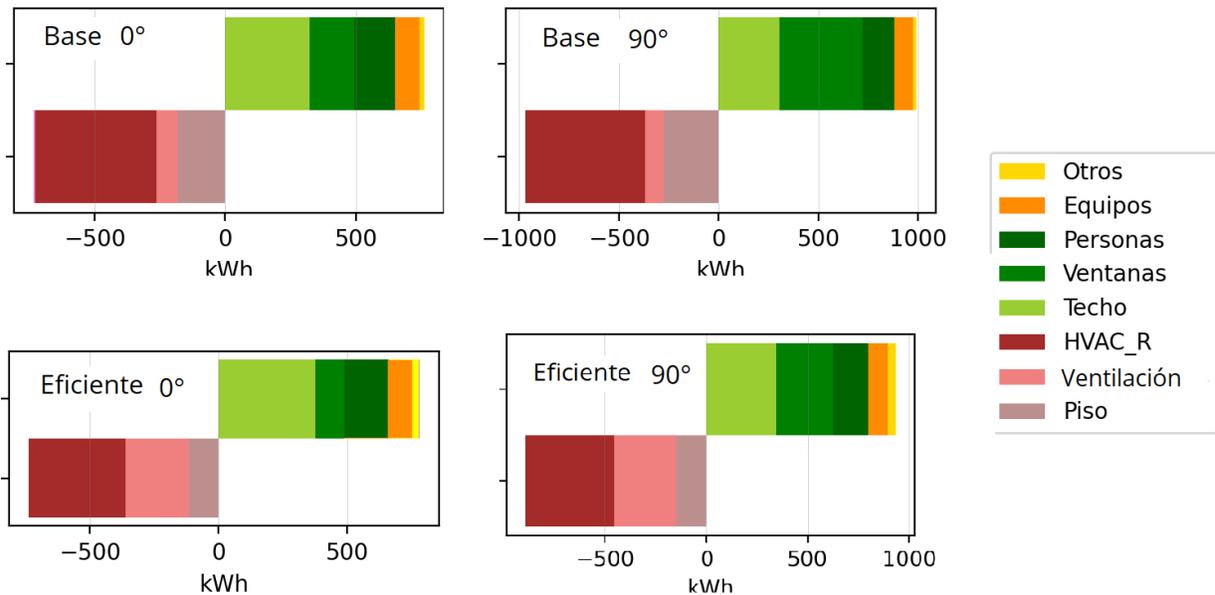


Figura 22: Comparación de aportes de los distintos componentes según el usuario para las orientaciones 0° y 90° en el período caluroso.

Al comparar los balances de energía de cada caso presentados en la Figura 22 se puede observar este efecto. Para ambas orientaciones el aumento de pérdidas de calor por ventilación natural es considerable. En la orientación 0° es la causa principal de la reducción de los requerimientos de refrigeración. Si se compara el calor ganado por las ventanas, en ambas orientaciones se observa una reducción, pero es más notoria en la orientación 90° en la cual las ventanas tienen las orientaciones de mayor incidencia de radiación solar. Cabe mencionar que, aunque en menor medida los otros flujos de calor también se ven alterados, lo cual se debe a que los valores de temperatura en el interior no son iguales para ambos usuarios, ya que gracias a la ventilación (en particular en la noche) el interior de la vivienda para el Usuario Eficiente toma valores más bajos.

## 5.2. Impacto del usuario en las mejoras

En la Figura 23 se presenta el requerimiento anual total al aplicar las estrategias de mejora definidas en la Sección 4.2 pero para el Usuario Eficiente. Al igual que para el usuario tipo las medidas aplicadas al techo (transmitancia y absortividad) y la medida de absortividad en las paredes generan una importante reducción en los requerimientos energéticos. De esta manera se tiene que aplicar estrategias en esa línea es compatible con trabajar sobre el uso de la vivienda, y que ambas cosas combinadas suman a la reducción de requerimientos energéticos.

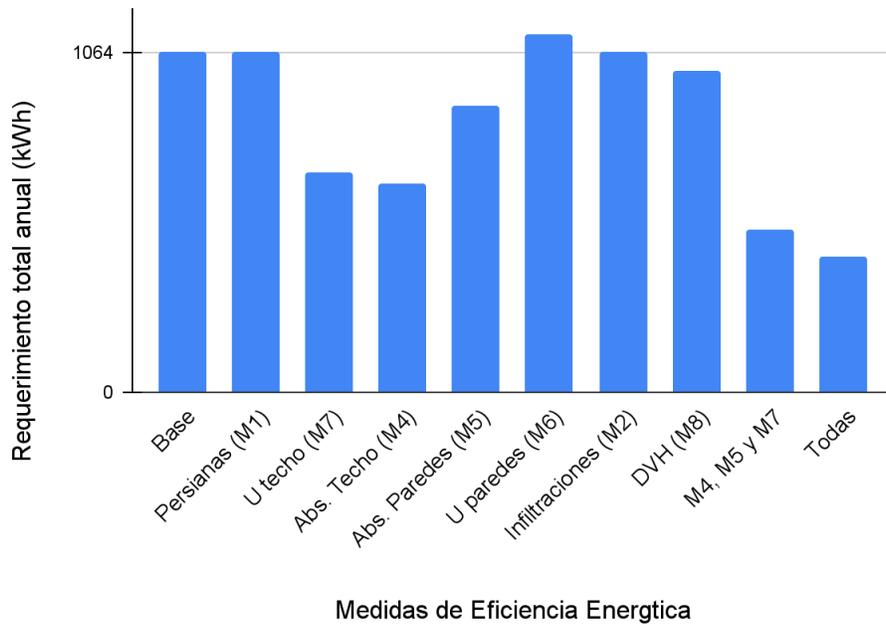


Figura 23. Requerimientos de Energía Anual (kWh) para distintas medidas de eficiencia energética para el usuario eficiente.

## 6. Evaluación de modificaciones geométricas

En esta sección se analiza el impacto de modificación geométricas de la vivienda. Las variaciones analizadas son el ancho de los aleros y el factor de hueco, que hace referencia al tamaño de las aberturas en relación al de las superficies opacas. Para ambas opciones se tomó como caso de referencia la tipología de construcción tradicional con usuario eficiente. Ambas modificaciones impactan directamente en la radiación solar que ingresa a la vivienda a través del área vidriada. En el caso de los aleros se modifica la sombra que se genera en las ventanas, y en el caso del factor de hueco se modifica directamente el área de las ventanas.

### 6.1. Aleros

Se analizó la situación de aumentar el ancho de los aleros existentes y llevarlos a 1,28m en toda la fachada. En la Figura 24 se muestra la vivienda en el caso original y en el caso modificado.

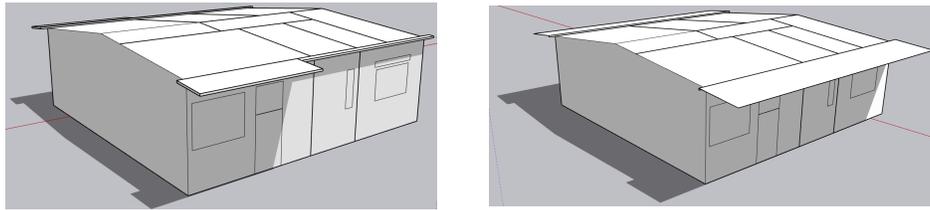


Figura 24. Izquierda: vista del caso base. Derecha: vista del caso con alero extendido.

En la Figura 25 se presentan los resultados obtenidos de requerimiento de refrigeración y calefacción para el caso base y el caso con alero extendido. Se observa que en el caso con alero extendido los requerimientos de refrigeración son menores y dependen menos de la orientación respecto al caso base. Esto se debe a que la ganancia de energía debido a la radiación solar entrante por las ventanas se reduce gracias a la presencia del alero.

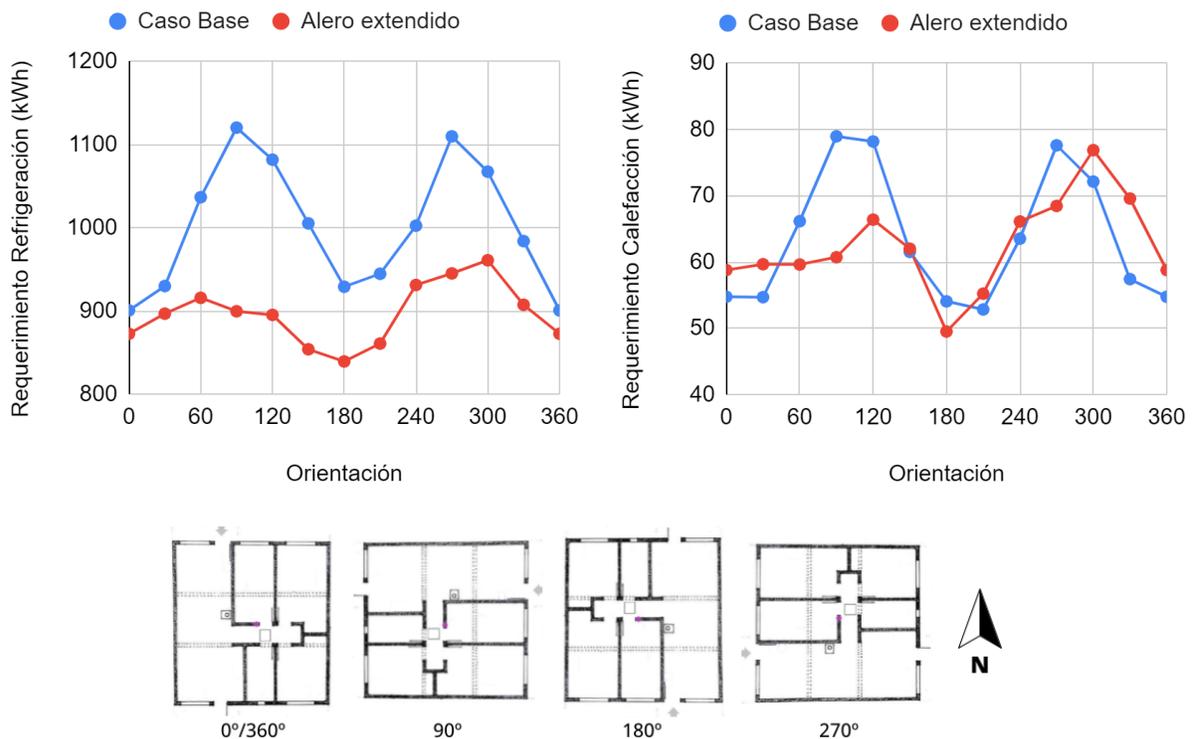
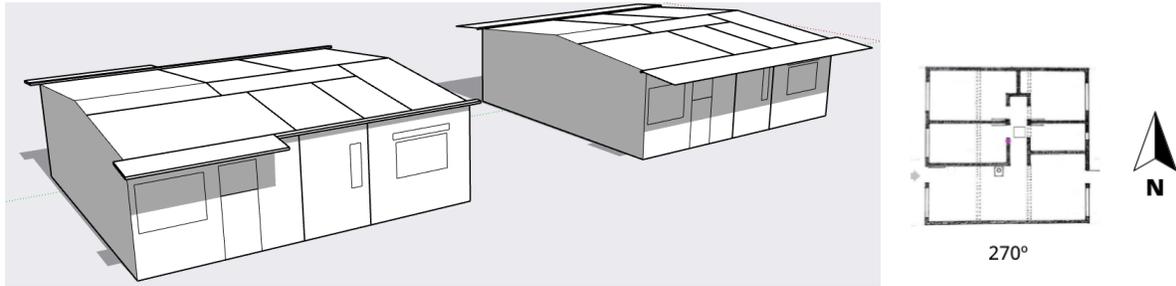


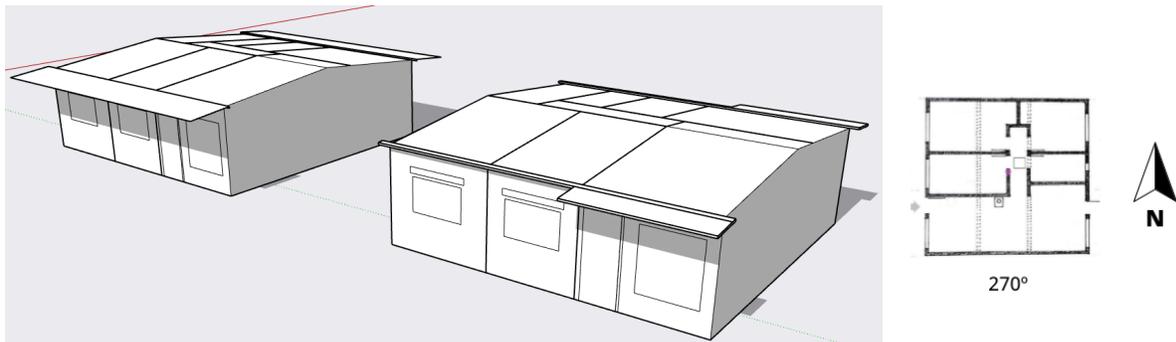
Figura 25. Requerimiento de refrigeración y calefacción para el caso base y caso con alero extendido para la vivienda tradicional considerando el usuario eficiente.

La reducción es más pronunciada para las orientaciones de vivienda de 90° y 270°, ya que son las orientaciones en las que las ventanas están orientadas este y oeste, y por lo tanto en las que reciben mayor radiación solar. En las imágenes (a) y (b) de la Figura 26 se muestra como se modifica el área sombreada al modificar el alero cuando la vivienda está orientada 270°. Se puede ver que para el 1 de enero desde las 9:00hs toda el área vidriada del caso con alero extendido está sombreada, mientras que en el caso base

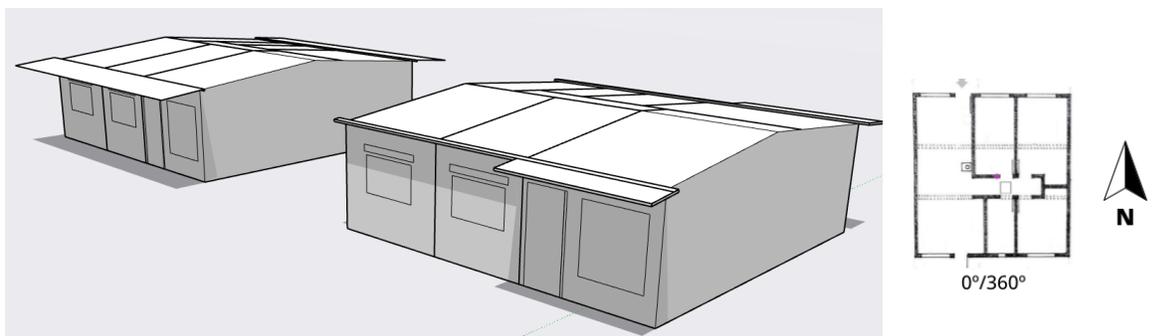
aproximadamente el 70% aún se encuentra expuesta al sol. En la imagen (c) por otro lado se observa que para la orientación 0°, al mediodía toda el área de la fachada norte se encuentra sombreada en el caso con alero extendido, mientras que para el caso base gran parte de la fachada está expuesta al sol, incluyendo más de la mitad del área de las ventanas de los dormitorios.



(a) 1 de Enero 9:00hs, fachada este vivienda orientada 270°



(b) 1 de Enero 15:00, fachada oeste vivienda orientada 270°



(c) 1 de Enero 12:09, fachada norte vivienda orientada 0°

Figura 26. Vistas del caso base y caso con alero extendido para distintas orientaciones de vivienda y horarios para el día 1 de enero.

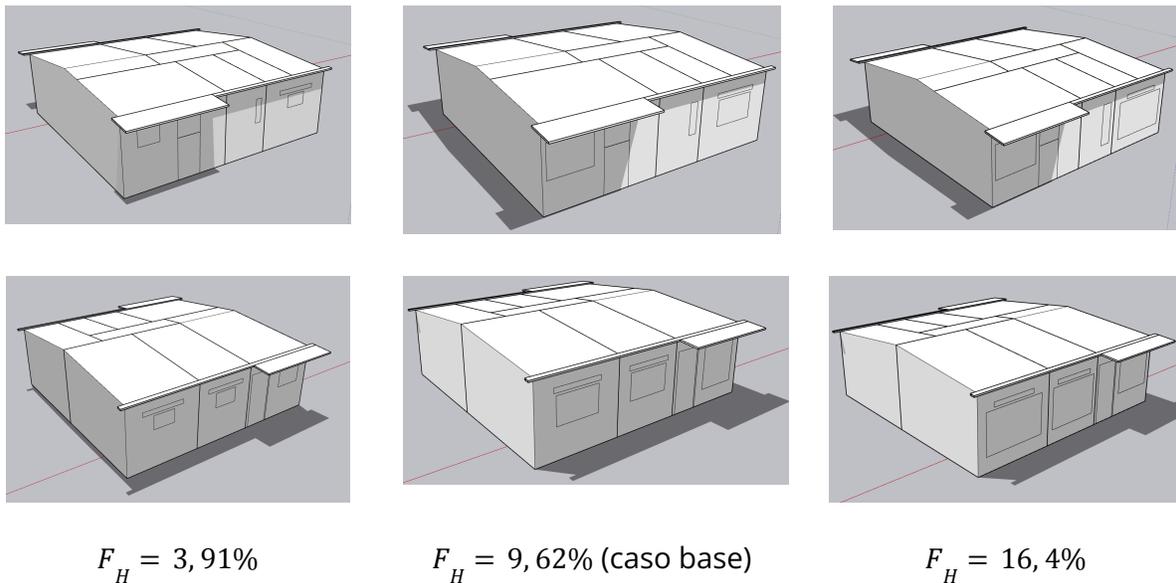
## 6.2. Factor de Hueco

Para estudiar la influencia del tamaño de las aberturas se definieron dos variaciones respecto al caso base, aumentando y disminuyendo el factor de hueco ( $F_H$ ). En este estudio

---

se utilizó como definición de factor de hueco a la relación entre el área de aberturas y el área de cerramiento vertical.

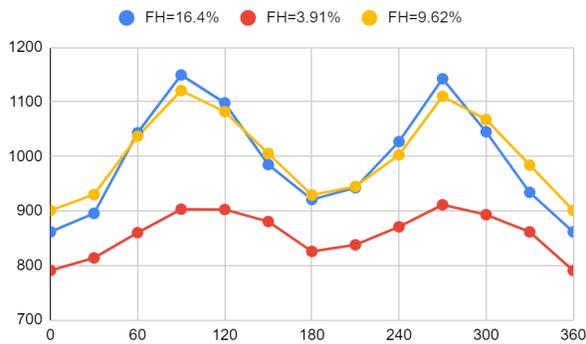
Para el caso base se tiene un valor de factor de hueco de  $F_H = 9,62\%$ . Los otros dos casos analizados corresponden a  $F_H = 3,91\%$  y  $F_H = 16,4\%$ . Para tener una referencia de que implica este valor en la Figura 27 se muestran distintas vistas de cada caso donde se pueden observar los tamaños de aberturas.



*Figura 27. Vistas de los casos con diferentes valores de factor de hueco.*

En la Figura 28 se presentan los resultados obtenidos para los tres casos. En cuanto a las cargas de refrigeración se observa una notoria disminución de los requerimientos al reducir el factor de hueco. Esto se debe a que el calor que ingresa por las ventanas se reduce al disminuir su área. Esta reducción es mayor para las orientaciones de vivienda de  $90^\circ$  y  $270^\circ$  ya que en ese caso las ventanas están orientadas en las fachadas donde incide más radiación solar. En el caso que el factor de hueco es mayor, la carga de refrigeración es muy similar al caso base. Para el invierno las variaciones de requerimientos son más moderadas. Estos resultados no parecen arrojar que la variación del tamaño de aberturas pueda ser una estrategia para reducir requerimientos de energía, considerando que habría que ir a tamaños de ventana pequeños que podrían no cumplir otros requerimientos de diseño asociados a la iluminación y ventilación de las zonas de la vivienda.

Requerimientos de refrigeración (kWh)



Requerimientos de calefacción (kWh)

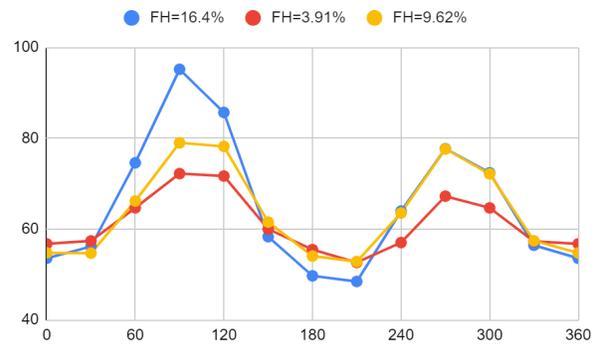


Figura 28. Requerimiento de refrigeración y calefacción para distintos valores de Factor de Hueco para la vivienda tradicional considerando el usuario eficiente.

## 7. Conclusiones

Para todos los casos se observó que el período caluroso es el más exigente desde el punto de vista térmico, tanto si se mira el confort en oscilación libre como si se mira la demanda de energía con la vivienda acondicionada.

El diseño tipológico de madera presenta menor demanda energética que la de construcción tradicional debido principalmente a la inclusión de la cámara ventilada en el techo. Si se comparan ambas soluciones constructivas incluyendo cámara ventilada en las dos tipologías, la de mejor desempeño es la de construcción tradicional (caso combinado). Esto también se cumple si se analizan las tipologías sin acondicionamiento térmico. En la vivienda de madera se estiman menos grados-hora de desconfort que en la tipología de construcción tradicional. En el caso de construcción tradicional con cámara ventilada en el techo resultan aún menos grados-hora de desconfort.

