



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**Evaluación del desempeño térmico y energético de un prototipo de
Vivienda Social con Muro Trombe de bajo costo adaptativo para cuatro
climas de Chile.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: Arqto. R. Ariel Medina Moraga

PROFESOR GUÍA: Dra. Arqta. Paulina Wegertseder Martínez

PROFESOR CO-GUÍA: Dr. Arqto. Leonardo Agurto Venegas

CONCEPCIÓN, 01 de marzo de 2021

Dedicado a la memoria de mi Padre.

Resumen

Resumen

Más del 40% de la energía producida a nivel mundial es consumida por las edificaciones, lo que genera un gran interés en las estrategias bioclimáticas para la rehabilitación de edificios. En Chile, existe un parque habitacional de viviendas sociales de más de 6,5 millones de unidades. Desde el año 2000, la normativa térmica aplicada a las Viviendas ha mejorado paulatinamente, generando estándares mínimos de aislación térmica, sin embargo, no considera el acondicionamiento ambiental y las estrategias solares pasivas como una alternativa económica de mejora y de adaptación y respuesta a la diversidad de climas locales. Considerando el potencial solar de Chile, esta investigación busca determinar el desempeño térmico y energético de un muro trombe como una alternativa bioclimática de bajo costo de implementación para viviendas sociales en cuatro climas de Chile, bajo condiciones teóricas.

Este artículo se basa en el experimento realizado por el Dr. Arqto. Leonardo Agurto en que implementó un prototipo de Vivienda Social y evaluó el aporte de un muro trombe de bajo costo para el Clima Central Interior (CI) de Chile durante un año. Con esos resultados experimentales, se calibra un modelo teórico y a través de simulación energética (E+) se evalúa el aporte del muro trombe en cuanto a confort térmico y ahorro energético para la demanda de calefacción y enfriamiento para los Climas Norte Desértico (ND), Central Interior (CI), Sur Extremo (SE) y Andino (An).

Los resultados demuestran que la implementación de la estrategia aumenta el porcentaje de horas en confort térmico en un 10,7% (ND), 9,52%(CI), 13,3% (SE) y 11,3% (An) como valores máximos. De la misma manera, el porcentaje de ahorro energético es de un 29,1%(ND), 41,6% (CI), 6,15% (SE) y 77,9% (An) como valores máximos.

Esta investigación permite visualizar escenarios de implementación de estrategias bioclimáticas solares en diferentes climas. La estrategia bioclimática estudiada presenta un amplio campo de desarrollo en pos de modificar la matriz energética habitacional, reducir los consumos energéticos por calefacción y disminuir la polución por consumo de leña en Viviendas Sociales.

Palabras clave: Prótesis bioclimáticas; muro trombe; vivienda social; climas; confort térmico, demanda energética, ahorro energético.

Índice

Índice

Capítulo I - Introducción.....	5
1.1 Planteamiento del problema.	5
1.1.1 Habitar Social y Eficiencia Energética.....	5
1.1.2 Normativa térmica, consumo energético y contaminación atmosférica.....	6
1.1.3 Incorporación de estrategias adaptativas y bioclimáticas.	9
1.1.4 Potencial solar en Chile.....	11
1.1.5 El proyecto “Prótesis Bioclimáticas”.	13
1.1.6 Brecha entre resultados simulados y resultados medidos experimentalmente.	15
1.2 Hipótesis.....	16
1.3 Objetivo general.....	16
1.4 Objetivos específicos.....	16
Capítulo II - Marco Teórico y Normativo.....	18
2.1 Vivienda Social en Chile y Eficiencia energética.....	18
2.1.1 Política habitacional y Vivienda Social	18
2.1.2 Confort térmico en Viviendas Sociales en Chile.....	19
2.2 Zonificación Térmica y Zonificación Climático Habitacional.	20
2.2.1 Zonificación térmica según la Reglamentación Térmica art.4.1.10 OGUC.	20
2.2.2 Zonificación climática habitacional según NCH 1079 of 2008	21
Capítulo III - Metodología.....	22
3.1 Calibración teórica de modelo base de Celda y Prótesis.	23
3.1.1 Fuente de datos del experimento	23
3.1.2 Configuración de la Celda.....	24
3.1.3 Inputs Celda.....	25
3.1.4 Configuración Prótesis	26
3.1.5 Inputs prótesis.....	27
3.1.6 Edición de archivo climático.....	28
3.1.7 Criterios de Selección de escenarios.	29
3.1.8 Criterios para determinar la validación del modelo calibrado.....	30
3.1.9 Brecha entre resultados simulados y experimentales.	31
3.2 Evaluación de desempeño térmico y energético de modelo base en cuatro climas diferentes de Chile.	33
3.2.1 Criterios para la selección de las zonas climático habitacionales como contexto de los casos de estudio.....	33
3.2.2 Criterios normativos para la simulación térmica.	34
3.2.3 Criterios para el análisis de desempeño térmico en los cuatro climas definidos.	35
3.2.4 Criterios para determinar el Consumo y ahorro energético en los cuatro climas definidos.....	36
3.3 Criterios de selección de estrategias de mejoramiento de la Prótesis según requerimientos climáticos.....	