Existe la posibilidad de ahorrar energía con la aplicación de estrategias de diseño bioclimático. La primera medida de eficiencia energética debe ser una adecuada elección de la orientación de la vivienda. La fachada principal orientada al norte o sur presenta los mejores resultados para esa ubicación de ventanas en dos tipologías Cardal en madera y tradicional. Además se encontraron posiciones preferenciales para las ventanas de los dormitorios que favorecen el desempeño térmico de la vivienda.

---

Las mejoras con más impacto son las del techo. Tanto el aumento del espesor de aislante como la reducción de la absorción solar generan una importante reducción en la demanda. La reducción de la absorción en las paredes también genera una reducción de la demanda. Se pudo comprobar también que la combinación de las medidas tiene un efecto acumulativo en la reducción de la demanda energética.

Se mostró que un usuario más eficiente puede reducir considerablemente los requerimientos de energía. Además, también tiene un efecto acumulativo de ahorro si se lo combina con estrategias de eficiencia energética. Por último, tomando como referencia la tipología de solución constructiva tradicional con un usuario eficiente, se estimó que la incorporación de aleros puede reducir significativamente el requerimiento energético para acondicionamiento térmico, especialmente en las orientaciones de vivienda más desfavorables (90° y 270°).

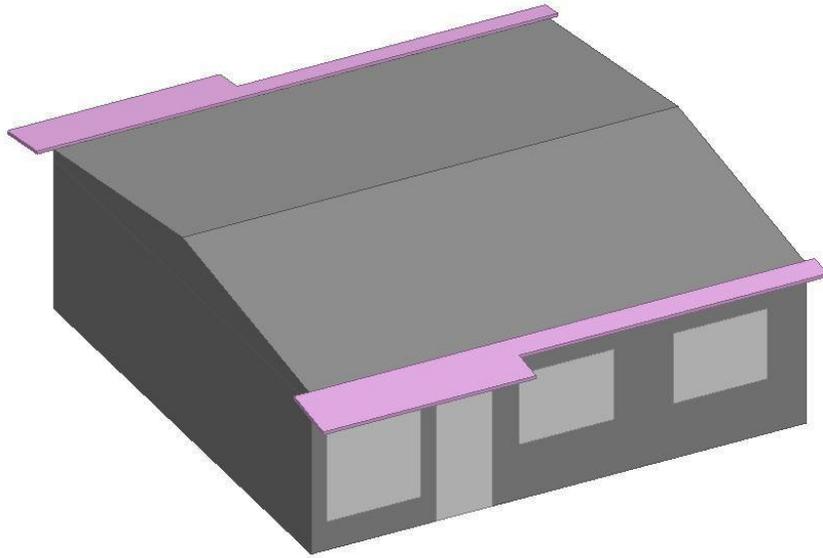
---

## Referencias

- [1] Alonso Suárez R., Bidegain M., Abal G., y Modernell P. Año meteorológico típico para aplicaciones de energía solar - amtues series horarias típicas para 5 sitios del Uruguay. Reporte Técnico, Laboratorio de Energía Solar (Uruguay), 2016.
- [2] Gervaz, S. Modelling of energy requirements for thermal conditioning in the Uruguayan residential sector. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.
- [3] Pena, G., Kosut, J., Favre, F. y otros. Estudio interdisciplinario para la validación de criterios de diseño de eficiencia energética en los programas de vivienda [en línea]. Montevideo : Udelar. FI : Udelar. FADU : Udelar. FCS, 2022
- [4] Curto-Risso, P., Favre Samarra, F., Gervaz Canessa, S. y otros. Eficiencia energética en el sector residencial: situación actual y evaluación de estrategias de mejoramiento para distintas condiciones climáticas en el Uruguay [en línea]. Montevideo : Udelar. FI. : Udelar. FADU. : Udelar. CENUR, 2021.

# CAPÍTULO 4: ASPECTOS SOCIALES

---



---

## Índice del capítulo

<b>Resumen</b>	<b>122</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>123</b>
<b>2. Nociones centrales</b>	<b>123</b>
2.1. Características básicas e información sociodemográfica.	124
2.2. Caracterización de la vivienda anterior	124
2.3. Caracterización de la vivienda actual	125
2.4. Retroalimentación con MEVIR	128
<b>3. Metodología, aspectos éticos y de campo</b>	<b>128</b>
<b>4. Análisis</b>	<b>129</b>
4.1. Características sociodemográficas básicas de las personas informantes, y del total de las personas que viven en los hogares encuestados	129
4.2. Caracterización de la vivienda anterior	135
4.3. Características de la vivienda actual	143
4.4. Retroalimentación con MEVIR	161
<b>5. Conclusiones</b>	<b>167</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>171</b>

---

## Resumen

El presente capítulo resume los principales resultados de la aplicación de un formulario de encuesta a 16 viviendas MEVIR, ocho correspondientes al Modelo Tradicional de construcción en Cuchilla del Ombú (Tacuarembó) y ocho al nuevo Modelo Liviano de madera, en La Canilla (Rivera). Las encuestas fueron realizadas en un período caluroso y otro frío. En el caso de las viviendas que fueron monitoreadas, el formulario se aplicó en ambos períodos mientras que en las otras viviendas se generaron dos grupos de similares características entrevistando a un grupo en el período caluroso y a otro en el período de frío.

El análisis de los datos es descriptivo y tuvo como objetivo abordar dimensiones sociales respecto al uso de la vivienda y aportar información para la estimación del comportamiento de los usuarios para los modelos computacionales. En el presente informe también se agregan datos sobre las percepciones acerca de los talleres ofrecidos por MEVIR y el vínculo con la organización por parte de los hogares.

Se exponen las principales dimensiones de la encuesta y las principales características para ambos períodos, haciendo énfasis en las similitudes y diferencias entre ambas tipologías y ambos períodos. Los datos comportamentales, del uso de la vivienda y las características de los hogares, son aspectos relevantes para la investigación ya que abonaron las simulaciones y caracterizaciones de los usuarios que se presentan en el Capítulo 3.

---

## 1. Introducción

En el marco de la presente consultoría, cuyo objetivo general plantea la realización de un análisis comparativo del desempeño térmico y energético de las viviendas de tipología “Cardal” de MEVIR, se incluyó un análisis acerca de la dimensión social del uso de las viviendas. El presente informe busca desarrollar los principales hallazgos de carácter descriptivo en relación a las siguientes dimensiones: las características de uso de las viviendas, confort de las personas con el uso de las viviendas, intervenciones de MEVIR a través de la formación y provisión de insumos vinculados a eficiencia energética. Se considera que las mismas constituyen una parte relevante para comprender el desempeño térmico de las viviendas, complementariamente a los aspectos estrictamente materiales. En primer lugar, porque abonan al modelo que resultará central para determinar los resultados comparativos entre tipologías. En segundo lugar, porque contribuyen a reportar aspectos sociales en relación a las viviendas, los modos de uso, la conformidad con la vivienda que les brinda MEVIR teniendo en cuenta la vivienda anterior. En tercer lugar, porque permiten conocer la satisfacción de las usuarias y usuarios no sólo en relación a las viviendas, sino también respecto a MEVIR, contribuyendo a la retroalimentación entre la investigación desarrollada en el marco de la presente consultoría, la organización y la mirada de las personas usuarias.

El documento se estructura de la siguiente manera: en una primera parte presentamos las nociones centrales que fueron relevadas en el formulario y su operacionalización. En una segunda parte, se presenta un apartado metodológico que contiene la descripción del método, la técnica utilizada, el alcance de los resultados y los aspectos éticos del trabajo. En una tercera parte, se da paso al análisis de los datos para cada una de las dimensiones relevadas. Finalmente, se presentan los principales hallazgos y su vínculo con los futuros avances del proyecto.

## 2. Nociones centrales

Las principales dimensiones abordadas en el formulario fueron:

1. Características básicas e información sociodemográfica de los integrantes del hogar
2. Caracterización de la vivienda anterior
3. Vivienda actual

---

#### 4. Retroalimentación con MEVIR

##### **2.1. Características básicas e información sociodemográfica.**

Las características básicas relevadas fueron: la localidad, número de hornero, tipo de modelo de construcción (tradicional y liviano de madera), período (caluroso o frío), cantidad de personas que viven en la vivienda. Respecto a los aspectos sociodemográficos se relevó: relación de parentesco con la persona informante<sup>1</sup>, identidad de género, ascendencia étnico-racial, edad, necesidades de cuidados especiales por motivos de enfermedades crónicas o situación de dependencia, máximo nivel educativo alcanzado, cantidad de personas que asisten a centros educativos, tipo de centro y días que concurren y cantidad de horas, cantidad de personas que trabajan de manera remunerada, ocupación, rama de actividad, cantidad de días y horas diarias que trabajan, situación laboral de las personas en el hogar y principal responsable de la realización de las tareas domésticas.

##### **2.2. Caracterización de la vivienda anterior**

En la segunda dimensión, las características de la vivienda anterior se relevaron variables de carácter objetivo y subjetivo. En cuanto a los aspectos objetivos, se consultó acerca de la localidad donde residían en la vivienda anterior a la actual, los materiales predominantes en paredes exteriores y techos, la presencia de problemas en la vivienda anterior y equipamiento de calefacción en la vivienda anterior. Respecto a los aspectos subjetivos, dos preguntas de carácter abierto consultaron acerca de tres principales aspectos que considerara mejores de la vivienda anterior en relación a la actual y tres principales aspectos que considera que son mejores en la vivienda actual respecto a la anterior. También se indagó acerca de cuán conforme estaban con la vivienda anterior y acerca de la percepción de cuán calurosa o fría era la misma. Considerar este conjunto de variables es relevante porque la valoración de la vivienda actual depende en gran medida de la historia habitacional de los usuarios.

El modelo teórico para evaluar la calidad del diseño de la vivienda actual toma el enfoque del pasado-futuro de las viviendas de Pérez (2011: 100). Es decir que la vivienda queda

---

<sup>1</sup> Por persona informante, se seleccionó a aquella persona que se auto identifica dentro de la vivienda cómo la más conocedora de las dinámicas familiares y el uso de la vivienda y es la persona que contestó la encuesta.

condicionada a la evolución de las necesidades y expectativas de los usuarios, las cuales se identifican en el pasado por sus tradiciones, que luego se evidencian en el presente por sus gustos, costumbres y preferencias. Si bien el estudio no relevó de manera exhaustiva las preferencias, costumbres, gustos y tradiciones de las personas en relación a las viviendas anteriores, se indagó sobre los aspectos que se consideraban positivos y negativos de la vivienda anterior y también de la actual y se relevaron percepciones de la temperatura de la vivienda anterior y se planteó una lista de problemas de la vivienda anterior. Esto permitió conocer aspectos materiales de las viviendas anteriores, así como la experiencia subjetiva de los aspectos positivos o negativos de la vivienda anterior, posibilitando la comparación y “control” de las percepciones de las viviendas actuales. En la tabla 1 se resumen los indicadores de la caracterización de la vivienda anterior.

*Tabla 1. Resumen de indicadores.*

<b>Dimensiones</b>	<b>Sub</b>	<b>Indicadores</b>
Caracterización vivienda anterior	Objetivas	Localidad vivienda anterior
		Tipo de vivienda
		Materiales predominantes en paredes externas
		Materiales predominantes en techos
		Problemas vivienda anterior
		Equipos de calefacción de la vivienda anterior
	Subjetivas	3 aspectos más prácticos de la vivienda anterior en relación a la actual
		3 aspectos más incómodos de la vivienda anterior en relación a la actual
		Conformidad con la vivienda anterior
		Percepción de frío y calor en la vivienda anterior

### **2.3. Caracterización de la vivienda actual**

Para caracterizar a la vivienda actual se relevaron aspectos de carácter subjetivo y objetivo. Respecto a los primeros, se consultó acerca de cuán conforme están con la vivienda en general, y en particular con aspectos como: la comodidad de la vivienda en general, la iluminación natural de la vivienda, la temperatura de la vivienda en verano e invierno, la humedad de la vivienda, el consumo eléctrico de la vivienda (sin considerar situaciones atípicas), el olor de la vivienda, la iluminación eléctrica de la vivienda, tamaño de las habitaciones, tamaño de la vivienda en general, los electrodomésticos y equipos de calefacción con los que cuentan (aire acondicionado, televisión, calefactor, computadora).

Respecto a los segundos (aspectos objetivos) se relevaron 3 subdimensiones: uso de la vivienda, equipamiento de la vivienda y modificaciones desde que se mudaron. Para ello, se realizó una revisión de antecedentes internacionales recientes en las que se llegó a la conformación de las tres sub – dimensiones mencionadas anteriormente (Fu, W., Zhou, Y., Li, L., & Yang, R., 2021; Ryu, D. H., & Kim, K. J., 2022, Wang, Z., Zhang, B., Yin, J., & Zhang, Y., 2011, Akroush, M. N., Zuriekat, M. I., Al Jabali, H. I., & Asfour, N. A. 2019).

El uso de la vivienda alude a diferentes acciones que pueden producir un mejor o peor desempeño de la vivienda en términos de la eficiencia energética, y en relación a la mejoría o empeoramiento de los materiales de la vivienda, a partir de la falta de ventilación o emisión de vapores en ambientes cerrados. Cada uno de los ítems está detallado en la tabla 3. En relación al equipamiento se consultó acerca de los elementos de confort de la vivienda, la tenencia y también aspectos del uso del equipamiento.

Finalmente, en cuanto a las modificaciones en la vivienda, se relevaron posibles cambios que hayan podido afectar la estructura de la vivienda y por tanto su desempeño térmico.

*Tabla 2. Resumen de indicadores.*

Dimensiones	Sub-dimensiones		Indicadores
Vivienda actual	Subjetivas	Conformidad con vivienda actual	Conformidad con vivienda actual La comodidad de la vivienda en general, la iluminación natural de la vivienda, La temperatura de la vivienda en verano, la humedad de la vivienda, el consumo eléctrico de la vivienda (sin considerar situaciones atípicas), el olor de la vivienda, la iluminación eléctrica de la vivienda, tamaño de las habitaciones, tamaño de la vivienda en general, los equipos que cuentan (aire acondicionado, televisión, calefactor, computadora)
	Uso de la vivienda	Uso de la vivienda - Eficiencia energética	Frecuencia de uso de elementos de confort en la vivienda y elementos de la vivienda (lavamos ropa, seco la ropa en el interior de la vivienda, cocino en casa, uso herramientas como amoladora, taladro, destornillador eléctrico, etc., abro las ventanas y/o puertas, abro algunas ventanas que sé que generan corriente de aire, solemos estar juntos en la misma habitación, comemos todos juntos en la misma

			habitación, pasamos mucho tiempo afuera en el patio en verano).
			Momento del día en que prende luces por habitación y tipo de lámpara
		Uso de la vivienda - Humedad, vapores <sup>2</sup>	Frecuencia de baños per cápita, por día y por semana.
			Uso de habitación para secado de ropa
			Frecuencia en la que tiene tos (cuando hay más humedad y en general), hierve comida tapando la olla, o hierve comida emitiendo vapor sin prender extractor, se hincha la madera donde cocina, se baña o cuelga la ropa, siente frío, hay presencia de hongos o manchas en las paredes y siente olor a humedad. En este módulo se incluyen preguntas de control de esta y otras áreas de la encuesta (¿suelo tener tos?, ¿compro comida afuera?, ¿mis duchas duran 20 minutos?, ¿no abro las ventanas porque está frío?)
		Uso de la vivienda - Ventilación	Apertura de ventanas, momento del día en que las abre
		Uso de la vivienda - Ante el calor o el frío EE	(Abre las ventanas, se baña con agua fría, sale para afuera a tomar el aire, cierra todo y prende el ventilador, deja abierta las ventanas y prende el ventilador, cierra todo y prende el aire acondicionado, deja abierta las ventanas y prende el aire acondicionado, mojo el techo y/o paredes con agua)
		Equipamiento - EE	Cantidad de lámparas eléctricas que posee por habitación y tipo (incandescente, bajo consumo, LED, Otra).
			Tenencia de: Calentador de agua (Termo tanque o Calefón), chuveiro, extractor de vapor, equipo de aire acondicionado, calienta camas, ventilador, heladera, cocina, batidora, etcétera, ver formulario anexo)

<sup>2</sup> Estas preguntas se tomaron de estudios antecedentes para conocer la vinculación de la emisión de vapores y la humedad de la vivienda, la tos y la madera hinchada son indicadores de presencia de humedades en la vivienda. Fu, W., Zhou, Y., Li, L., & Yang, R., 2021; Ryu, D. H., & Kim, K. J., 2022, Wang, Z., Zhang, B., Yin, J., & Zhang, Y., 2011, Akroush, M. N., Zuriekat, M. I., Al Jabali, H. I., & Asfour, N. A. 2019.)

		Uso de equipamiento - EE	Tenencia de: Calentador de agua (Termo tanque o Calefón), lluveiro, extractor de vapor, equipo de aire acondicionado, calienta camas, ventilador, heladera, cocina, batidora, etcétera, ver formulario anexo)
			Temperatura de encendido de AA en verano. uso del calentador de agua o calefón encendido (anual, diario). Uso eficiente de grifería monocomando en baño y cocina.
	Modificaciones en la vivienda	Cambios que impactan en EE.	Cambios o reparaciones en vivienda actual

## 2.4. Retroalimentación con MEVIR

Se introdujeron preguntas con el fin de conocer qué percepciones existen sobre las instancias de formación promovidas por MEVIR y otras instituciones, la deseabilidad de contar con una mayor oferta y la aplicabilidad de los conocimientos recibidos. También se consultó sobre aspectos a mejorar en los modelos de vivienda y otros comentarios hacia la organización de manera abierta.

## 3. Metodología, aspectos éticos y de campo

Se planteó una metodología cuantitativa de carácter descriptivo en donde se diseñó un formulario (con leves cambios según período caluroso y frío), se aplicó en ambos períodos y se conformó una base de datos que fue analizada y cuyos resultados son presentados en el presente capítulo y abonan los resultados del Capítulo 3.

El proceso de armado del formulario basado en antecedentes se validó antes de salir a campo con las instituciones participantes de la presente consultoría e integró preguntas de carácter cerrado y abierto. El mismo fue aplicado por los integrantes del área social de la presente consultoría, de manera simultánea al monitoreo de las viviendas por parte de integrantes de arquitectura e ingeniería y del CENUR-LN.

El trabajo de campo de verano tuvo lugar el viernes 22 de abril en el caso de Cuchilla del Ombú en Tacuarembó y el sábado 23 de abril en La Canilla, barrio de la ciudad de Rivera. El de invierno tuvo lugar el viernes 29 de Julio en Cuchilla del Ombú y el sábado 30 en La

---

Canilla. En todas las etapas de la investigación, se presentan los datos de manera agregada para cumplir con el tratamiento anónimo de los datos.

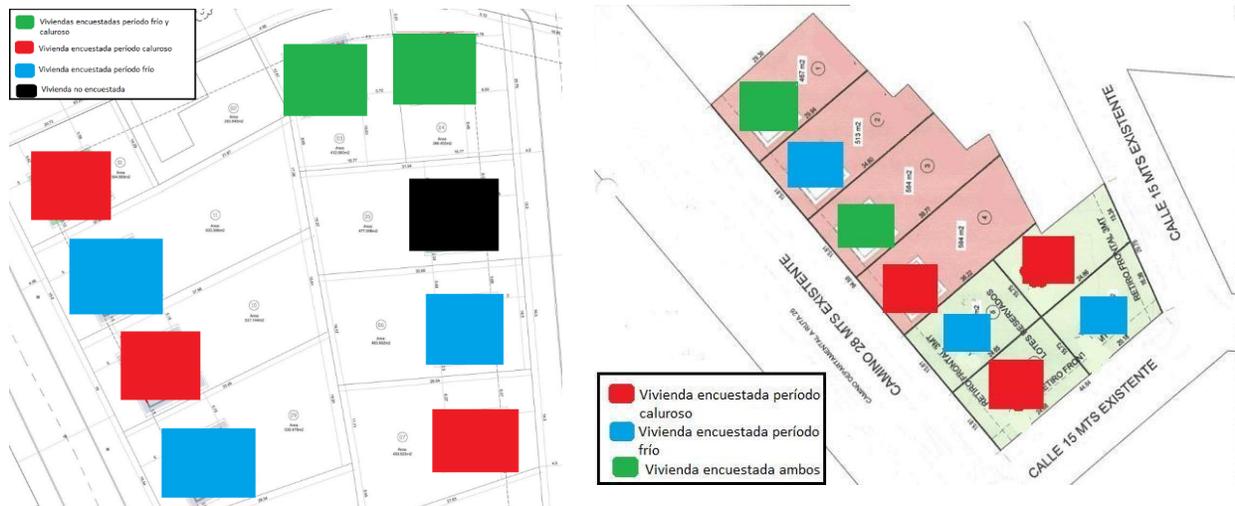


Figura 1: Ubicación de las viviendas encuestadas por período en Cuchilla del Ombú y la Canilla.

El contacto con las personas fue realizado a través de MEVIR y se contó con el apoyo de la contratación de una traductora para poder entrevistar a una familia de personas sordomudas por parte de la misma institución.

En todas las instancias el equipo de trabajo fue bien recibido, el intercambio fue amable y en todos los casos se leyó y solicitó acuerdo vía WhatsApp o firma del consentimiento informado (ver Anexo 2).

La conformación de la base permitió contar con información de las viviendas, las personas informantes y contando con la información completa de la composición de los hogares. La misma fue analizada utilizando el software estadístico Stata.

## 4. Análisis

### 4.1. Características sociodemográficas básicas de las personas informantes, y del total de las personas que viven en los hogares encuestados

En el período caluroso se relevó información sobre las viviendas (5 en Cuchilla del Ombú y 5 en La Canilla) y sus integrantes. Esta misma cantidad fue encuestada en el período de invierno, aunque se encuestaron nuevamente las dos viviendas en donde se realizaron mediciones, mientras que las otras viviendas cambiaron. En total se relevaron 16 viviendas de MEVIR, 8 en cada una de las localidades, quedando 1 vivienda en La Canilla sin encuestar.

*Tabla 3. Viviendas encuestadas de MEVIR en ambos períodos, sólo en el período caluroso y sólo en el período frío.*

	<b>La Canilla</b>	<b>Cuchilla del Ombú</b>
<b>Encuestadas en ambos períodos</b>	2	2
<b>Encuestadas solo en período caluroso</b>	3	3
<b>Encuestadas solo en período frío</b>	3	3
<b>Total</b>	8	8

En Rivera, se relevó información sobre 38 personas de las cuales el 56% tenían menos de 18 años y el 53% eran mujeres. En Cuchilla del Ombú, se relevó información sobre 32 personas, de las cuales 45% eran mujeres y 58% eran personas de menos de 18 años. En general, en Cuchilla del Ombú se registra una población de mujeres que conviven con niños, con un perfil relativamente distinto a la población entrevistada en La Canilla, Rivera, en donde a pesar de haber menos niños/as y adolescentes, se destaca una mayor presencia de niños/as y personas que requieren cuidados especiales (37,5%).

En las viviendas monitoreadas se replicó el formulario en los períodos de calor y frío. Se encontraron cambios en la composición familiar de las viviendas en la segunda medición. Mientras que en La Canilla el total de las personas encuestadas en el período caluroso en ambas viviendas fueron 6, en el segundo período, en las viviendas relevadas en ambos períodos se sumó un nuevo grupo familiar a una de las viviendas, dando un total de 11 integrantes. En Cuchilla del Ombú uno de los integrantes de la vivienda se mudó a otra localidad, por lo que se relevaron en total a 6 usuarios.

*Tabla 4. Características básicas de los integrantes de las viviendas encuestados.*

	<b>Integrantes del hogar relevados</b>	<b>Menores de 18 años</b>	<b>Promedio de integrantes del hogar</b>	<b>Cantidad de mujeres</b>	<b>Cant. de personas en la segunda medición las viviendas monitoreadas</b>
<b>La Canilla</b>	38	18 (56%)	4	17 (45%)	11

<b>Cuchilla del Ombú</b>	32	22 (58%)	4,75	17 (53%)	6
<b>Total</b>	70	40 (57%)		34 (49%)	17

Para orientar políticas para su mejora es preciso considerar quiénes efectivamente habitan la vivienda, puesto que son quienes pueden tomar las decisiones sobre las mismas para lo cual es importante constatar una fuerte división sexual del trabajo.

En Cuchilla del Ombú, la dinámica de permanencia en el hogar está marcada por el vínculo con el mercado de empleo (en su mayoría varones que trabajan durante toda la semana en estancias y la permanencia de mujeres y niños/as en los hogares. En La Canilla la situación de mujeres y varones es distinta, así como el vínculo con el entorno, marcado por la urbanidad y mayor presencia de servicios, instituciones y espacios públicos. En cifras, mientras que en La Canilla un 44% de las mujeres están incorporadas al mercado laboral, en Cuchilla del Ombú este número disminuye a 14%.

*Tabla 5. Situación laboral de los integrantes de las viviendas mayores de 18 años de MEVIR en La Canilla y Cuchilla del Ombú, según sexo, en porcentaje.*

	Cuchilla del Ombú		La Canilla		Total	
	Varón	Mujer	Varón	Mujer	Varón	Mujer
Ocupado	9 (90%)	1 (14%)	4 (80%)	4 (44%)	13 (87%)	5 (31%)
Inactivo	0	5 (71%)	0	4 (44 %)	0	9 (56%)
Otro (jubilado o desocupado)	1 (10%)	1 (14%)	1 (20%)	1 (11%)	2 (13%)	2 (13%)

En cuanto a las relaciones de parentesco de los integrantes del hogar en Cuchilla del Ombú, en 7 de 8 hogares había parejas, en 22 había hijos y sólo en un caso se constituyó un hogar de tipo extenso, integrando a un sobrino en la convivencia. En el caso de La Canilla, los hogares tienen una composición distinta, siendo que en 5 hay presencia de parejas, hay 18 hijos en total y en un caso también se encontró con un hogar extenso en donde la hermana de la referente vive en el hogar.

*Tabla 6. Filiación de los integrantes de las viviendas MEVIR encuestadas.*

	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Total
Referente	8	8	16
Pareja	7	5	12
Hija/o de al menos uno de la pareja	22	18	40
Hermana	0	1	1
Sobrino	1	0	1

---

Total	38	32	70
-------	----	----	----

Se consultó sobre la presencia de personas con enfermedades crónicas en el hogar, o situaciones de dependencia que requieren cuidados por parte de integrantes del hogar. Como se adelantó, mientras que sólo el 2,6% de las personas de Cuchilla del Ombú fueron declaradas como personas que requerían cuidados, este porcentaje fue de 35,7% en La Canilla. En ambas localidades las mujeres informantes se autoidentificaron como referentes de las tareas del hogar. En el caso de los varones informantes, el 89% de Cuchilla del Ombú dijo que no eran los principales responsables, mientras que esta cifra disminuyó a un tercio en La Canilla.

*Tabla 7. Referente de tareas del hogar de las viviendas (De los integrantes de la vivienda, ¿quién dirías que es el o la principal responsable de las tareas del hogar?), según localidad, en porcentaje.*

	Cuchilla del Ombú		La Canilla		Total	
	Varón	Mujer	Varón	Mujer	Varón	Mujer
<b>No</b>	88.9	0	33,3	0	76.9	0
<b>Sí</b>	11.1	100	66,6	100	23.1	100
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100

En cuanto a la incorporación en el mercado laboral de las personas de 18 años o más, en Cuchilla del Ombú un 59% de las personas estaban ocupadas y en La Canilla, 57%. Luego se destaca un 29% de “amas de casa”, o sea mujeres que trabajan de manera no remunerada cuidando y realizando trabajo doméstico exclusivamente.

*Tabla 8. Situación laboral de los integrantes mayores de 18 años de las viviendas MEVIR encuestadas.*

	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Total
<b>Ocupado</b>	10 (59%)	8 (57%)	18 (58%)
<b>Jubilado</b>	0 (0%)	1 (7%)	1 (3%)
<b>Inactiva</b>	5 (29%)	4 (29%)	9 (29%)
<b>Desocupado</b>	2 (12%)	0 0 (0%)	2 (6%)
<b>Seguro de paro</b>	0 0 (0%)	1 (7%)	1 (3%)
<b>Total</b>	17 (100%)	14 (100%)	31 (100%)

En cuanto al nivel educativo de las personas de 18 años o más en los hogares son en general bajos, aunque más bajos en Cuchilla del Ombú (61% tiene como máximo nivel educativo alcanzado primaria completa) en relación a La Canilla, donde un 17% tiene como máximo nivel educativo alcanzado primaria completa y un 28% de las personas de los

hogares tienen niveles educativos correspondientes a terciaria incompleta y completa, aspecto que no se registra para Cuchilla del Ombú.

*Tabla 9. Máximo nivel educativo de los integrantes mayores de 18 años de las viviendas MEVIR encuestadas.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>Primaria incompleta</b>	2 (11%)	0	2 (5,6%)
<b>Primaria completa</b>	9 (50%)	2 (17%)	11 (33,3%)
<b>EMB incompleta</b>	4 (22%)	3 (17%)	7 (19,4%)
<b>EMB completa</b>	2 (11%)	6 (33%)	8 (22,2%)
<b>EMS completa</b>	1 (6%)	1 (6%)	2 (5,6%)
<b>Terciaria no universitaria incompleta</b>	0	1 (6%)	1 (2,8%)
<b>Terciaria no universitaria completa</b>	0	3 (22%)	3 (11,1%)
<b>Total</b>	18 (100%)	18 (100%)	36 (100%)

El 45,7% de las personas integrantes de los hogares se autoidentificaron con ser afro (46,8% en La Canilla y 44,7% en Cuchilla del Ombú). En Rivera un 46,8% se identificó con ser blanca y un 6,25% indígena. En Cuchilla del Ombú menos personas se identificaron con ser blancas (31,6%), y un mayor porcentaje declaró tener ascendencia indígena (18,4%).

*Tabla 10. Auto identificación racial de los integrantes de las viviendas MEVIR encuestadas.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>No sé</b>	2 (5%)	0	2 (3%)
<b>Afro</b>	17 (45%)	15 (47%)	32 (46%)
<b>Blanca</b>	12 (32%)	15 (47%)	27 (39%)
<b>Indígena</b>	7 (18%)	2 (6%)	9 (13%)

En Cuchilla del Ombú hay menores posibilidades de vincularse para las mujeres al ámbito laboral debido a las necesidades de cuidados de los/as niños y a las características geográficas que oponen ciertos desafíos, como el del transporte, para vincularse con centros educativos, sanitarios, puestos de trabajo y vínculo con la comunidad para la generación de redes necesarias para llegar al mismo.

#### **4.1.1. Informantes<sup>3</sup> de la encuesta**

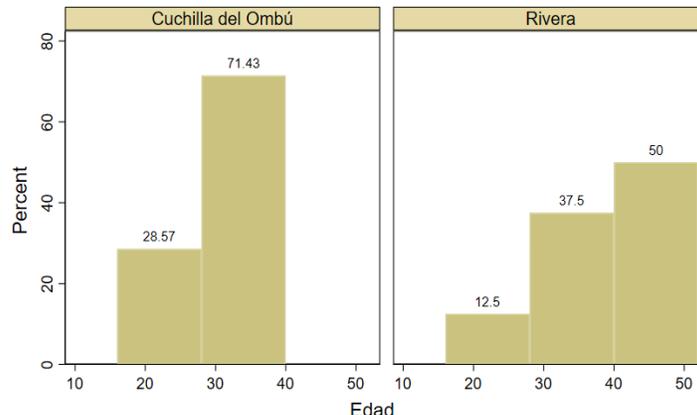
<sup>3</sup> Se entiende por informante, a la persona que efectivamente contesta la entrevista.

Finalmente, las características de las personas que contestaron la encuesta (informantes) en términos generales son similares a las presentes en todos los integrantes de los hogares que fueron presentadas anteriormente. Se puede observar que en su amplia mayoría (75%) son mujeres, sin importar la localidad de residencia.

*Tabla 11. Sexo de los informantes.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>Varón</b>	2 (25%)	2 (25%)	4 (25%)
<b>Mujer</b>	6 (75%)	6 (75%)	12 (75%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)	16 (100%)

La amplia mayoría de las personas que contestaron la encuesta tienen entre 30 y 40 años, particularmente en Cuchilla de Ombú en donde el 71% de las/os informantes pertenecía a dicho tramo etario, mientras que el otro 29% tenía entre 20 y 30 años. En el caso de La Canilla, se registró un 12% menor de 30 años, un 37,5% entre 30 y 40 años aproximadamente y entre 40 y 50 años el 50% de las personas informantes, siendo esta población de personas encuestadas levemente más envejecida.



*Gráfico 1. Edad de los informantes, según localidad.*

Al considerar la situación laboral de los informantes podemos observar que en su mayoría las informantes mujeres se dedican en mayor proporción a los cuidados y tareas domésticas, en relación a los hombres. Dicha relación está más acentuada en Cuchilla del Ombú, donde ninguna de las informantes mujeres cuenta con un trabajo remunerado y sólo una está desocupada. En el caso de los varones referentes, todos tienen un empleo o están jubilados recientemente.

Tabla 12. Situación laboral de los informantes, según localidad y sexo.

	Mujer		Varón		Total	
	CO	LC	CO	LC	CO	LC
<b>Ocupado</b>	0	2 (33.3%)	2 (100%)	1 (50%)	2 (25%)	3 (37,5%)
<b>Jubilado</b>	0		0	1 (50%)	0	1 (12,5%)
<b>Inactivo - ama de casa</b>	5 (83.3%)	3 (50%)	0	0	5 (62.5%)	3 (37,5%)
<b>Desocupado</b>	1 (16,7)	0.0	0	0	1 (12.5%)	0
<b>Seguro de paro</b>	0	1 (16,2%)	0	0	0	1 (12,5%)
<b>Total</b>	6 (100%)	6 (100%)	2 (100%)	2 (100%)	8 (100%)	8 (100%)

Por último, en cuanto al nivel educativo, al igual que como fue analizado anteriormente en La Canilla, el nivel educativo promedio es mayor al de Cuchilla del Ombú, de esta forma, mientras que la mitad de los informantes en La Canilla completaron hasta 3° de Educación Media, en Cuchilla del Ombú el nivel educativo más alto de mitad de los informantes es de Primaria completa.

Tabla 13. Nivel educativo de los informantes, según localidad.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Total
<b>Primaria completa</b>	4 (50%)	1 (13%)	5 (31%)
<b>EMB incompleta</b>	1 (13%)	2 (25%)	3 (19%)
<b>EMB completa</b>	2 (25%)	4 (50%)	6 (38%)
<b>EMS completa</b>	1 (13%)	1 (13%)	2 (13%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)	16 (100%)

## 4.2. Caracterización de la vivienda anterior

### 4.2.1. Aspectos objetivos de la vivienda anterior

Para conocer las valoraciones de la vivienda actual con mayor precisión en relación a las experiencias pasadas, se relevaron algunos aspectos de las viviendas anteriores de los habitantes de los dos planes de MEVIR. A excepción de un caso en La Canilla, las viviendas anteriores se ubicaban en la misma localidad. A su vez, todas las personas vivieron anteriormente en una casa, salvo una vivienda en La Canilla que anteriormente habitó un apartamento en altura.

Consultamos acerca de dos indicadores para conocer aspectos de la vivienda anterior: el material del techo de la vivienda anterior en relación a la actual, y el de las paredes. En las viviendas anteriores en Cuchilla del Ombú los techos de las viviendas eran principalmente de material liviano (75% con cielorraso y 25% sin). En cuanto a los habitantes actuales de La Canilla, en sus viviendas anteriores también predominaba el techo liviano (62,5% con cielorraso y 25% sin), y sólo en un caso hubo planchada de hormigón.

*Tabla 14. Material del techo de la vivienda anterior.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>Planchada de hormigón</b>	0	1 (13%)	1 (6%)
<b>Liviano con cielorraso</b>	6 (75%)	5 (62.5%)	11 (69)
<b>Liviano sin cielorraso</b>	2 (25%)	2 (25%)	4 (25%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)	16 (100%)

En cuanto al material de las paredes, solo en el caso de una vivienda en La Canilla se registró que en las paredes los materiales eran livianos sin revestimiento, y en la misma localidad un porcentaje mayor de viviendas tenía paredes sin terminaciones.

*Tabla 15. Material de las paredes de la vivienda anterior, en frecuencia absoluta y porcentaje.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>Ladrillos, ticholos o bloques con terminaciones</b>	6 (75%)	4 (50%)	10 (63%)
<b>Ladrillos, ticholos o bloques sin terminaciones</b>	2 (25%)	3 (38%)	5 (31%)
<b>Materiales livianos sin revestimiento</b>	0 (0%)	1 (13%)	1 (6%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)	16 (100%)

A estos indicadores se sumó el relevamiento de una serie de problemas de la vivienda anterior, contando así con un conjunto de variables que permiten estimar la calidad de las viviendas anteriores.

Las viviendas anteriores de los núcleos de La Canilla tenían una menor calidad desde el punto de vista del comportamiento térmico en el material de las paredes en relación a las de Cuchilla del Ombú en donde algunos núcleos residían anteriormente en casas en estancias que estaban incluidas en el trabajo de peón de campo de los varones de las familias.

Por otra parte, consultamos acerca de la presencia de una serie de problemas de las viviendas para conocer la calidad de la vivienda anterior.

*Tabla 16. Problemas (porcentaje que lo mencionó cada ítem) en la vivienda anterior por localidad.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>
<b>Humedades en techos</b>	7 (88%)	7 (88%)
<b>Goteras en techos</b>	5 (63%)	7 (88%)
<b>Muros agrietados</b>	6 (75%)	6 (75%)
<b>Puertas o ventanas en mal estado</b>	3 (38%)	7 (88%)
<b>Grietas en pisos</b>	7 (88%)	4 (50%)
<b>Caída de revoque de paredes o techos</b>	2 (25%)	6 (75%)
<b>Cielos rasos desprendidos</b>	2 (25%)	3 (38%)
<b>Poca luz solar</b>	2 (25%)	4 (50%)
<b>Escasa ventilación</b>	0	4 (50%)
<b>Se inunda cuando llueve</b>	3 (38%)	4 (50%)
<b>Peligro de derrumbe</b>	0	1 (13%)
<b>Humedades en los cimientos</b>	6 (75%)	7 (88%)
<b>Hongos en las paredes, techos, etc.</b>	7 (88%)	6 (75%)
<b>Ninguna de las anteriores</b>	0	1 (13%)

A partir de la presencia de problemas, se creó un índice de resumen acerca de los problemas de la vivienda anterior. El índice se compone a partir de la sumatoria de los problemas de la vivienda, por lo que cuanto mayor es el índice, mayor es la cantidad de problemas reportados. Es decir, una vivienda con un puntaje de 13 se interpreta que la vivienda anterior tenía 13 problemas.

Los resultados muestran que en las viviendas anteriores de los habitantes de La Canilla tenían mayores problemas en relación a las viviendas anteriores de los habitantes de Cuchilla del Ombú.

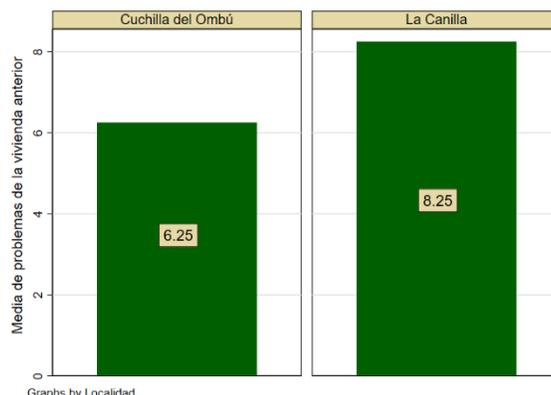


Gráfico 2. Promedio del índice de problemas en la vivienda anterior de los usuarios de MEVIR, según localidad.

Lo cual también se evidencia en la agrupación de los ítems en la tipología presentada por Casacuberta, INE (2006)<sup>4</sup>, resumida en la tabla a continuación.

Tabla 17. Problemas de la vivienda anterior, según la clasificación de Casacuberta, en porcentaje.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla	Total
<b>Sin problemas</b>	0	1 (13%)	1 (6%)
<b>Problemas moderados</b>	2 (25%)	0	2 (13%)
<b>Problemas graves</b>	6 (75%)	7 (87%)	13 (81%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)	16 (100%)

#### 4.2.2. Aspectos subjetivos en relación a la vivienda anterior

Si bien los aspectos materiales de las viviendas anteriores en La Canilla presentaban mayores problemáticas en relación a las viviendas anteriores de Cuchilla del Ombú, la conformidad general con la vivienda anterior en una escala del 1 al 10 es mayor en el caso

<sup>4</sup> La clasificación utilizada se divide en cuatro diferentes tipos de viviendas: (i) aquellas que no cuentan con problemas, (ii) aquellas que cuentan con problemas leves (puertas y ventanas en mal estado, grietas en pisos, poca luz solar y escasa ventilación), (iii) problemas moderados (humedades en techos, goteras en techos, caída de revoque en paredes y techos, cielorrasos desprendidos y humedades en los cimientos), (iv) problemas graves (muros agrietados, se inunda cuando llueve y peligro de derrumbe). Documento de referencia: <https://www.ine.gub.uy/documents/10181/35933/ENHA+2006.+Situaci%C3%B3n+de+la+vivienda+en+Uruguay/04f07f2f-519c-48ec-b45a-fc78f137a8b1>

de las personas de Cuchilla del Ombú. Esto puede deberse a que generalmente, las viviendas anteriores de los habitantes de Cuchilla del Ombú suelen ser intervenciones anteriores de Mevir o establecimientos de estancias. No obstante, en ambos casos sucede que aumenta la valoración de la conformidad de la vivienda actual en relación a la anterior. En Cuchilla del Ombú aumentó 3.3 y en La Canilla 5.8 puntos.

Tabla 18. Promedio de valoración de la vivienda anterior y actual de los integrantes de Mevir, según localidad.

	Valoración de conformidad con la vivienda anterior	Valoración de conformidad con la vivienda actual	Diferencia de medias
<b>Cuchilla del Ombú</b>	6,7	10	3,3
<b>La Canilla</b>	3,6	9,4	5,8

En relación a la sensación de frío y calor en las viviendas anteriores<sup>5</sup>, en Cuchilla del Ombú la percepción de la temperatura de las viviendas anteriores se midió a partir de la autopercepción del informante donde 1 es para nada frío o caluroso y 10 muy frío o caluroso (según corresponda). En general los promedios de sensación de frío y calor de las viviendas anteriores de las viviendas de La Canilla, son levemente menores en ambos casos en relación a la sensación térmica de la vivienda anterior de la población que actualmente vive en Cuchilla del Ombú. Esto también se podría relacionar con el mayor volumen (áreas más grandes y mayor altura) de las viviendas anteriores, que se conoce por las respuestas abiertas a aspectos mejores o peores de las mismas, lo que podría determinar que las temperaturas durante el período caluroso sean menores.

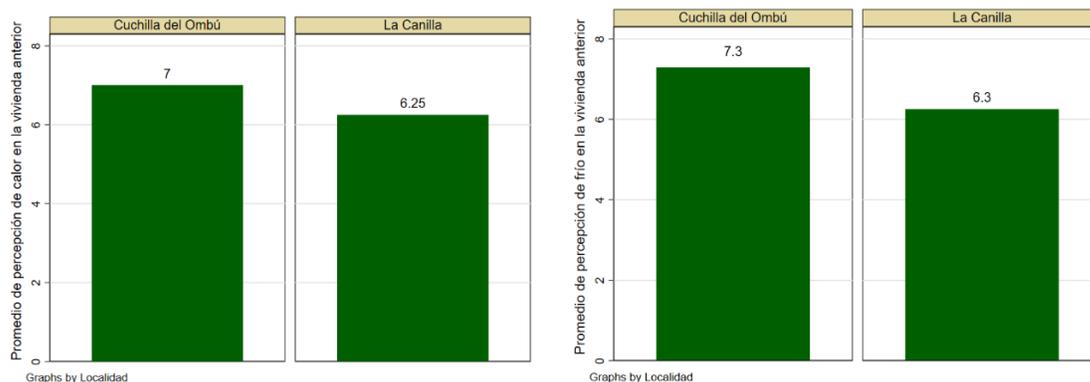


Gráfico 3 y 4. Promedio de percepción de frío y calor en la vivienda anterior, según localidad.

<sup>5</sup>La pregunta formulada es: "En términos generales, si tuvieras que decir del 1 al 10 cuán fría sentías tu vivienda anterior, ¿Qué dirías?" Por lo que valores mayores expresan una mayor sensación de frío.

A su vez, se consideró que la percepción de la temperatura de la vivienda anterior puede estar intervenida por la presencia de medios de calefacción o refrigeración. En la encuesta encontramos una mayor presencia y variedad de métodos de calefacción y refrigeración en La Canilla que en Cuchilla del Ombú. Es posible que la presencia de mayores medios para calefaccionar o refrigerar se relacionan con una relativa mejor puntuación de la temperatura en La Canilla en donde del 1 al 10 percibía en promedio menos fría la vivienda en relación a Cuchilla del Ombú (6,25 vs. 7) y también menos caliente (6,3 vs 7,3) a la vivienda anterior.

*Tabla 19. Métodos de calefacción utilizados en la vivienda anterior, en porcentaje, por localidad.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>
<b>Ninguno</b>	2 (25%)	1 (13%)
<b>Calefacción a leña</b>	6 (75%)	2 (25%)
<b>Estufa a gas</b>	0	2 (25%)
<b>Estufa eléctrica</b>	0	1 (13%)
<b>Aire acondicionado</b>	0	2 (25%)
<b>Total</b>	8 (100%)	8 (100%)

También se indagó en la percepción de la temperatura en las viviendas actuales. En verano (del 1 al 10, cuán de acuerdo estás con que en verano la vivienda es calurosa, siendo 1 nada calurosa y 10 muy calurosa) y se relaciona la percepción de calor actual con calor en la vivienda anterior. Para ello, se creó un índice, a partir de la resta entre la percepción de la temperatura en la vivienda actual de MEVIR menos la percepción de la vivienda anterior ( $-IP = P_t - P_{t-1}$ ). Posteriormente, se invirtió los resultados, para que su interpretación sea directa, es decir, cuanto mayor es el índice mayor es la conformidad con la temperatura de la vivienda actual. La interpretación de este índice se compone de la siguiente forma, si los resultados son positivos, se interpreta que los habitantes perciben menos calor en la vivienda actual que la pasada en verano. Por ejemplo, si en la vivienda anterior en temperatura fría se puntuó con 10 y en la actual con 9, el resultado será -1, es decir, tendrá una menor percepción de frío que en la vivienda anterior.

A modo general, en todas las viviendas se percibe una mejor conformidad con la temperatura en ambas estaciones en relación con la vivienda anterior, especialmente en invierno.

En el período caluroso, la valoración de la temperatura en La Canilla es más baja en las viviendas actuales del plan piloto en relación con las anteriores, es decir, los habitantes de Cuchilla del Ombú sienten la vivienda más confortable en temperatura que la vivienda anterior que las personas de la Canilla.

En cambio, en el período frío, existe una alta valoración de la conformidad con la temperatura de la vivienda, en relación con la vivienda anterior, siendo un poco menor en la Canilla.

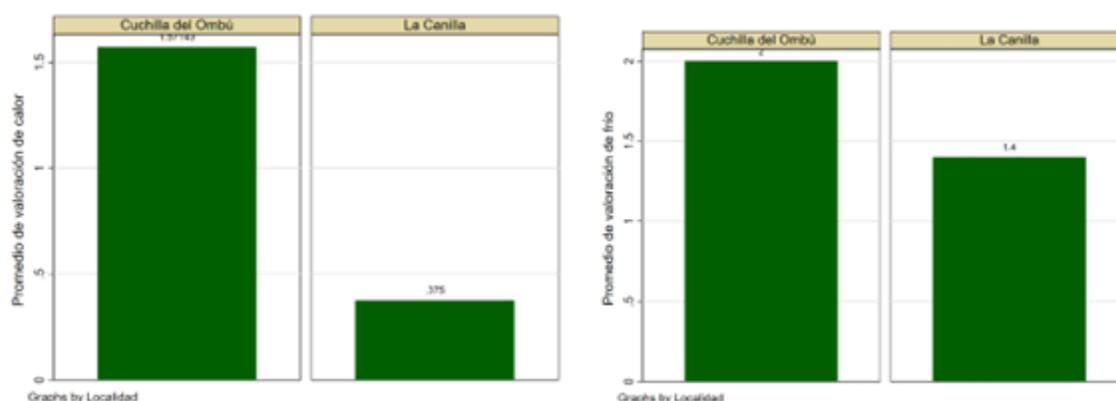


Gráfico 6 y 7: Promedio de percepción de temperatura en verano e invierno de la vivienda actual comparada con la percepción en su vivienda anterior de los usuarios de MEVIR, por localidad.

Es decir que, en el caso de La Canilla, las percepciones sobre la temperatura de la vivienda cambian respecto a la vivienda anterior, tienen una mejor percepción de la temperatura en verano e invierno pero no tanto como en Cuchilla del Ombú.

### 4.2.3. Aspectos subjetivos de la vivienda anterior en relación a la actual

Respecto a los aspectos subjetivos de percepción de la vivienda anterior en relación a la actual en el formulario se solicitó que se mencionaran tres aspectos que les gustaban más de la vivienda anterior en relación a la actual.

Cuadro 1. Qué tres aspectos de la vivienda anterior eran mejores que la actual y de la vivienda actual, mejores que la anterior (hasta 3 respuestas abiertas cortas).

Aspectos mejores de la casa anterior con	Aspectos mejores de la vivienda actual con respecto a la vivienda anterior
--	--

	respecto a la vivienda actual	
<b>Cuchilla del Ombú</b>	Más sombra afuera, Menos gente, más lejos, Era más amplia (6/10 Ninguno)	Cuarto y baño más grande, Casa más grande, Comodidad. No entra más agua por puertas y ventanas. La temperatura es mejor (casa fresca en verano y cálida en invierno). Tener el baño fuera de la casa. Se mojaba la casa por ventanas y puertas. Había humedad. Goteras- Más espacio, cada uno tiene su cuarto. Más caliente y con agua caliente. No hay humedad. (3/10 Ninguno)
<b>La Canilla</b>	La distancia era más cerca. El barrio. La distancia a la escuela y al trabajo. Las paredes de materiales. (4/10 Ninguno)	Se llovía. Poca ventilación. Baño grande, puerta. Todo. La vivienda anterior se inundaba. La humedad como gran problema. El frío en la casa, techo demasiado alto. Antes alquilaba y era muy caro. La vivienda se inundaba de manera muy abundante. Piso roto. Los gritos y ruido. Espacio. La comodidad de la casa, buena repartición de las habitaciones y patio. Tranquilidad del barrio. Iluminación, caliente en invierno. La distribución del espacio. Pocas ventanas. Material (era de chapones) (2/10 Ninguno)

En Cuchilla del Ombú mencionaron, más sombra afuera, menos gente, más lejos, o aspectos vinculados a la vivienda como que era más amplia la casa. Mientras que en La Canilla aparecieron otras dimensiones como menores costos de luz y agua en la vivienda anterior, más proximidad con la ciudad y los servicios vinculados a educación y trabajo y el hecho de que las paredes fueran de bloques.

Contrariamente, en los aspectos positivos de la vivienda actual, en el caso de Cuchilla del Ombú se mencionaron aspectos vinculados a la buena valoración de la espacialidad actual de las viviendas: cuarto (dormitorio) y baño más grande, casa más grande, Comodidad, tener el baño dentro de la casa, mayor cantidad de habitaciones. Seguido de aspectos vinculados con la temperatura y la humedad: No entra más agua por puertas y ventanas. La temperatura es mejor (casa fresca en verano y cálida en invierno). Se mojaba la casa por ventanas y puertas. Había humedad. Goteras. Más caliente y con agua caliente. No hay humedad.

En La Canilla, también, los aspectos negativos de la vivienda anterior o positivos de la vivienda actual, aludieron a la ventilación humedades y temperatura: "Se llovía. Poca ventilación. La vivienda anterior se inundaba. La humedad como gran problema. El frío en la casa, techo demasiado alto. Caliente en invierno." Otros en relación al espacio o la espacialidad de la vivienda: "Espacio. La comodidad de la casa, buena repartición de las habitaciones y patio. La distribución del espacio. Baño grande, puerta" También se mencionaron aspectos relativos a los materiales: "*La vivienda se inundaba de manera muy*

---

*abundante. Piso roto. Pocas ventanas. Material (era de chapones)" A la iluminación: "Iluminación", a aspectos económicos: "Antes alquilaba y era muy caro". Y de contexto: "Tranquilidad del barrio. Los gritos y ruido".*

A su vez, se consultó en una escala del 1 al 10 cuán conforme estaba con su vivienda anterior y, separadamente, con la vivienda actual, observamos que el promedio de la valoración comparada es mayor en Rivera que en Cuchilla del Ombú, en donde los niveles de conformidad anteriores eran mayores (6,71).

*Tabla 20: Promedio de conformidad con la vivienda actual y anterior en Cuchilla del Ombú y La Canilla.*

	<b>Total</b>	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Diferencia Cuchilla del Ombú-La Canilla</b>
<b>Conformidad con vivienda actual</b>	9,66	10	9,38	0,62
<b>Conformidad con vivienda anterior</b>	5,0	6,71	3,63	3,08
<b>Diferencia Actual-Anterior</b>	4,66	3,29	5,75	

### **4.3. Características de la vivienda actual**

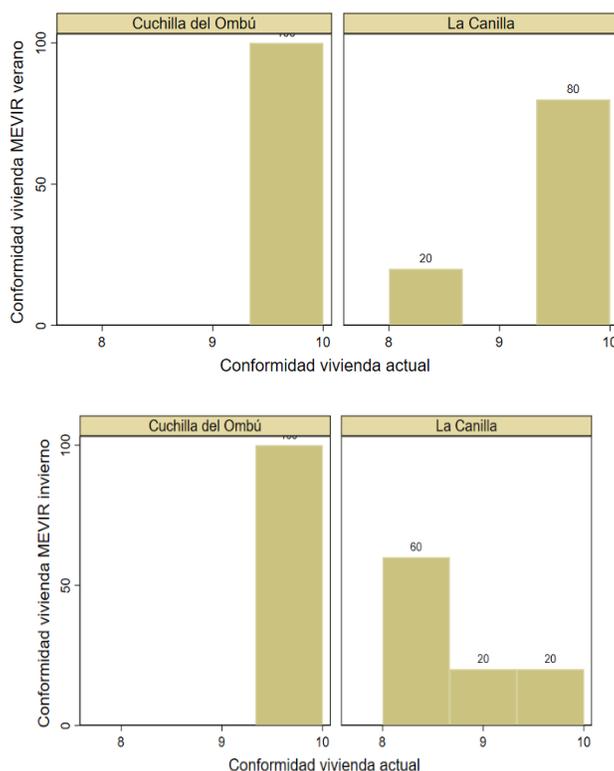
Respecto a las viviendas relevamos aspectos subjetivos relativos a la conformidad con la vivienda actual, aspectos relativos al uso de la vivienda, el equipamiento de la misma, y las modificaciones que han sido introducidas desde la mudanza hasta la actualidad.

#### **4.3.1. Aspectos subjetivos de la vivienda actual**

En cuanto a las viviendas actuales, se relevaron aspectos subjetivos relativos a la conformidad de la vivienda en general y con una serie de aspectos específicos como la comodidad de la vivienda, la iluminación natural, la temperatura, la humedad, el consumo eléctrico, el tamaño de las habitaciones, de la vivienda, y de los equipos con los que cuentan.

En promedio para ambos períodos, la conformidad con la vivienda actual es alta en ambas localidades, como muestra la última tabla (9,66). No obstante, en el período de invierno (Gráficos 7 y 8), en La Canilla, la conformidad de la vivienda (8) es levemente menor a los niveles de acuerdo en Cuchilla del Ombú (10), Los cambios de conformidad

particularmente en La Canilla entre el período caluroso y frío, a seis meses de haber recibido la vivienda pueden deberse a problemas asociados a la humedad.



Gráficos 8 y 9. Gráfico de barras del promedio de conformidad con vivienda actual según localidad para el período de frío y caluroso.

En cuanto a los ítems, se preguntó, en una escala del 1 al 5 donde 1 es Muy disconforme y 5 Muy conforme, ¿Cuán conforme se encuentra con...? En cuanto a la comodidad de la vivienda actual los niveles de conformidad son altos (en ambos períodos y en ambas localidades). Respecto al tamaño, las valoraciones indican puntajes muy altos a la máxima conformidad, así como el tamaño de las habitaciones. En términos generales, estas diferencias son muy similares entre Cuchilla del Ombú y la Canilla.

Tabla 21. Promedio de valoración de comodidad y tamaño en la vivienda.

	Período caluroso			Período frío			Comparación caluroso y frío invierno		Total	
	LC	CO	Diferencia LC-CO	LC	CO	Diferencia LC-CO	LC (C-F)	CO (C-F)	LC	CO

<b>Comodidad general</b>	4,8	4,8	0	4,8	5	-0,2	0	-0,2	4,75	4,85
<b>Tamaño general</b>	4,8	4,6	0,2	4,3	5	-0,66	-0,37	-0,4	4,62	4,71
<b>Tamaño de las habitaciones</b>	4,8	4,4	0,4	4,3	4,5	0,17	-0,37	-0,1	4,62	4,42

En cuanto al equipamiento de la vivienda, la iluminación y el consumo eléctrico también encontramos altos niveles de conformidad que variaron según la localidad, particularmente en cuanto al equipamiento de la vivienda. Esta última pregunta fue planteada de forma abierta, por lo que algunas menciones hicieron referencia a mejoras en equipamiento para el patio o ventanas más grandes. En cuanto a la iluminación natural, se alcanzan altos niveles de valoración, tanto en la Canilla como en Cuchilla del Ombú, independientemente de la estación. En cambio, en cuanto a la valoración eléctrica, aunque la diferencia es mínima y la valoración es igualmente muy alta, sistemáticamente los habitantes de la Canilla muestran un menor de conformidad con la iluminación eléctrica de la vivienda, esta diferencia no es alterada según el período de observación. Por último, en cuanto al consumo eléctrico, se muestra una tendencia interesante, mientras que en el período caluroso se muestra que los habitantes de Cuchilla del Ombú están mínimamente más conformes con el consumo eléctrico, en el período frío, los habitantes de la Canilla muestran una mayor valoración del consumo eléctrico de la vivienda. Esto puede ser, a partir de la utilización de una mayor variedad de equipamientos en La Canilla que en Cuchilla del Ombú.

Tabla 22. Promedio de valoración de equipamiento, iluminación y consumo eléctrico.

	Período caluroso			Período frío			Diferencia caluroso-frío		Total	
	LC	CO	Diferencia LC-CO	LC	CO	Diferencia LC-CO	LC (C-F)	CO (C-F)	LC	CO
<b>Equipamiento vivienda</b>	3,3	4,8	-1,5	5	5	0	1,75	0,25	4	4,85
<b>Iluminación natural</b>	4,8	5	-0,2	5	5	0	0,2	0	4,85	5
<b>Iluminación eléctrica</b>	4,6	4,8	-0,2	4,8	5	-0,2	-0,2	0,2	4,75	4,85
<b>Consumo eléctrico</b>	4,2	4,4	-0,2	4,8	4	0,8	0,6	-0,4	4,5	4,43

En relación a la humedad y la temperatura de la vivienda, en Cuchilla del Ombú disminuyó levemente de 4,6 a 4 y en La Canilla de 4,4 a 3,8.

El olor interior de la vivienda<sup>6</sup> se consultó en relación a la humedad. Se constató que la valoración respecto al mismo es más alta en Cuchilla del Ombú en ambos períodos, encontrándose el promedio más bajo de puntaje en La Canilla en el período caluroso (3.8) La percepción de la temperatura (medida para ambos períodos en invierno) revela que en Cuchilla del Ombú hay una puntuación mayor respecto a la temperatura en verano en relación a la Canilla, es decir que en Tacuarembó la percepción de temperatura de calor es mayor que en la Canilla, más aún en verano. Mientras que en Cuchilla del Ombú hay una mayor valoración de la temperatura de las viviendas en invierno que en verano (4.5 y 2.3).

Tabla 23. Promedio de valoración de la humedad y temperatura de las viviendas.

	Período caluroso			Período frío			Dif. caluroso frío		Total	
	LC	CO	Dif. LC-CO	LC	CO	Dif. LC-CO	LC	CO	LC	CO
<b>Humedad</b>	4.4	4.6	-0.2	3.8	4	-0.2	-0.6	-0.6	4.3	4.3
<b>Olor de la vivienda</b>	3.8	4.8	-1	4.4	4.5	-0.1	0.6	-0.3	4.7	4.1
<b>Temperatura en verano</b>	3.4	4	-0.6	2.3	3.5	-1.2	1.1	-0.5	3	3.9
<b>Temperatura en invierno</b>				4.8	4.5	0.3			4.8	4.5

En términos generales, los promedios de conformidad respecto a algunos aspectos centrales de las viviendas como su comodidad, espacialidad, su iluminación, temperatura y humedad son altos, expresando una valoración positiva de las viviendas.

#### 4.3.2. Comparación entre la percepción subjetiva de la vivienda y las mediciones realizadas.

Al comparar las mediciones realizadas en el Capítulo 2 con la valoración de los usuarios podemos acercarnos a cómo el modelo y diseño de la vivienda puede tener su implicación en la valoración de los usuarios. Como principal indicador del desempeño de las viviendas se utilizó el promedio de horas de discomfort de las viviendas, esto implica (Capítulo 2). Se

<sup>6</sup> Se entiende que el olor interior puede ser generado por los propios materiales de construcción, los revestimientos y pinturas, los muebles, los materiales de construcción, y sobre todo las reacciones químicas del moho que se pueden vincular a la presencia de humedades altas.

---

entiende por disconfort a la sensación de no satisfacción con el ambiente térmico que lo rodea.

De ese modo, en el período caluroso, como es relevado en el Capítulo 3, se puede destacar que existe un mayor porcentaje de horas de disconfort en la vivienda, es decir, las horas al día está por arriba del límite de confort son mayores en el modelo de madera que con el modelo de Cuchilla del Ombú. Además, el modelo de madera, además de estar más horas por arriba del límite de confort, alcanza temperaturas mayores, por lo que la sensación de disconfort es aún mayor.

Al comparar con la valoración subjetiva de los usuarios de calor expresada en un índice donde 1 es nada de calor y 5 que los habitantes sienten mucho calor, las valoraciones son similares en ambas mediciones, aunque sensiblemente existe una mayor sensación de calor de los usuarios en los modelos de La Canilla donde se aplicó el programa de madera.

*Tabla 24. Porcentaje de horas de disconfort de los usuarios y valoración de la temperatura en período caluroso de la vivienda.*

	<b>Porcentaje de horas de disconfort verano</b>	<b>Valoración usuario</b>
<b>Tradicional (Cuchilla del Ombú)</b>	66%	4
<b>Liviano (La Canilla)</b>	69%	3,4

Por otra parte, en invierno la cantidad de horas de disconfort es sensiblemente menor que en verano, esto también se refleja a una mayor valoración de la temperatura en invierno en relación a la temperatura mostrada en verano. Es decir, los usuarios, tanto de La Canilla y de Cuchilla del Ombú consideran que su vivienda es más caliente que fría. Especialmente, en las viviendas de madera (La Canilla) está valoración es marginalmente mayor a los usuarios de las viviendas de Cuchilla del Ombú.

*Tabla 25. Promedio de horas de disconfort de los usuarios y valoración de la temperatura en invierno de la vivienda.*

	<b>Porcentaje de horas de disconfort invierno</b>	<b>Valoración usuario</b>
<b>Tradicional (Cuchilla del Ombú)</b>	1.5%	4.5
<b>Madera (La Canilla)</b>	3.2%	4.8

### 4.3.3. Uso de la vivienda

El uso de la vivienda alude a cuatro aspectos centrales: aspectos relativos a la eficiencia energética, a la humedad de la vivienda, a la ventilación, y a las acciones concretas ante el sentimiento de frío o calor. A continuación, realizamos una breve presentación de estas sub dimensiones.

#### 4.3.3.1. Uso de la vivienda vinculado a la eficiencia energética

##### 4.3.3.1.1. *Uso de la vivienda vinculado a la eficiencia energética: Permanencia en la vivienda*

En primer lugar, es de interés conocer el tiempo en que las personas integrantes del hogar están en la vivienda, lo cual impacta en el uso de la misma, el consumo eléctrico, entre otros aspectos relevantes. Una primera aproximación se puede realizar a partir de las horas dedicadas por los habitantes de las viviendas a concurrir a su trabajo o centro educativo. En este sentido, se encuentra que en el caso de Cuchilla del Ombú tanto para los individuos que asisten al sistema educativo como en la concurrencia al trabajo, es más homogéneo y pautado donde se destaca la categoría 24 horas para aquellos peones rurales que pernoctan en la estancia rural donde trabajan. Mientras que, en La Canilla, existe una mayor variedad de situaciones en cuanto al horario educativo que ronda entre las 4 y las 8 horas y en el caso del trabajo remunerado fuera del hogar: de 8 a 12 horas en promedio.

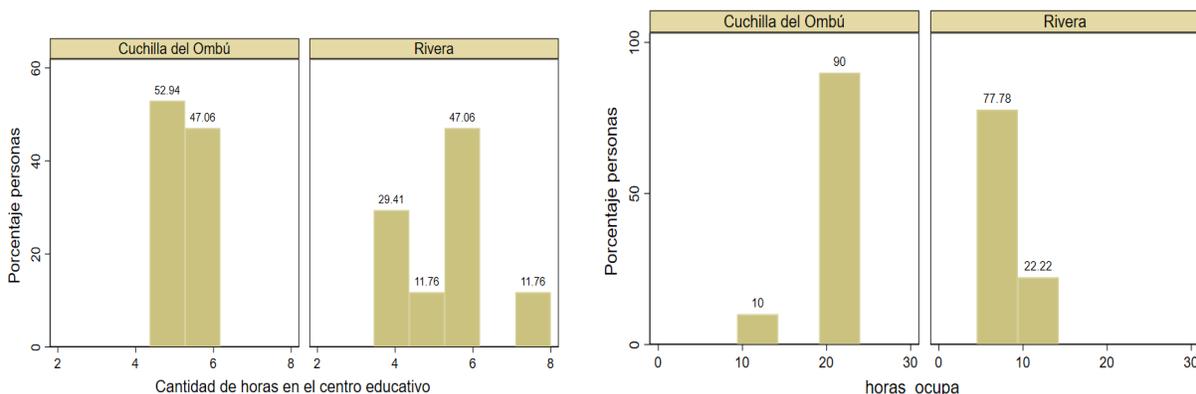
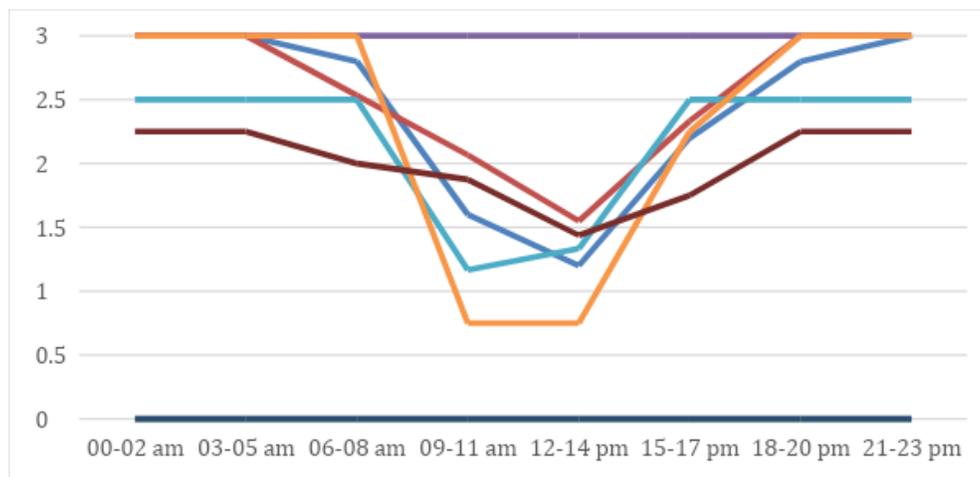


Gráfico 10 y 11. Cantidad de horas en el lugar del trabajo remunerado y en el centro educativo por los habitantes de la vivienda en un día típico o normal de la semana.

---

Otro abordaje es a partir de considerar el promedio de las horas de todos los habitantes del hogar. En las siguientes gráficas, se expresa por medio de un gráfico de líneas el promedio de permanencia de los habitantes en sus viviendas por tramo horario, cuando una línea se aproxima más a un valor de  $y=3$ , se interpreta que los individuos están en promedio las tres horas del tramo en la vivienda. En cambio, cuando la línea desciende se interpreta una menor permanencia promedio de los habitantes en la vivienda. De esta forma, cada color diferente representa una vivienda distinta.

Ahora bien, en Cuchilla del Ombú, se muestra una estructura muy estable y rutinaria del uso de la vivienda, de hecho la mayoría de la viviendas suelen estar casi todo el día interrumpidos por un menor uso de la vivienda en el período entre las 8 y las 15 horas que coincide con el horario escolar de los niños.



*Gráfico 12. Permanencia de los habitantes de Cuchilla del Ombú en la vivienda en un día típico o normal de la semana.*

Mientras que las dinámicas en Cuchilla del Ombú parecen regulares, en La Canilla el patrón es más variado, extendiéndose el tramo de 8 a 20 horas en las ausencias en la vivienda, además de ganar variabilidad en los horarios en los que se sale de la vivienda. Esto probablemente se vincule con las características urbanas de La Canilla y más rurales en el caso de Cuchilla del Ombú, en donde hay un aislamiento importante de las viviendas y una lejanía considerable con servicios e instituciones.

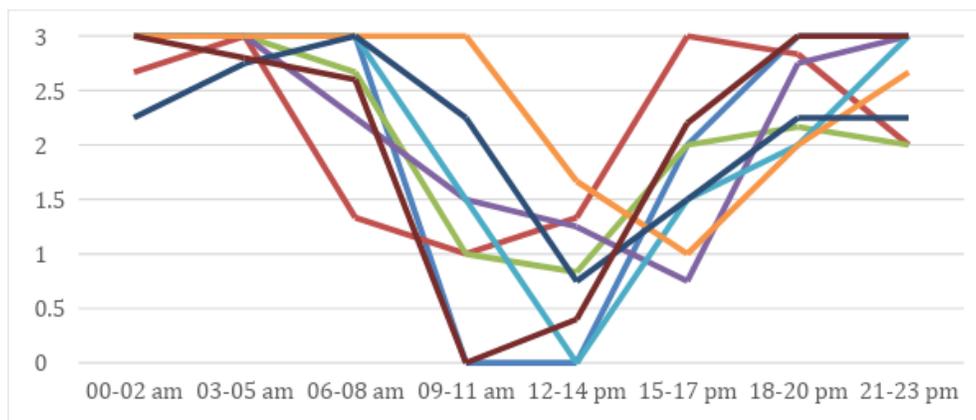


Gráfico 13. Permanencia de los habitantes de La Canilla en la vivienda de MEVIR en un día típico o normal de la semana.

Ahora bien, en las gráficas anteriores analizamos los usos de permanencia en promedio de los habitantes por hogar, según la localidad. En las siguientes gráficas analizaremos la permanencia de la vivienda de los individuos, según algunas variables que consideramos de interés como género y localidad de residencia actual.

En el caso de La Canilla, se muestra una mayor divergencia de horario entre los individuos en el uso y permanencia en la vivienda, aunque las diferencias no parecen ser sustanciales, los jóvenes menores de 18 años, tienen una mayor heterogeneidad horaria en el uso de las viviendas, en comparación con los mayores. El uso de los mayores de edad en promedio varía de gran forma en Rivera, aunque la mayor movilidad se produce entre las 8 de la mañana y las 17 horas, coincidiendo con los horarios laborales clásicos.

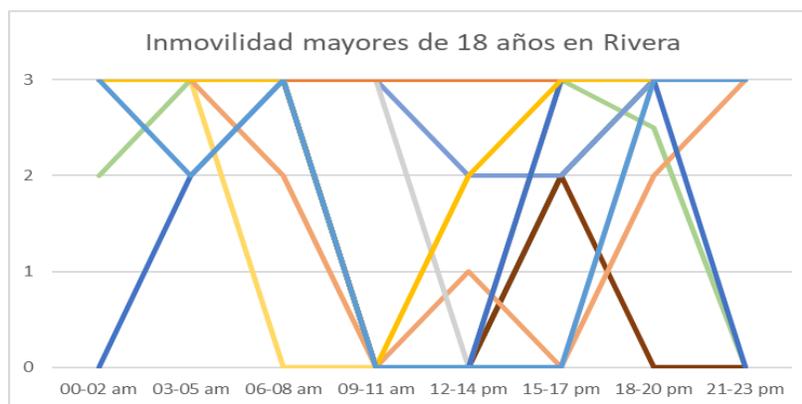


Gráfico 14. Permanencia de los habitantes mayores de 18 años de La Canilla en la vivienda de MEVIR en un día típico o normal de la semana.

Mientras que, en los menores, la mayor movilidad se da a partir de las 9 de la mañana hasta las 17 horas coincidiendo con los horarios de los centros escolares expuestos anteriormente. Posteriormente, de tarde, la variación es mayor, dando pauta de actividades realizadas por los jóvenes en la tarde.

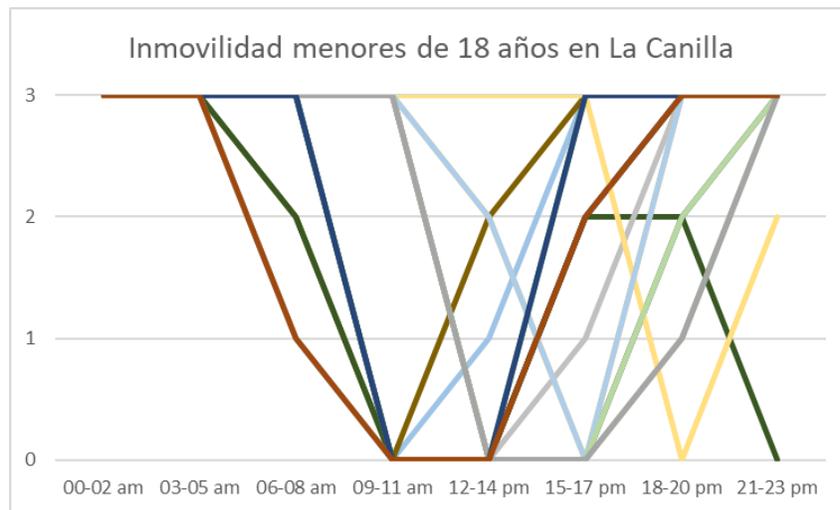


Gráfico 15. Permanencia de los habitantes menores de 18 años de La Canilla en la vivienda de MEVIR en un día típico o normal de la semana.

Mientras que, en el caso de Cuchilla del Ombú, existe una mayor variación en el uso de la vivienda por edad, ya que los menores de 18 años muestran una mayor movilidad que en el caso de los mayores de 18 años.

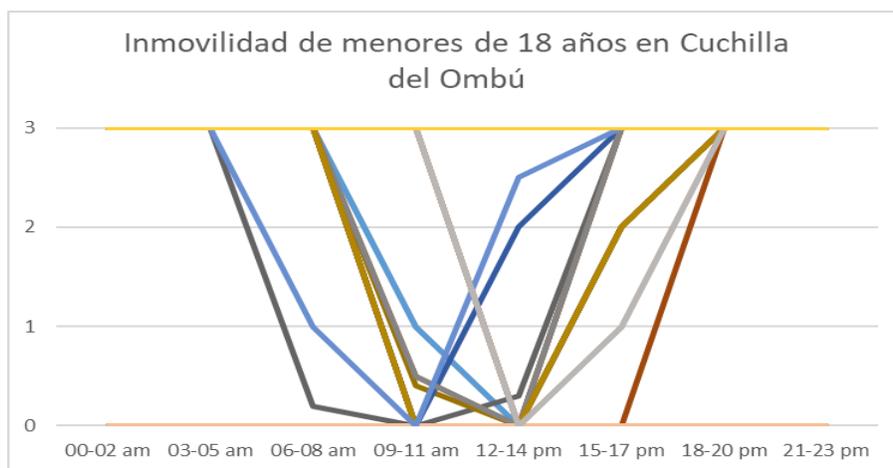


Gráfico 16. Permanencia de los habitantes menores de 18 años de Cuchilla del Ombú en la vivienda de MEVIR.

---

En este último grupo, el de las personas mayores de 18 años en Cuchilla del Ombú, existen tres escenarios complementarios: el primero está representado por la línea gris en el gráfico y son las personas que permanecen en el hogar constantemente, el segundo son aquellos que en un día típico nunca están representados en la línea azul y un tercer grupo cuya rutina implica salir en una franja entre las 10 y las 17 horas. Estos son los tres patrones de la permanencia en las viviendas en Cuchilla del Ombú promedio del total de los integrantes de la vivienda, dando cuenta de la diferencia de uso y permanencia en la vivienda según un contexto rural o urbano.

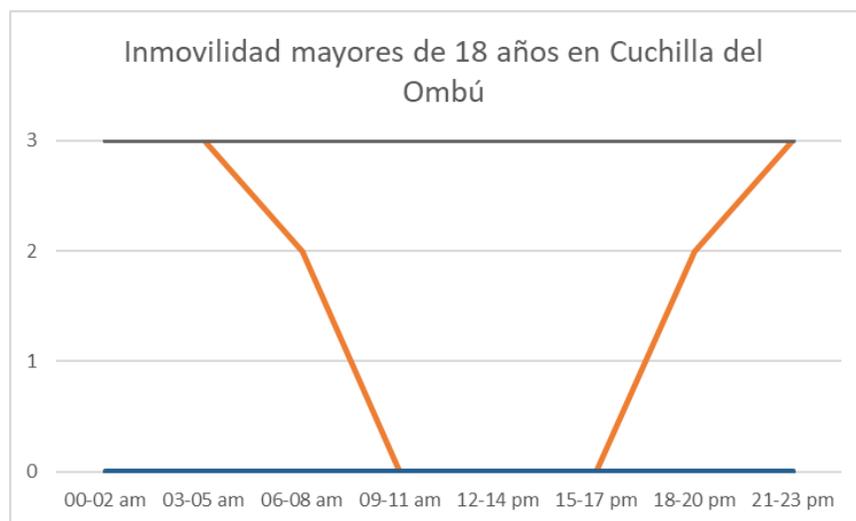


Gráfico 17. Permanencia de los habitantes mayores de 18 años de Cuchilla del Ombú en la vivienda en un día típico o normal de la semana.

#### **4.3.3.1.2. Uso de la vivienda vinculado a la eficiencia energética: Confort**

En cuanto a la tenencia y uso de distintos elementos de confort, se observa que en La Canilla hay una mayor variedad de acceso a electrodomésticos y uso respecto a Cuchilla del Ombú, lo cual puede asociarse a la cercanía con la ciudad y de relativas mayores posibilidades de consumo por parte de las personas de esta localidad.

En La Canilla, se observa un mayor acceso a bienes de confort, particularmente electrodomésticos no esenciales como la jarra eléctrica, secadora de pelo, ventilador o herramientas, en relación a Cuchilla del Ombú.

Tabla 26. Porcentaje de tenencia de elementos de confort de las viviendas de Mevir, según localidad.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla
Calentadores de agua	100	100
Extractor de aire y vapor	100	100
Aire acondicionado	0	25
Calienta camas	13	0
Ventilador	75	100
Heladera	100	100
Cocina	100	100
Batidora	63	10
Jarra eléctrica	38	63
Tostadora eléctrica	13	50
Secador de pelo	38	50
Plancha de pelo	75	25
Lavarropa	88	100
Aspiradora	13	13
Laptop	100	100
Televisión	100	100
Herramientas (amoladora, taladro, etc.)	25	38

Ahora bien, al observar cómo fue el uso dado a los equipos en la semana anterior se puede aproximar a través de la tabla que representa el promedio de días utilizado el equipo la semana anterior al uso del formulario.

Tabla 27. Promedio de veces de uso del equipo en la semana anterior a la realización del formulario, según localidad.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla
Calentadores de agua	5.38	7
Extractor de aire y vapor	1.65	6.25
Aire acondicionado	0	0.85
Calienta camas	0	0
Ventilador	1.25	3.75
Heladera	6.13	7
Cocina	5.38	6
Batidora	0.13	0.25
Jarra eléctrica	0	3.6
Tostadora eléctrica	0	2.38
Secador de pelo	0.38	0.5

---

Plancha de pelo	1.25	0
Lavarropa	3.25	6.13
Aspiradora	0	0.35
Laptop	2	5
Televisión	5.4	6.63
Herramientas (amoladora, taladro, etc)	1.13	0.88

Especialmente, como se puede observar en la tabla anterior existe un mayor promedio de uso de los equipos en La Canilla, especialmente asociado a dos factores, (i) una mayor variedad de artículos relacionado al ser una localidad de carácter más urbano y (ii) una mayor permanencia en el hogar en promedio como se pudo observar en secciones anteriores.

Dentro de las actividades que se hacen dentro de la vivienda, en relación al lavado de la ropa se realiza con frecuencia, en general no se destacan tampoco diferencias en el comportamiento entre las viviendas de Cuchilla del Ombú y La Canilla que pueda generar una mayor propensión a un ambiente más húmedo especialmente. El único indicador que muestra una diferencia significativa es el correspondiente a cocinar en casa, donde es menor en Rivera, debido a la mayor oferta de mercado.

*Tabla 28. Porcentaje declaración de realizar acciones domésticas 7 o 6 días a la semana, según localidad.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>
Lavó la ropa	5 (63%)	5 (63%)
Secó la ropa en el interior de la vivienda	0	0
Cocinó en casa	7 (88%)	5 (63%)
Usó herramientas como amoladora, taladro, etc.	0	12.5
Abrió las ventanas y/o puertas	6 (75%)	8 (100%)
Abrió algunas ventanas que sé que generan corrientes de aire	5 (63%)	7 (88%)
Suelen estar juntos en la misma habitación	6 (75%)	6 (75%)
Comen todos juntos en la misma habitación	6 (75%)	4 (50%)
Pasan mucho tiempo afuera en el patio	4 (50%)	3 (38%)

En cuanto al uso de la iluminación eléctrica, consultamos particularmente por los momentos del día en que se prenden luces eléctricas y el tipo de lámparas evidenciando que para ambos períodos siempre se prenden en la noche, y en porcentajes cercanos al

20% de los hogares encuestados, también se utilizan en la mañana y en algunos casos en verano, en la tarde.

Tabla 29. Momento del día en el que se usa luz eléctrica dentro de los hogares, en porcentaje.

Iluminación tiempo	Verano		Invierno	
	CO	LC	CO	LC
Mañana	20	40	20	20
Mediodía	0	0	0	20
Tarde	0	40	0	0
Noche	100	100	80	100

En promedio para ambas localidades, considerando ambos períodos en los que fueron visitados los hogares, hay 9.5 y 9.3 lamparitas por vivienda. Se repiten los patrones de total de lamparitas, muy marcadas por la intervención de un programa que brindó lámparas led con célula fotovoltaica además de ofrecer una capacitación sobre el consumo eléctrico. En general observamos la presencia de un importante número de lámparas led en La Canilla sobre el total de las lámparas, y un promedio muy alto de lámparas de bajo consumo en Cuchilla del Ombú.

Tabla 30. Promedio de lamparas totales y según tipo de los habitantes de las viviendas encuestadas por MEVIR.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla
<b>Total lamparas</b>	9,5	9,3
<b>Cantidad LED</b>	1,4	4,8
<b>Cantidad bajo consumo</b>	8,0	4,4
<b>Cantidad incandescentes</b>	0,1	0,1

Vinculado a la electricidad, es importante mencionar que las personas declararon para ambos períodos y en ambas localidades varió entre 4 y 4,8 siendo en todos los casos puntajes muy altos de conformidad respecto al consumo eléctrico en las viviendas. A su vez, en las preguntas cualitativas de retroalimentación con MEVIR, se mencionó positivamente el desarrollo de talleres sobre la temática y la entrega de lámparas en los hogares.

Respecto al uso de timers en los calefones, también se evaluó positivamente la realización del taller en donde recibieron capacitación para contar con herramientas para su uso. Cuando consultamos en qué momento del año se prendía el calefón, en su mayoría las

personas declararon que lo tienen prendido todo el año a causa de la instalación del timer. En invierno, en una pregunta similar, se registró que, en la mayoría de los casos, está prendido todo el día.

Tabla 31. Porcentaje de tipo de uso dado por las viviendas al calefón, por estación y localidad.

	Verano		Invierno	
	CO	LC	CO	LC
<b>Todo el año está prendido</b>	60	80	66.7	66.7
<b>Solo cuando hace frío</b>	40	20	33.3	33.3
<b>Total</b>	100	100	100	100

En cuanto al uso de griferías se releva que existen diferencias significativas en el uso por localidad y por estación. En primer lugar, en verano los hogares utilizan en mayor medida el agua fría y poniéndola a la derecha. Sin embargo, los hogares relevados en invierno en Cuchilla del Ombú y La Canilla resaltan utilizar más la canilla en el medio con la intención que el agua salga fría, siendo una acción que no contribuye en la eficiencia energética. Por lo que se podría hacer campañas para la difusión de hábitos en eficiencia energética.

Tabla 32. Porcentaje de tipo de uso de griferías, por estación y localidad.

	Verano		Invierno	
	CO	LC	CO	LC
<b>Fría y pongo la canilla a la derecha</b>	60	80	33	0
<b>Fría y pongo la canilla en el medio</b>	20	20	67	100
<b>Tibia y pongo la canilla en el medio</b>	20	0	0	0

#### 4.3.3.2. Uso de la vivienda vinculado a la humedad y emisión de vapores

Para acercarnos al conocimiento sobre la humedad indagamos algunos aspectos vinculados a la emisión de vapores, que sin duda afectarán de manera distinta a la concentración de la humedad en las viviendas, en relación a aspectos como la ventilación de la misma. También se preguntó acerca del uso de habitaciones para secar ropa, además de las formas de administrar el vapor emitido durante la cocina, y la cantidad y frecuencias de baños que se dan por día.

En general, registramos ante la pregunta de si se usa una habitación dentro de la vivienda para secar la ropa, en Cuchilla del Ombú en el 100% de los casos nos contestaron que no, y

en 4 casos (25%) del total de los hogares de La Canilla que sí, por lo que puede incidir en el aumento de la producción de vapor interior. En general, la ropa se tiende en el exterior de la vivienda<sup>7</sup>, siendo solamente en ocasiones puntuales como se puede ver en la diferencia con respecto a la tabla 28.

En cuanto a la cantidad de baños, tanto en Rivera como en Tacuarembó, los habitantes tienen un patrón similar en el baño, donde la mayoría de los individuos suelen darse un baño por día, siendo en menor medida (más presente en La Canilla) el uso de dos baños por día.

Tabla 33. Promedio de baños semanales en un día típico de los habitantes de las viviendas Mevir, según localidad.

	Promedio de baños por semana	Desvío estándar
<b>Cuchilla del Ombú</b>	6,8	0,8
<b>La Canilla</b>	8,8	0,7

Se realizaron preguntas para conocer posibles efectos de la presencia de la humedad y también de su generación. Para cada uno de los ítems presentados en la tabla a continuación se consultó “En una escala del 1 al 5, donde 1 es nunca y 5 siempre, ¿qué tan frecuentemente...”. En general se observa que en las respuestas indican “nunca” o “pocas veces” en relación a toser o toser en lugares húmedos, cocinar sin usar el extractor.

Tabla 34: Promedio de percepción de aspectos vinculados con la humedad, según localidad y estación.

	Verano		Invierno	
	CO	LC	CO	LC
Toso	2	1,8	2,8	2,2
Toso en lugares húmedos	1,2	1,4	2,6	1,8
Cocinó con la olla destapada y sin extractor	2,4	2,6	2,2	3
Compra comida afuera	1,4	1,4	2	1,4
Se hincha madera	1,8	1	2	1,4
Me doy duchas largas	2,6	1,8	3,6	2,6
La casa está fría y ventanas cerradas	1,6	1	2,8	1,4
No abre las ventanas porque está frío	2,2	1	2,8	1,4
Hay hongos en la vivienda	1	1	2,6	2,4
Manchas en la pared	1,2	1	2,6	2,4
Olor a humedad	1	1	2	1,2

<sup>7</sup> Las diferencias registradas con respecto a la tabla 28 se debe que en dicha tabla se porcentualizo si la acción se realizaba 7 o 6 días a la semana.

Siguiendo con la humedad emitida, las duchas largas son más frecuentes en Cuchilla del Ombú en el período frío (3,6) en relación al período caluroso y a La Canilla en donde los baños largos son menos frecuentes.

Respecto a la ventilación de la vivienda, en muy pocos casos no se abren las ventanas, incluso en el período frío se registra que las viviendas se ventilan mediante la apertura de ventanas en los promedios de respuesta a la casa está fría y las ventanas están cerradas y no abro las ventanas porque está frío. En cuanto la percepción de hongos en la vivienda y manchas en las paredes, si bien la mayoría de respuestas aluden en promedio a que no sucede de manera frecuente o muy frecuente, los puntajes aumentaron en ambos períodos, enunciando un aumento de problemas de la humedad no asociados al uso de la vivienda, sino a la estructura en el período de invierno. Sin embargo, el olor a humedad no tuvo un aumento marcado entre períodos, así como si se hincha la madera.

#### 4.3.3.3. Uso de la vivienda vinculado a la ventilación

Profundizando en los aspectos de la ventilación de la vivienda, se consultó si se abrían las ventanas y en qué momentos del día.

En cuanto a la apertura de ventanas, todas las viviendas abrieron al menos una ventana o puerta el día anterior. En general, se declaró en verano que se abren todo el día en Cuchilla del Ombú mientras que en La Canilla se cierran, probablemente ante el uso de equipamiento de ventilación o aires acondicionados.

*Tabla 35: Porcentaje que contestó que sí abrió las ventanas según el momento del día en el que ventila la casa, según estación y localidad.*

Momentos del día que abre la ventana	Calor		Frío	
	CO	LC	CO	LC
Todo el día	60	20	0	0
De mañana	40	40	0	60
Al mediodía	20	40	50	50
A la tarde	20	20	50	80
De noche	0	20	25	0
En un momento puntual	0	0	0	20

---

#### 4.3.3.4. Uso de la vivienda vinculado a las acciones ante el calor o frío

En cuanto a las medidas que los habitantes de las viviendas toman ante el frío o calor, se mencionó una lista de acciones, marcando todas las que se realizan. En el 100% de los casos en Cuchilla del Ombú se abren las ventanas ante el calor y en el 80% se mencionó que se hace en La Canilla. Y mientras que en Cuchilla del Ombú en el 100% se sale afuera para refrescarse, en La Canilla permanece un 40% en el hogar y sale un 60%, probablemente por las altas temperaturas en dicha zona del territorio y la refrigeración dentro de la vivienda. De hecho, dentro de las actividades que se realizan dentro de la vivienda, en La Canilla como medida ante el calor el 100% de las personas informantes se refresca con un baño, mientras esto lo hace el 80% de las de Cuchilla del Ombú. En La Canilla, que es más caluroso, un 60% prende el ventilador (ante un 100% en Cuchilla del Ombú). Por último, de forma menor, en la Canilla las personas declaran en un 20% que mojan el piso para refrescarse, así como prender el aire acondicionado.

Tabla 36. Proporción de las acciones tomadas por los habitantes de las viviendas al sentir calor.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla
<b>Abre las ventanas.</b>	100	80
<b>Bañarse</b>	80	100
<b>Sale afuera</b>	100	60
<b>Prende ventilador</b>	100	60
<b>Prende el aire acondicionado</b>	0	20
<b>Moja techos y paredes</b>	0	20

En relación a las medidas ante el frío en Cuchilla del Ombú todos declararon prender el calefactor a leña ante el frío, un 20% prende aires acondicionados y un 20% ingiere alimentos o infusiones para calentarse. Esto es distinto en La Canilla en donde un 66% dijo que se acuesta en la cama para abrigarse, un 66% prende el calefactor, un 20% prende estufa eléctrica y un 40% ingiere alimentos o infusiones para calentarse. En este sentido, cabe remarcar que no todos los usuarios utilizan el calefactor a leña provisto por Mevir para el calefaccionamiento de la vivienda.

Tabla 37. Proporción de las acciones tomadas por los habitantes de las viviendas al sentir frío.

	Cuchilla del Ombú	La Canilla
<b>Me acuesto en mi cama</b>	0	66
<b>Prendo el calefactor a leña</b>	100	66

---

<b>Prendo una estufa a gas</b>	0	0
<b>Prendo una estufa eléctrica</b>	0	20
<b>Prendo el aire acondicionado</b>	20	0
<b>Cocino / tomo algo caliente</b>	20	40
<b>Me abrigo</b>	0	40

#### 4.3.4. Equipamiento

En esta sección analizamos brevemente la composición del equipamiento de las viviendas y su uso. En cuanto al equipamiento y uso de la vivienda, en la sección de uso fue presentado un listado mostrando que las viviendas cuentan con mayor equipamiento en La Canilla en relación a Cuchilla del Ombú. Respecto al uso del equipamiento, además del de iluminación eléctrica, ya presentado, y también de la tenencia y uso del calefón (donde se utiliza todo el día con timer) se consultó también acerca del uso de la calefacción. Donde en promedio, los hogares de Rivera, utilizan más el calentador a leña que los hogares de Tacuarembó, de hecho, en la semana anterior a la encuesta, ningún hogar de Cuchilla del Ombú utilizó el calentador a leña la semana anterior. Estos datos

Se debe establecer la salvedad de que la semana anterior a la realización de la segunda medición en julio fue particularmente calurosa para la estación con máximas de 24 grados, en ambos departamentos, igualmente se constata una tendencia mayor a utilizar el calefactor a leña en Rivera que en Tacuarembó.

*Tabla 38. Cantidad de horas promedio que se usó el calentador a leña la semana anterior, según localidad.*

	<b>Horas promedio</b>
<b>Cuchilla del Ombú</b>	0
<b>La Canilla</b>	38,2

Como se puede apreciar, los niveles de conformidad respecto a la calificación de las viviendas de MEVIR son altos o muy altos.

*Tabla 39. Porcentaje de valoración del equipo de calefacción de las viviendas de Mevir, según localidad.*

	<b>Cuchilla del Ombú</b>	<b>La Canilla</b>
<b>Muy inconforme</b>	0	0
<b>Inconforme</b>	0	0
<b>Ni conforme ni inconforme</b>	0	0
<b>Conforme</b>	0	0

<b>Muy conforme</b>	4 (100%)	5 (100%)
<b>Total</b>	4 (100%)	5 (100%)

#### 4.3.5. Modificaciones a la vivienda

Brevemente, las viviendas no sufrieron grandes modificaciones que afecten las estimaciones de los modelos ya que todos los usuarios colocaron cortinas, y en La Canilla, además se plantaron árboles y se hicieron dos galpones.

Tabla 40. Cantidad de reformas realizadas en las viviendas.

	<b>Cuchilla del ombú</b>	<b>La Canilla</b>	<b>Total</b>
<b>Perforaciones pequeñas para cables</b>	1	0	1
<b>Galpón</b>	0	2	2
<b>Cortinas</b>	8	8	16
<b>Árboles para la sombra</b>	0	4	4

(\* una reforma puede estar en varias viviendas)

#### 4.4. Retroalimentación con MEVIR

Finalmente, se consultó sobre la asistencia a talleres en ambas localidades. Para quienes contestaron que sí, se preguntó a qué tipo de talleres habían ido. Las respuestas fueron escritas tal y como las expresaron las personas, en ambas localidades:

Tabla 41. Tipo de talleres que los usuarios de MEVIR recuerdan haber recibido.

<b>La Canilla</b>
Accidentes de obra, eficiencia energética y uso de equipos
Utilización de energía energética. Uso del Calefactor y estufa. Ventilación de la casa. Uso de la vivienda. Agrónomo.
Cuidado de obra, mantenimiento de casa y seguridad
Energía. Árboles y energía y luz. Dos que yo me acuerde
Mediciones y explicación del bajo consumo.
Obra, mantenimiento casa
Hablaron sobre la ventilación, uso del mono comando, timer en calefón, sobre tirar la grasa en el Water para que no se tape la grasera.
<b>Cuchilla del Ombú</b>
Obra y uso de lámparas
Calefactor. Cómo limpiar la estufa. Energía y minería: horarios de cierre de cortina para que no caliente la vivienda. Instalación de regulador en el calefón.

---

Seguridad en el trabajo, eficiencia energética
Seguridad laboral y uso calefacción
Como se usa equipos (calefón, heladera y persiana)
Plan de vivienda
De la construcción, árboles , para ver cuándo empezar la cuota
Eficiencia energética y sobre uso de las luces.

A su vez, solicitamos que se valorarán los talleres y actividades promovidas por MEVIR, “En una escala del 1 al 5 en donde el 1 está muy en desacuerdo y el 5 muy de acuerdo, ¿cuán de acuerdo está con las siguientes afirmaciones?

*Tabla 42. Promedio de valoración de los talleres de Mevir, según localidad.*

	CO	LC
La cantidad de sesiones de taller me parecieron suficientes para aprender	4,8	4
Las reuniones me aportaron información nueva	4,4	3,5
Valoro el vínculo con los talleristas	4,8	4
Nos sirvió para afianzarnos como grupo	4,2	3
Las reuniones me aportaron información nueva que pude aplicar en mi casa	4	4,5
El taller me permitió manejar mejor mi calefactor	4,6	4,5
El taller me permitió manejar mejor mi calefactor y vi resultados en el gasto en la luz	4,6	3,75
El taller me permitió manejar mejor la energía, lo cual me redujo gastos	4,4	3,75
Quiero participar en más talleres	3,6	3,75
No quiero participar en más talleres	2,8	2
Recomiendo los talleres a otras personas	5	4,5

En general los talleres fueron muy bien evaluados en ambas localidades, particularmente en los puntos: “La cantidad de sesiones de taller me parecieron suficientes para aprender, Las reuniones me aportaron información nueva que pude aplicar en mi casa, El taller me permitió manejar mejor mi calefactor, Valoro el vínculo con los talleristas, Recomendando los talleres a otras personas. En cuanto a los aspectos: Las reuniones me aportaron información nueva, Nos sirvió para afianzarnos como grupo, El taller me permitió manejar mejor mi calefactor y vi resultados en el gasto en la luz, El taller me permitió manejar mejor la energía, lo cual me redujo gastos, El taller me permitió manejar mejor la energía, lo cual me redujo gastos, Quiero participar en más talleres” en Cuchilla del Ombú los puntajes siempre son más altos que en La canilla, en donde el puntaje en la dimensión grupal es más bajo.



---

Por ejemplo, al comparar la ilustración 2 y 3 donde se compara las menciones en invierno y verano en ambas localidades, surge que las menciones a filtraciones son más importantes en invierno, aunque ya existe alguna mención en verano.



*Ilustración 3. Nube de palabras de recomendaciones y aportes a MEVIR por parte de los usuarios de La Canilla y Cuchilla del Ombú en el período de invierno.*

Al comparar entre localidades, nuevamente se reafirman aspectos más positivos en Cuchilla del Ombú mientras que en la Canilla, las menciones vuelven a concentrarse acerca de la humedad, donde las palabras más frecuentes son agua, filtración, filtra, aguas, etc. Ahondamos en algunas descripciones a continuación a partir de las respuestas a las preguntas abiertas “para terminar, ¿qué aspectos a mejorar realizaría en la vivienda?” y “Finalmente: ¿tiene alguna recomendación para Mevir?, “Quiere agregar algo más?”.

### **Cuchilla del Ombú.**

Teniendo en cuenta que la valoración de las viviendas es altamente positiva como se ha evidenciado anteriormente, en Cuchilla del Ombú también fue utilizado el espacio de preguntas abiertas para agradecer a Mevir, valorar la formación y para remarcar que la casa es “perfecta” y que está “todo bien”.

También se señalaron algunos aspectos que mejorarían de las viviendas, pero no todos aluden a las competencias de MEVIR. Por ejemplo “cuartos más grandes”, “ventanas del estar amplias y mejoras en exteriores”, “desnivel del fondo”, “incorporar barandas afuera”.

En un caso se solicitan más convocatorias a talleres por parte de la institución, aunque como se mostró en la encuesta, los promedios de voluntad de asistencia a nuevos talleres son en general más bajos en relación a otros ítems consultados.

---

Finalmente, como aspectos estructurales negativos en el caso de Cuchilla del Ombú las menciones son escuetas aludiendo a humedad en un cuarto y al olor de las cámaras, que están colocadas delante de las viviendas y desearían estuviesen en el fondo.



*Ilustración 4. Nube de palabras de aspectos a mejorar y recomendaciones a Mevir por los habitantes de Cuchilla del Ombú.*

## La Canilla.

En el marco de la amplia evaluación positiva de las viviendas, en el espacio abierto para comentarios y retroalimentación con MEVIR se agregaron aspectos positivos como que todo lo relativo a la vivienda está bien, que es positivo el vínculo con MEVIR e incluso que el trato con oficiales es excelente y se han generado vínculos de amistad. El espacio de preguntas abiertas también fue utilizado para mencionar algunos aspectos de las viviendas que les gustaría mejorar, aunque en los comentarios realizados se encuentran señalamientos que no dependen directamente de MEVIR: por ejemplo, mejorarían la “pintura de la reja y de las ventanas”, “mejora de aspectos de seguridad y vínculo con el barrio”, “que no dejen las casas tan aisladas respecto a la medianera”. Solicitan arreglos de la estufa, así como apoyo para reparaciones de cámaras tapadas.

Vinculados a la estructura mencionan que las casas de La Canilla podrían tener mayor altura, colocar techos en el frente para generar sombra y barandas afuera (también mencionan que son calurosas en verano, aunque esta región tiene temperaturas más altas en general). En algunos casos se señala que los “dormitorios son pequeños” y respecto al



---

## 5. Conclusiones

El Capítulo 4 resume los aspectos centrales del proceso de creación de un formulario de encuesta, su aplicación en dos períodos (caluroso y frío) y análisis de los datos en hogares de viviendas de MEVIR de Cuchilla del Ombú y La Canilla. Es la base para la formulación de las “schedules” del programa EnergyPlus en la que se deben explicitar los patrones de uso de las viviendas y de los equipos.

El relevamiento persiguió el objetivo general de conocer las características de los hogares, de sus habitantes, caracterización de la vivienda anterior y la actual, del uso de la vivienda, de los niveles de conformidad con la misma a lo que se sumaron algunas preguntas de retroalimentación con MEVIR, con el fin de conocer si existen diferencias entre ambos planes (tradicional y piloto de madera) y si los indicadores sociales guardan algún tipo de relación con las mediciones realizadas en cuatro de las viviendas donde se realizaron mediciones de temperatura y de humedad.

Se encuestaron 16 núcleos familiares (ocho en Cuchilla del Ombú y ocho en La Canilla) y en el caso de las viviendas en donde se realizaron mediciones de temperatura, humedad (cuatro en total) se realizó la encuesta en ambos períodos (caluroso y frío) mientras que en las otras viviendas se encuestó en un período, alcanzando (a excepción de un caso) el total de las viviendas en las dos intervenciones.

Las personas y las formas de habitar la vivienda variaron entre ambas localidades: en Cuchilla del Ombú se encontró un perfil de uso de la vivienda marcado por la presencia de mujeres y niñas y niños en los hogares, mientras que los varones trabajan buena parte de la semana en estancias aledañas. Es una zona marcada por escasos servicios y centros urbanos, siendo las viviendas habitadas durante varias horas del día y las salidas escuetas y asociadas a los ritmos escolares y/o realización de tareas domésticas.

En el caso de La Canilla la cercanía con la ciudad y el perfil de la población que habita las viviendas genera dinámicas diferentes de uso de las mismas, más marcadas por las salidas al mercado laboral (particularmente de las mujeres, entre quienes el 44% están ocupadas, cifra que disminuye a 14% en el caso de Cuchilla del Ombú) y las salidas a los centros educativos y otras actividades. Estos cambios en la actividad y permanencia y uso de la vivienda también se acompañan de diferencias en los niveles educativos entre la población de Cuchilla del Ombú (la mitad de las personas informantes tiene como máximo nivel

---

---

educativo alcanzado Primaria completa) y la de La Canilla, en donde más de la mitad completó hasta 3ero de Educación Media.

Dentro de los aspectos centrales de indagación se buscó conocer el nivel de conformidad con la vivienda actual y con aspectos particularmente vinculados al desempeño térmico como la temperatura de la casa, sumado a conocer aspectos del uso de la vivienda. Estos datos abonaron la generación de perfil de usuario presentada en el Capítulo 3, y permiten relacionar las percepciones de la población y el uso de las viviendas con el desempeño térmico de las mismas.

Se partió del supuesto de que las valorizaciones de las viviendas actuales podían estar mediadas por las experiencias en viviendas anteriores, para lo cual se indagó sobre algunas de las características de las viviendas anteriores de los habitantes, encontrando que en la mayoría de los casos los actuales integrantes de las viviendas tanto en Cuchilla del Ombú como en La Canilla vivían en las mismas localidades antes y que la amplia mayoría tenía problemas como humedades en techos, goteras, muros agrietados entre otros. En un índice de sumatoria simple de las problemáticas de las viviendas anteriores se registró que en las viviendas anteriores de las personas del plan piloto en La Canilla había 8 de 13 problemas graves, mientras que en Cuchilla del Ombú las viviendas presentaban en promedio 6 de 13 problemas graves.

Además de los problemas de la vivienda se consultó por los niveles de conformidad con la vivienda anterior a fin de ser comparados con los niveles de conformidad con la vivienda actual. En el caso de La Canilla, en donde las viviendas tenían más problemas materiales, se registraron niveles más altos de conformidad de la vivienda actual en relación a la vivienda anterior en comparación con Cuchilla del Ombú.

Sin embargo, y de manera coherente con el registro de viviendas anteriores en peores condiciones en el caso de La Canilla, aparece que en esta localidad el aumento de la conformidad entre la vivienda anterior y la actual es más pronunciado que el aumento en la conformidad con la vivienda actual respecto a la anterior por parte de los encuestados de Cuchilla del Ombú.

También se consultó tanto para las viviendas anteriores como para las actuales una valoración sobre la temperatura durante el período caluroso y frío. En el período caluroso, la valoración de la temperatura en La Canilla son más frescas que en Cuchilla del Ombú,

---

---

aunque una diferencia no es significativa. Por otra parte, al poner en relación con la vivienda anterior, se encuentra que en Cuchilla del Ombú la vivienda anterior es señalada como mínimamente más calurosa y en la Canilla que las viviendas actuales son sensiblemente más frescas.

En el período frío, en ambas localidades se encuentra que la vivienda actual aísla más del frío que la vivienda anterior, según las valoraciones de los propios encuestados.

La percepción de mayor calor en las viviendas de La Canilla, se vincula con los resultados expresados en el Capítulo 2, en donde se destaca un 69% de discomfort en relación al 60% registrado para las viviendas de Cuchilla del Ombú. El porcentaje se refiere a la cantidad de horas que según las mediciones las viviendas están bajo una situación de discomfort, por lo que es necesario una mayor uso de energía para llevarlo a una situación de confort. Esto coincidió con una menor valoración de la temperatura en el período caluroso de los usuarios de las viviendas en La Canilla en relación a los de Cuchilla del Ombú.

En cuanto a la valoración del equipo se encuentra que existe una alta valoración de los equipos que cuenta el hogar, aunque es un poco mayor en Cuchilla del Ombú que en la Canilla, posiblemente dada la condición de ruralidad y distancia de los principales bienes y servicios. Mientras que el equipamiento para la calefacción tiene la máxima valoración posible en las dos localidades, dando cuenta de la importancia y vigencia del calefactor otorgado por MEVIR.

Respecto a las horas en las que las personas están en las viviendas, de manera coherente con los perfiles de la población presentados más arriba, la permanencia en la vivienda es mayor en Cuchilla del Ombú que en La Canilla, a excepción de los niños/as y adolescentes que asisten a los centros educativos. En las viviendas en La Canilla las personas están menos y salen en momentos distintos del día por las dinámicas del mercado laboral y la cercanía con una mayor oferta de actividades por la proximidad con la ciudad. Estos indicadores de permanencia en la vivienda y también algunos indicadores de los espacios más habitados abonaron los modelos de usuarios creados en el simulador, presentados en el Capítulo 3.

En cuanto al consumo eléctrico y presencia de electrodomésticos en las viviendas, se observa una mayor cantidad en La Canilla en relación a Cuchilla del Ombú y se registró un uso regular del timer y un seguimiento de las indicaciones en los talleres impartidos por

---

---

MEVIR respecto al uso de lámparas de bajo consumo y led, así como en un uso eficiente de la grifería monocomando. A su vez, si bien la emisión de vapores por la cocina y los baños varían según las características de los hogares (por ejemplo, la cantidad de integrantes), se registró un uso extendido del extractor o de ventilación natural (apertura de ventanas) a la hora de cocinar.

Respecto a la apertura de ventanas, se registró que durante el período caluroso en La Canilla se abren menos, probablemente para mantener la refrigeración de las viviendas generada con aire acondicionado o ventiladores. En los períodos de frío, en ninguna vivienda de ambas localidades se abren las ventanas durante todo el día.

Finalmente, respecto a las valoraciones y retroalimentación con MEVIR, la experiencia de las viviendas es ampliamente positiva para todas las personas de ambas localidades. Los talleres recibidos han sido valorados positivamente de manera amplia. Respecto a algunos aspectos negativos, se registra que además de una percepción de temperaturas más altas en La Canilla durante el período caluroso en comparación con las viviendas de la Cuchilla del Ombú, se señalaron problemas de infraestructura en la nueva tipología que alude a filtraciones de agua y mayor presencia de humedades.

En tal sentido, los resultados de las valoraciones e impresiones permiten resumir que las viviendas implementadas por MEVIR, independientemente del diseño, tienen una mejor valoración con respecto a la vivienda anterior. Ahora bien, al poner en relación los dos diseños constructivos, se constata que las viviendas de la tipología tradicional presentan menos valoraciones negativas y problemas en el desempeño térmico y la humedad que las del nuevo plan piloto. Además, las valoraciones en las encuestas son coincidentes con las mediciones del desempeño térmico de las viviendas. Es decir, aunque la temperatura es similar en ambas localidades, las poblaciones valoraron de forma diferente la temperatura de las viviendas, en parte se explica por la adaptación a las temperaturas medias del lugar.

---

## Referencias bibliográficas

Akroush, M. N., Zuriekat, M. I., Al Jabali, H. I., & Asfour, N. A. (2019). Determinants of purchasing intentions of energy-efficient products: The roles of energy awareness and perceived benefits. *International Journal of Energy Sector Management*. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJESM-05-2018-0009/full/html>

Ek, K., & Söderholm, P. (2010). The devil is in the details: Household electricity saving behavior and the role of information. *Energy Policy*, 38(3), 1578-1587. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421509008908>

Fu, W., Zhou, Y., Li, L., & Yang, R. (2021). Understanding household electricity-saving behavior: Exploring the effects of perception and cognition factors. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 116-128. [:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550921001081](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550921001081)

Nel, P. J. C., Booysen, M. J., & Van der Merwe, B. (2016). Energy perceptions in South Africa: An analysis of behaviour and understanding of electric water heaters. *Energy for sustainable development*, 32, 62-70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082615301666>

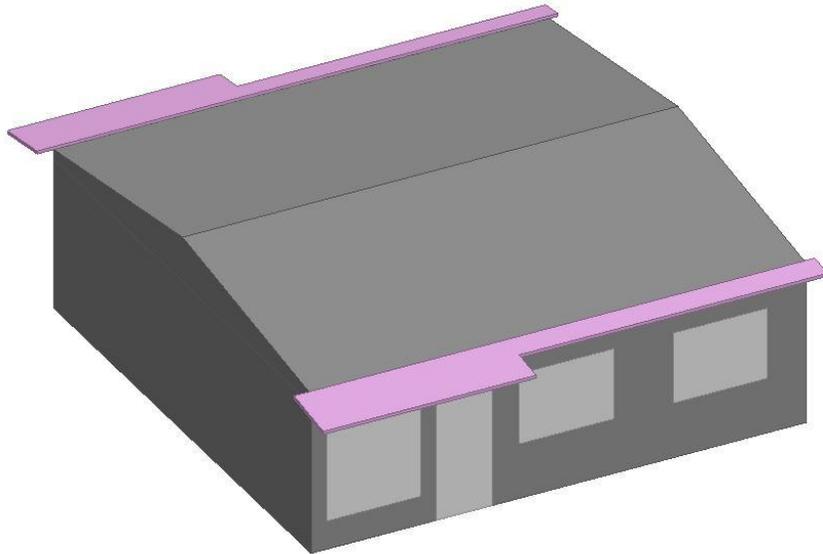
Pérez P., A. L. (2011a). La calidad del hábitat para la vivienda de interés social. Soluciones desarrolladas entre 2000 y 2007 en Bogotá. *Revista INVI*, 26 (72), 95-126. Recuperado de: <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/543/681>

Ryu, D. H., & Kim, K. J. (2022). How do households perceive electricity consumption? Evidence from smart metering and survey data in South Korea. *Energy Research & Social Science*, 92, 102770. [: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629622002730](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629622002730)

Wang, Z., Zhang, B., Yin, J., & Zhang, Y. (2011). Determinants and policy implications for household electricity-saving behaviour: Evidence from Beijing, China. *Energy Policy*, 39(6), 3550-3557.

# CAPÍTULO 5: HERRAMIENTA

---



---

## Índice del capítulo

<b>Lista de acrónimos</b>	<b>174</b>
<b>Definiciones</b>	<b>174</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>175</b>
2. Desarrollo de la herramienta	176
2.1. Selección de variables	176
2.2. Simulaciones en EnergyPlus	177
2.3. Correlaciones mediante redes neuronales	178
2.4. Demanda y consumo	181
2.5. Variables de decisión económicas	181
<b>3. Ejemplos de uso de la herramienta</b>	<b>182</b>
3.1. Tipología “Tradicional”	182
3.2. Tipología “Madera”	184
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>185</b>

---

## Lista de acrónimos

COP - *Coefficient of performance*

EER - *Energy efficiency ratio*

$D_{Ref}$ ,  $D_{Cal}$  - Demanda de energía para refrigeración y calefacción respectivamente

$E_{Ref}$ ,  $E_{Cal}$  - Energía consumida para refrigeración y calefacción respectivamente

$F_i$  - Ahorro económico anual del año  $i$

HVAC - *Heating, Ventilating and air conditioned*

$I_0$  - Sobrecosto de la inversión inicial de la vivienda

$k$  - Tasa de descuento o el tipo de interés

VAN - Valor actual neto

## Definiciones

**Demanda (o requerimiento) de energía:** Energía útil o necesaria para calefaccionar y refrigerar la vivienda con la finalidad de mantenerse dentro de los criterios de confort sólo en las habitaciones donde se encuentra al menos una persona y únicamente durante la permanencia de las mismas, bajo las condiciones climáticas del año meteorológico típico de la localidad. El valor obtenido de requerimiento energético no contempla el rendimiento (o COP: *coefficient of performance*) del sistema de acondicionamiento térmico, siendo directamente la energía que se debe agregar o extraer de la vivienda.

**Consumo de energía:** Energía neta por el sistema de calefacción y refrigeración para mantenerse dentro de los criterios de confort.

**Conductancia térmica:** La conductancia térmica (C), es una medida de transferencia de calor a través de los materiales, formados por una o varias capas, y en condiciones de laboratorio. En este caso se mide la cantidad de calor transferido a través del material en un tiempo y superficie unitarios, para un espesor especificado.

**Transmitancia térmica:** La transmitancia térmica (U) es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1 °C (o 1K) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa. A diferencia de la conductancia, la transmitancia incluye los efectos de película (convección interior y exterior) dado que se considera un elemento constructivo en una situación real.

---

## 1. Introducción

Este sexto capítulo compila los resultados del trabajo realizado correspondientes al quinto objetivo específico: *"Herramienta de evaluación energética según ciertas variables de diseño y constructivas con análisis costo beneficio de las medidas de eficiencia energética identificadas"*.

La finalidad de la herramienta es dar insumos para analizar de forma ágil y simplificada el impacto energético y económico de posibles modificaciones en los materiales utilizados para construir las viviendas de la tipología "Cardal" en sus dos versiones ("Tradicional" y "Piloto Madera").

Tomando como base las tipologías construidas en Cuchilla del Ombú ("Tradicional") y La Canilla - Rivera ("Piloto de madera), la herramienta de cálculo es capaz de determinar el ahorro energético y económico al variar de forma moderada la composición material de la envolvente opaca (cubierta y muros exteriores), así como la orientación de la misma.

En primer lugar se presenta un detalle de cómo fue desarrollada la herramienta explicitando las hipótesis y fundamentos utilizados. Luego se describe una guía de uso, finalizando con la presentación de dos ejemplos.

---

## 2. Desarrollo de la herramienta

La herramienta consta de una hoja de cálculo (.xlsx o .odt), la cual permite realizar modificaciones en algunas variables de diseño, obteniendo como resultado el ahorro energético y económico respecto al caso base, así como el período de repago de la modificación y el VAN a los 20 años.

El cálculo de la demanda de energía anual para acondicionamiento térmico realizado en la hoja de cálculo se realiza a partir de una correlación obtenida con redes neuronales basadas en los resultados de una serie de simulaciones realizadas en EnergyPlus.

Por lo tanto, en primer lugar se realizaron simulaciones en EnergyPlus planteando combinaciones de modificaciones, las cuales superan las tres mil corridas por tipología (tradicional o madera). A partir de estos resultados, mediante el uso de redes neuronales, se obtuvieron correlaciones entre las entradas y salidas de las simulaciones. Obtenidas estas correlaciones, se replicaron las redes neuronales en la planilla de cálculo.

### 2.1. Selección de variables

A partir del análisis de resultados de las simulaciones detallado en el Capítulo 3, se identificaron y seleccionaron las variables de diseño con mayor incidencia en la demanda de energía para acondicionar térmicamente la vivienda, tanto en el periodo caluroso como frío. Estas variables de diseño se detallan en la tabla 1.

Variable	Tipología "Tradicional"	Tipología "Madera"
Conductancia térmica de la cubierta	0,28 a 1,45 W/m <sup>2</sup> K	-
Conductancia térmica del cielorraso	-	0,28 a 1,48 W/m <sup>2</sup> K
Absortividad solar de la cubierta	0,20 a 0,60	0,20 a 0,60
Conductancia térmica de los muros exteriores	0,24 a 0,94 W/m <sup>2</sup> K	0,27 a 1,16 W/m <sup>2</sup> K
Absortividad solar de las paredes exteriores	0,20 a 0,60	0,20 a 0,60
Orientación solar	0 a 359°	0 a 359°

*Tabla 1. Variables de diseño modificables y el rango para el cual la herramienta fue generada.*

La absortividad solar cambia con el acabado superficial, tanto de las paredes exteriores como de la cubierta. Por lo tanto, la herramienta permite seleccionar entre un menú de opciones predefinidas. Para esas superficies se asume un valor de absortividad térmica de

---

0.8, que si bien puede variar para distintas terminaciones, dadas las opciones disponibles se tomó este valor como representativo.

La conductancia térmica de la envolvente depende de cómo está constituida la misma. Es decir, con qué materiales y el espesor de cada capa. La herramienta toma como variable la conductancia quedando por fuera la inercia térmica de la envolvente. Por lo tanto, la herramienta permite analizar con muy buena apreciación cambios en la envolvente que no generen grandes cambios en la inercia térmica de la misma. Es decir, que no se afecte en gran medida la masa de la envolvente respecto a la configuración original.

## 2.2. Simulaciones en EnergyPlus

Las simulaciones se realizaron bajo ciertas hipótesis y/o consideraciones, siendo estas:

- Clima: Cada correlación, correspondiente a la tipología tradicional y al piloto de madera, fue desarrollada con el año meteorológico típico de la localidad donde se encuentran construidas, siendo estos Tacuarembó y Rivera respectivamente.
- Ocupación y criterios de apertura y cierre de ventanas y protecciones solares del “usuario eficiente”.
- Criterio de confort adaptativo.
- Demanda de energía de calefacción y/o refrigeración para alcanzar la mínima condición de confort en las habitaciones con ocupantes durante todo el tiempo de permanencia de los mismos.
- La ubicación de las ventanas corresponde a la versión “estándar”, es decir ventanas hacia el frente y fondo de la vivienda independientemente de la orientación de las mismas.

Los criterios y/o repercusiones de estas consideraciones se describieron en el Capítulo 3.

Bajo estos supuestos se obtuvieron resultados de carga de refrigeración y calefacción para alimentar de datos a las redes neuronales. Para cada tipología se realizaron todas las combinaciones posibles para 12 orientaciones diferentes (cada 30°) y para 4 valores de cada una de las demás variables en el rango definido. Esto implica realizar 3072 simulaciones para cada tipología, lo que requiere un tiempo de cómputo de 6 días y 10 horas para cada caso.

Para poder realizar esto, al igual que para estudios previos, se implementó un código en Python utilizando las librerías Eppy que automatiza la generación de los casos, su ejecución y el procesamiento de resultados.

Incluir un mayor número de variables en la herramienta implicaría un aumento de casos a simular y por lo tanto de tiempo de cómputo. Por ejemplo, incluir una variable más implicaría simular 12288 casos y un tiempo de cómputo de 25 días. Para abordar la implementación de una herramienta con ese potencial se debería analizar técnicas de muestreo estadístico y/o paralelizar la ejecución de las simulaciones, lo cual requeriría otro

---

desarrollo por parte del grupo. Por otra parte se podrían pensar en alternativas al enfoque del desarrollo de la herramienta, la cual podría basarse directamente en el motor de cálculo EnergyPlus y no en una correlación.

### 2.3. Correlaciones mediante redes neuronales

Si bien en la propuesta original se planteaba una estrategia de buscar una fórmula lineal para ajustar a los resultados de consumo en función de diversos parámetros, tal como se realiza en (Signor, 1999), tempranamente se observó que la dependencia entre consumo y algunos parámetros relevantes (p.ej. absortividad solar, transmitancia en techos y paredes, orientación) no siguen una dependencia lineal. Esto resulta en significativamente mayores dificultades para encontrar fórmulas adecuadas para las correlaciones.

Por otra parte, las redes neuronales permiten encontrar correlaciones no lineales, en grandes cantidades de datos y de parámetros. Estas consisten en una “red” de neuronas interconectadas (elementos que realizan una operación sencilla sobre datos de entrada y producen una salida), las cuales se distribuyen en “capas”. Las salidas de una capa son entradas para la capa siguiente (ver Figura 1). Las operaciones generalmente realizadas por cada neurona consisten en una función lineal ( $ax+b$ ) y luego una no lineal. Mediante algoritmos de optimización, los coeficientes  $a$  y  $b$  (al menos) se ajustan para minimizar el error entre la salida de la red y los valores objetivo (en este caso las demandas de energía provenientes de las simulaciones). A este proceso se le denomina “entrenamiento de la red”. Una vez entrenada la red, es decir, una vez se han logrado un set de coeficientes para los cuales el error entre la salida de la red y la salida objetivo es lo suficientemente pequeña, ésta puede usarse para obtener resultados para otros set de parámetros de entrada diferente de aquellos usados para el entrenamiento.

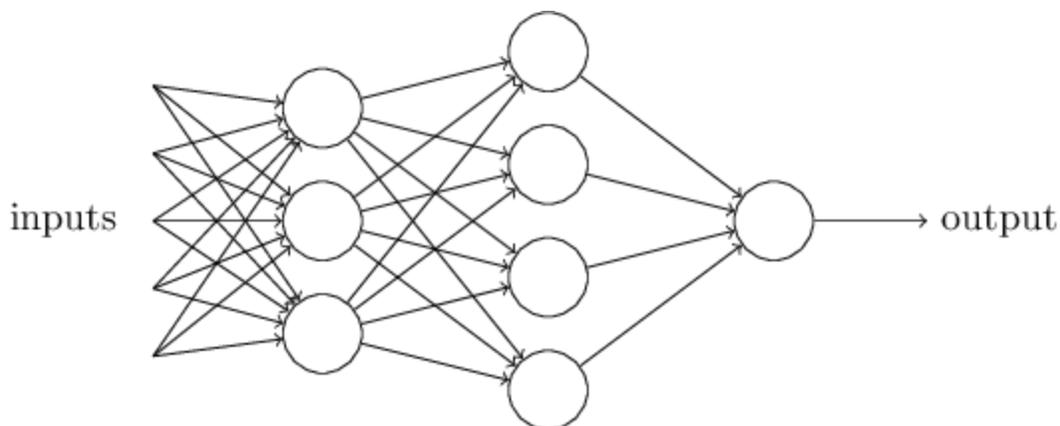


Figura 1 - Extraída de <http://neuralnetworksanddeeplearning.com>

En este trabajo, las redes neuronales fueron construidas utilizando la librería *PyTorch* para *Python* (desarrollada por el Laboratorio de Investigación de Inteligencia Artificial de Facebook <https://es.wikipedia.org/wiki/PyTorch>).

---

Para trasladar la red neuronal desde *PyTorch* a la planilla de cálculo, se descargó todo el set de coeficientes y se reconstruyó la red a partir de éstos y de las funciones no lineales de salida de cada neurona. En las planillas, por tanto, se realizan las mismas operaciones que en la red neuronal.

La configuración de las redes neuronales finalmente utilizadas es de 4 capas interiores de 32 neuronas cada una, aparte de las capas de entrada (recibe los valores de las variables de entrada) y salida (devuelve los valores de resultado), ambas también con 32 neuronas cada una.

En las Tablas 1 y 2 se observan los resultados de errores obtenidos para las correlaciones de ambas tipologías. Se observa que para el consumo de *Refrigeración* (que en valores medios es un orden de magnitud mayor que el de *Calefacción*, tal como se observa en los valores medios de consumo indicados en las tablas) el error relativo máximo es menor al 10% en todos los casos, siendo el error relativo medio menor al 1%. En kWh, los errores máximos absolutos son del orden de 40 kWh para la tipología Tradicional y de 20 kWh para la Madera, mientras que los errores medios son de menos de 10 kWh en todos los casos. En el caso de *Calefacción* los errores relativos son mayores, lo cual se debe a que en valor absoluto los consumos son menores (y por tanto menos relevantes). Más allá de esto, si bien hay algunos valores con error relativo alto (del orden del 30%), se trata de casos con consumos muy bajos. El error relativo medio es considerado bajo (del orden del 3%).

En general, se considera que las correlaciones dan resultados muy cercanos a los obtenidos en las simulaciones. Más allá de esto, es posible que para casos en los que los parámetros se alejen de los rangos para los cuales fueron obtenidas estas correlaciones, los errores sean mayores. Asimismo, mediante la realización de más casos y consiguiente entrenamiento de la red, sería posible mejorar los resultados.

Tabla 1: Resultados de error de la correlación para la tipología Tradicional. "Train" hace referencia a los casos que se utilizaron para entrenar la red, mientras que "Test" corresponde a los casos de testeo (no usados para el entrenamiento). Los "Casos Base" corresponden a los resultados del caso base, en el cual únicamente se varía la orientación.

	REFRIGERACIÓN			CALEFACCIÓN		
	Train	Test	Caso Base	Train	Test	Caso Base
<b>Número de datos</b>	2465	617	12	2465	617	12
<b>Demanda promedio (kWh)</b>	523,7	530,8	695,5	84,0	81,8	122,5
<b>RMSE (kWh)</b>	7,90	10,86	10,77	1,75	2,21	2,57
<b>Error relativo MAX (%)</b>	7,09 %	7,27 %	3,52 %	28,5%	26,9%	3,82 %
<b>Error relativo MEDIO (%)</b>	1,17 %	1,67 %	1,31 %	3,5%	3,9%	1,84 %
<b>Error absoluto MAX (kWh)</b>	44,3	38,0	23,0	7,9	14,4	4,9
<b>Error absoluto MEDIO (kWh)</b>	5,93	8,37	9,0	1,34	1,59	2,2

Tabla 2: Resultados de error de la correlación para la tipología Madera. "Train" hace referencia a los casos que se utilizaron para entrenar la red, mientras que "Test" corresponde a los casos de testeo (no usados para el entrenamiento). Los "Casos Base" corresponden a los resultados del caso base, en el cual únicamente se varía la orientación.

	REFRIGERACIÓN			CALEFACCIÓN		
	Train	Test	Caso Base	Train	Test	Caso Base
<b>Número de datos</b>	2467	617	12	2467	617	12
<b>Demanda promedio (kWh)</b>	640,4	636,1	767,8	64,7	61,1	69,6
<b>RMSE (kWh)</b>	4,74	7,14	8,26	1,45	1,71	0,80
<b>Error relativo MAX (%)</b>	4,83 %	6,14 %	2,07 %	30,7%	44,6%	2,38 %
<b>Error relativo MEDIO (%)</b>	0,60 %	0,95 %	0,89 %	3,5%	3,6%	0,76 %
<b>Error absoluto MAX (kWh)</b>	20,9	24,3	15,3	7,6	9,7	2,0
<b>Error absoluto MEDIO (kWh)</b>	3,65	5,58	6,7	1,12	1,24	0,6

---

## 2.4. Demanda y consumo

Las simulaciones en EnergyPlus, y por consiguiente la correlación, determinan la demanda de energía necesaria para alcanzar el mínimo de confort en un sistema HVAC ideal. Para calcular el consumo de energía real, y posteriormente el costo económico que tiene asociado, se contempló que la demanda se satisface con el uso de un sistema de aire acondicionado frío-calor. De este modo, no se considera el uso del calefactor a leña disponible en las viviendas para satisfacer la demanda de calefacción. El consumo de energía eléctrica (kWh/año) calculado es teórico, el mismo se determina a efectos comparativos de las diferentes alternativas a analizar y no representa la realidad de los usuarios de las viviendas de Mevir.

Bajo estas consideraciones, el consumo de energía eléctrica se calcula a partir del desempeño de un equipo de aire acondicionado comercial, considerando el EER (*energy efficiency ratio*) y COP (*coefficient of performance*) en su función de frío y calor respectivamente, según se expresa en las siguientes ecuaciones.

$$E_{Ref}(kWh) = \frac{D_{Ref}}{EER}$$

$$E_{Cal}(kWh) = \frac{D_{Cal}}{COP}$$

Una vez determinadas las demandas de energía de la vivienda en su versión original y con modificaciones (a partir de la correlación), se calcula el ahorro (o aumento) de energía demandada y consumida.

## 2.5. Variables de decisión económicas

Conociendo el ahorro en el consumo de energía eléctrica que genera una (o varias) modificaciones en las viviendas, se determina el ahorro económico que esta genera considerando el costo unitario (\$/kWh) de la energía eléctrica a partir del pliego tarifario de UTE. El costo de la energía eléctrica es un parámetro con gran incidencia en los resultados, y por lo tanto, debe ser seteado de forma precisa.

Una vez determinado el ahorro (o sobre costo) económico que genera una (o varias) modificación en la vivienda, se determina el VAN a 20 años de uso y el período de repago de la inversión. Para esto, en primera instancia, se debe conocer el sobre costo que significa realizar la modificación que se está evaluando en la construcción de la vivienda.

Conociendo el sobre costo de la inversión, así como el flujo de caja de todos los años (ahorro generado por la modificación), el VAN se calcula como:

$$VAN = \sum_{i=1}^{20} \frac{F_i}{(1+k)^i} - I_0$$

---

Donde:

- $F_i$  corresponde al ahorro económico anual del año  $i$
- $k$  corresponde a la tasa de descuento o el tipo de interés mínimo esperado. En primera instancia se puede utilizar 5%, de acuerdo a lo indicado por la OPP para proyectos de interés social.
- $I_0$  corresponde al sobrecosto de la inversión inicial de la vivienda.

A los efectos de tener un indicador que refleje de manera directa el retorno de la inversión, se calcula el período de repago, como el período necesario para que el VAN alcance un valor mayor que cero.

### 3. Ejemplos de uso de la herramienta

A continuación se presentan dos ejemplo, uno por solución constructiva, con la finalidad de ilustrar el uso de la herramienta

#### 3.1. Tipología “Tradicional”

Considérese que se desea evaluar el ahorro energético y económico, así como el VAN a 20 años y período de repago de realizar las siguientes modificaciones en el diseño de la solución constructiva tradicional de la tipología “Cardal” de tres dormitorios aislada:

- Reemplazar la cubierta horizontal original por panel sandwich (isopanel) de 150mm de espesor
- Aumentar el aislante (EPS) de los muros exteriores de 30 a 50mm
- Pintar el exterior de los muros con pintura acrílica mate blanco

Seteando estas modificaciones en la planilla Tipología: Tradicional, donde deben permanecer el resto de materiales sin cambios respecto al caso base, y considerando la fachada principal orientada al norte (orientación 0°), se obtiene como resultado un ahorro de la demanda de energía de acondicionamiento térmico de 311 kWh anuales (refrigeración: 235 kWh, calefacción: 76 kWh), lo que significa un ahorro de \$723 por año en la factura de UTE (según el primer escalón de la Tarifa Residencial Simple). Considerando un sobrecosto total en la vivienda de \$14.747 (9,31 UR), el período de repago es mayor a 20 años y el VAN a 20 años \$-5.737. El seteo de las variables así como los resultados se observan en la figura 2.

Nótese que estos resultados cambian con la orientación de la vivienda. Además, estos resultados, los cuales se ven afectados por el comportamiento de los residentes, se

obtuvieron considerando el “usuario eficiente”<sup>1</sup>. Otros ahorros, y por lo tanto período de repago, se obtendrían con otro usuario.

<b>Tipología Base: Tradicional (TBO)</b>					
<b>ORIENTACIÓN SOLAR</b>		<b>PAREDES EXTERIORES</b>			
Fachada Principal (°)	0	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>		
		Ladrillo de campo [120mm]	120		
		Ladrillo de campo expuesto a la lluvia [50mm]	50		
		Ticholo 8 huecos (12 x 25 x 25)	0		
		Bloque de Hormigón 12cm	0		
		Revoque (densidad 1800)	0		
		Revoque (densidad 2100) [10mm]	10		
		Mortero de arena y cemento	0		
		Placa de yeso	0		
		Madera (pino) - CLT	0		
		Madera (asimilable a eucaliptus) - CLT	0		
		Panel de fibras, incluyendo MDF (densidad 600)	0		
		Panel de fibras orientadas (OSB)	0		
		Contrachapado Fenolico	0		
		Poliestireno expandido EPS (densidad 10-50)	50		
		Poliestireno expandido EPS (densidad 10-50) [30mm]	50		
		Lana de roca (densidad 15-200)	0		
		Lana de vidrio (densidad 15-200)	0		
		Chapa (acero)	0		
		Aluminio	0		
		Chapa econopanel con aislante	0		
		Hormigón armado con 1% de acero	0		
		Cámara de aire, no/poco ventilada, vertical [1]	1		
		Cámara de aire, medianamente ventilada, vertical [0]	0		
<b>CUBIERTA Y CIELORRASO</b>		<b>ACABADO SUPERFICIAL MUROS EXTERIORES</b>			
<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Ladrillo sin pintar</b>			
Chapa econopanel	0				
Chapa econopanel con aislante	0				
Chapa (acero) [0,5mm]	0,5				
Chapa lisa galvanizada	0				
Panel sandwich (isopanel)	0				
Lana de vidrio [50mm]	0				
Lana de roca	0				
Poliestireno expandido EPS (densidad 10-50)	150				
Fieltro con aluminio	0				
Aluminio [0,4mm]	0				
Panel de fibras, incluyendo MDF (densidad 600)	0				
Panel de fibras orientadas (OSB)	0				
Contrachapado Fenolico [15mm]	0				
Placa de yeso	0				
<b>ACABADO SUPERFICIAL CUBIERTA</b>		<b>ACABADO SUPERFICIAL MUROS EXTERIORES</b>			
Isopanel Blanco (medio)		Ladrillo sin pintar			
<b>Conductancia Cubierta (W/m2K)</b>	<b>0,27</b>	<b>Conductancia Muros (W/m2K)</b>		<b>0,59</b>	
<b>Transmitancia Cubierta (W/m2K)</b>	<b>0,26</b>	<b>Transmitancia Muros (W/m2K)</b>		<b>0,54</b>	
<b>Absortividad Cubierta</b>	<b>42%</b>	<b>Absortividad Muros</b>		<b>55%</b>	
<b>DEMANDA DE ENERGÍA: CASO BASE Y CON MODIFICACIONES</b>		<b>SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO</b>			
Demanda energética en refrigeración: Base (kWh/año)	584	EER de Aire Acondicionado		2,67	
Demanda energética en refrigeración: Modificado (kWh/año)	349	COP de Aire Acondicionado		2,94	
Demanda energética en calefacción: Base (kWh/año)	94	Costo de kWh (\$/kWh)		6,349	
Demanda energética en calefacción: Modificado (kWh/año)	17	Ahorro anual (\$)		723	
<b>INVERSIÓN Y REPAGO</b>					
Sobrecosto de inversión (\$Uy)	14.747				
Tipo de interés (tasa de descuento)	5,0%				
VAN a 20 años	-\$5.737				
Repago (años) = VAN > 0	#N/A				

Figura 2: Planilla de la herramienta para el ejemplo. Tipología: Tradicional

<sup>1</sup> El “usuario eficiente” es el que consume menos en ambas situaciones (base y con mejoras), por lo tanto, las mejoras tienen menor repercusión en el ahorro.

---

### 3.2. Tipología “Madera”

De forma análoga al ejemplo anterior, se consideró que se desea evaluar el ahorro energético y económico, así como el VAN a 20 años y período de repago de realizar las siguientes modificaciones en el diseño de la solución constructiva en madera de la tipología “Cardal” de tres dormitorios aislada:

- Reemplazar la chapa autoportante prepintada gris por blanco de la cubierta horizontal.
- Aumentar el aislante (lana de vidrio) del cielorraso de 50 a 100mm.
- Aumentar el aislante (lana de vidrio) de los muros exteriores de 50 a 70mm.

Seteando estas modificaciones en la planilla Tipología: Madera, donde deben permanecer el resto de materiales sin cambios respecto al caso base, y considerando la fachada principal orientada al norte (orientación 0°), se obtiene como resultado un ahorro de la demanda de energía de acondicionamiento térmico de 210 kWh anuales (refrigeración: 166 kWh, calefacción: 44 kWh), lo que significa un ahorro de \$489 por año en la factura de UTE (según el primer escalón de la Tarifa Residencial Simple). Considerando un sobre costo total en la vivienda de \$9.076 (5,73 UR), el período de repago es mayor a 20 años y el VAN a 20 años \$-2.981. El seteo de las variables así como los resultados se observan en la figura 3.

Tipología Base: Madera (Rivera)							
<b>ORIENTACIÓN SOLAR</b>				<b>PAREDES EXTERIORES</b>			
<b>Fachada Principal (°)</b>		<b>0</b>		<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>		
				Ladrillo de campo	0		
				Ladrillo de campo expuesto a la lluvia	0		
				Ticholo 8 huecos (12 x 25 x 25)	0		
				Bloque de Hormigón 12cm	0		
				Revoque (densidad 1800)	0		
				Revoque (densidad 2100)	0		
				Mortero de arena y cemento	0		
				Panel de partículas con cemento [10mm]	10		
				Placa de yeso [12,5mm]	12,5		
				Madera (pino) - CLT	0		
				Madera (asimilable a eucalipto) - CLT	0		
				Panel de fibras, incluyendo MDF (densidad 600)	0		
				Panel de fibras orientadas (OSB)	0		
				Contrachapado Fenolico [12mm]	12		
				Placa de yeso	0		
				Contrachapado Fenolico [12+12mm]	24		
				Poliestireno expandido EPS (densidad 10-50)	0		
				Lana de roca (densidad 15-200)	0		
				Lana de vidrio (densidad 15-200) [50mm]	70		
				Chapa (acero)	0		
				Aluminio	0		
				Chapa econopanel con aislante	0		
				Hormigón armado con 1% de acero	0		
				Cámara de aire, no/poco ventilada, vertical [0]	0		
				Cámara de aire, medianamente ventilada, vertical [0]	0		
<b>ACABADO SUPERFICIAL CUBIERTA</b>				<b>ACABADO SUPERFICIAL MUROS EXTERIORES</b>			
Chapa autoportante prepintada: Blanco semibrillante (...)				Pintura acrilica oleada 20YY 58/082			
<b>Conductancia Cubierta (W/m2K)</b>				<b>Conductancia Muros (W/m2K)</b>			
		<b>0,41</b>				<b>0,52</b>	
<b>Transmitancia Cubierta (W/m2K)</b>				<b>Transmitancia Muros (W/m2K)</b>			
		<b>0,39</b>				<b>0,48</b>	
<b>Absortividad Cubierta</b>				<b>Absortividad Muros</b>			
		<b>42%</b>				<b>55%</b>	
<b>DEMANDA DE ENERGÍA: CASO BASE Y CON MODIFICACIONES</b>				<b>SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO</b>			
Demanda energética en refrigeración: Base (kWh/año)		727		EER de Aire Acondicionado		2,67	
Demanda energética en refrigeración: Modificado (kWh/año)		561		COP de Aire Acondicionado		2,94	
Demanda energética en calefacción: Base (kWh/año)		73		Costo de kWh (\$/kWh)		6,349	
Demanda energética en calefacción: Modificado (kWh/año)		30		Ahorro anual (\$)		489	
<b>INVERSIÓN Y REPAGO</b>							
Sobrecosto de inversión (\$Uy)		9.076					
Tipo de interés (tasa de descuento)		5,0%					
VAN a 20 años		-\$2.981					
Repago (años) = VAN > 0		#N/A					

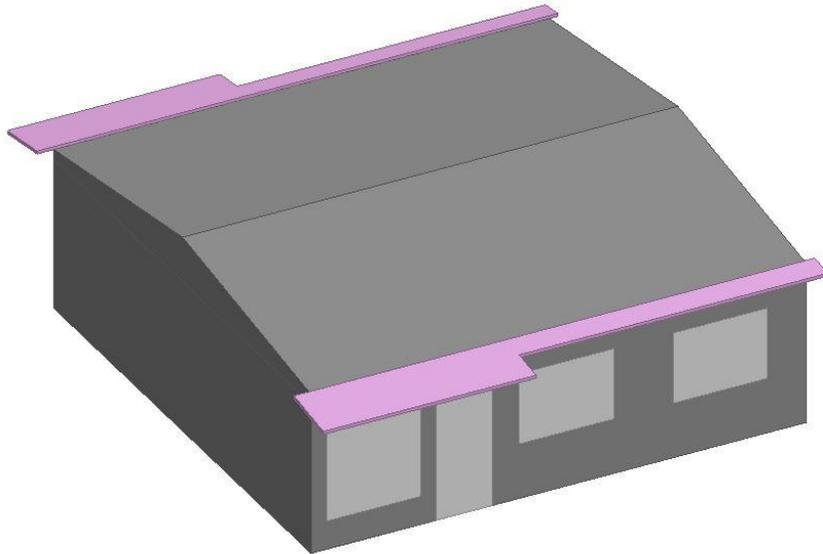
Figura 3: Planilla de la herramienta para el ejemplo. Tipología: Madera

## Referencias bibliográficas

Signor, R. (1999). *Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras*. [Dissertação Mestrado]. Universidade Federal de Santa Catarina. [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Regis\\_Signor.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Regis_Signor.pdf)

# CONCLUSIONES GENERALES

---



---

Como conclusiones generales del trabajo cabe indicar que se cumplió con todos los objetivos propuestos.

Uno de los principales resultados del proyecto fue la elaboración de modelos que pueden evaluar de manera confiable el desempeño de las viviendas estudiadas. Estos modelos recogen el trabajo realizado en los entregables 1, 2 y 4. Se partió de la información constructiva proveída por MEVIR que se ajustó con visitas al sitio donde se realizó una inspección de las viviendas y medidas de permeabilidad. Las condiciones de entorno también se ajustaron para ambos casos, por un lado se utilizó información meteorológica de estaciones de medición cercanas y a partir de entrevistas se elaboraron varios perfiles de uso según las simulaciones a realizar. Los modelos se calibraron a partir de mediciones de temperatura para una semana de verano y una semana de invierno obteniendo en las simulaciones resultados muy ajustados a las mediciones. Se observó que las soluciones constructivas presentan diferencias geométricas no menores, por lo cual cada una de ellas representa un tipología particular, no solo en los materiales si no que también en la geometría de los espacios. La principal diferencia se encuentra en la cubierta horizontal. Por un lado, la tipología construida en madera cuenta con cielorraso horizontal en toda la vivienda, generando una cámara entre este y el techo, la cual se encuentra ventilada. Por otro lado, la tipología con construcción tradicional cuenta con cielorraso horizontal solamente en el baño, siendo este estanco.

Las soluciones constructivas (o las tipologías asociadas) se compararon desde tres aristas. En primer lugar desde una dimensión social, evaluando la percepción de confort de quienes las habitan. En segundo lugar, a partir de las mediciones y relevamientos realizados (temperatura, humedad relativa, permeabilidad al aire, consumo de energía eléctrica, equipamiento). Por último, a partir de los resultados de las simulaciones considerando un mismo clima y comportamiento de usuario entre ambas tipologías.

La diferencia de hábitos en ambas poblaciones es significativa, dado el contexto entre ruralidad y medio urbano de las poblaciones. De esta forma, el uso de la vivienda, la tenencia de bienes de confort, la apertura de ventanas y las acciones ante los cambios de temperatura son diferentes en cada una de las poblaciones. No obstante, aunque las diferencias sean significativas entre los habitantes de ambos modelos existe una amplia valoración positiva acerca de las viviendas recibidas por MEVIR. Al abrir sobre el confort subjetivo, es decir en qué medida los propios habitantes de las viviendas sienten frío o calor en un período caluroso (enero - abril) y en el período frío (mayo-julio), se puede observar que en Cuchilla del Ombú (modelo tradicional) la percepción de temperatura es más baja que en La Canilla en invierno, sin embargo, en los usuarios de MEVIR de esta localidad consideran la casa un poco más fresca en verano.

---

A partir de las mediciones se observó que durante el período caluroso la tipología en construcción tradicional presentó mejor desempeño, mostrando menor cantidad de grados hora de discomfort, menor amplitud térmica y picos de temperatura menos elevados durante el período caluroso. El desempeño térmico de ambas tipologías en el período frío fue muy bueno, donde el uso del calefactor a leña fue suficiente para calefaccionar toda la vivienda durante gran parte del día.

Las conclusiones derivadas de estos primeros análisis donde se comparan las viviendas deben ser matizadas ya que son para condiciones diferentes, tanto de entorno (diferencias ambientales) como de uso (cantidad de personas, uso de las protecciones solares y ventilación) lo que hace que no se estén comparando rigurosamente ambas soluciones constructivas. Teniendo eso en cuenta, en el tercer análisis se utilizan los modelos desarrollados pero considerando todas estas condiciones de forma idéntica para ambos casos, utilizando el mismo clima, así como la misma ocupación y uso de la vivienda. En lo que respecta al uso de la vivienda se definió un usuario tipo que represente lo más posible a ambas poblaciones. A partir de esto se obtuvo, que en estas condiciones, la vivienda de Madera fue la que presentó mejor desempeño, principalmente debido a las diferencias en verano. Al analizar los resultados en detalle se observó que la principal diferencia se debe al ingreso neto de calor por el techo, siendo en el mes más cálido considerablemente menor en el caso de la vivienda de Madera donde se utiliza el techo con cielorraso horizontal y cámara de aire ventilada. A partir de estos resultados se definió un tercer caso, donde se combinaban el cerramiento vertical de construcción tradicional con el cerramiento horizontal con cámara ventilada, obteniendo incluso mejores resultados, tanto en requerimientos energéticos como en confort de la vivienda. De este análisis se desprende el gran impacto de la solución constructiva en el techo.

En términos generales, se debe tener mucho cuidado con las conclusiones relativas a la comparación del desempeño de ambas viviendas, ya que se observa que variando las condiciones de uso puede cambiar cuál de las viviendas se valore más positivamente.

Por último los modelos se utilizaron para estudiar el impacto que tienen en ambos casos ciertas variables o modificaciones en el diseño. Por un lado se hicieron simulaciones y análisis específicos de ciertas mejoras. Por otra parte, una vez identificadas las variables de mayor impacto se elaboró una planilla de cálculo que permite evaluar de manera sencilla distintas combinaciones de variables.

Del estudio de las variables se observó un importante impacto de la orientación de la vivienda, siendo las orientaciones con la fachada principal al norte o sur las de menor demanda. Con la fachada principal en orientaciones este u oeste se obtuvo que ubicar las ventanas de los dormitorios en la fachada sur o norte implicaría también menos demanda. Al igual que en el análisis comparativo, en este análisis se observa la gran influencia del techo en los requerimientos energéticos de refrigeración, por este motivo es central un

---

diseño adecuado desde el punto de vista de la eficiencia energética. Se obtuvo una importante reducción de los requerimientos al aumentar el espesor de aislante o reducir absorptividad solar, esto último siendo más difícil de tener información confiable. Las modificaciones en las paredes exteriores también tienen efecto considerable aunque en menor medida. Otra modificación posible que reduce la demanda de manera significativa es la ampliación de los aleros, que en todos los casos reduce la demanda energética y la hace menos dependiente de la orientación de la vivienda. Es importante destacar que se comprobó que al combinar distintas medidas de mejoras la reducción de la demanda se incrementa. Por último se evaluó el impacto del usuario definiendo un uso de las protecciones solares y de la ventilación natural más eficiente, obteniendo así importantes reducciones de requerimientos energéticos de refrigeración, gracias a una reducción del ingreso de calor por las ventanas y un aprovechamiento mayor de la ventilación natural.

A partir de los resultados anteriores se seleccionaron las variables de absorptividad solar y espesor de aislante en techo y paredes y la orientación de la vivienda como variables de entrada para la herramienta. En esta etapa se realizaron más de 6000 simulaciones y se logró correlacionar de forma satisfactoria los resultados de requerimiento con las variables seleccionadas utilizando técnicas de redes neuronales. La herramienta generada permite analizar de forma ágil y simplificada el impacto energético y económico asociado a modificaciones de materialidad y acabado superficial de la envolvente opaca de las viviendas.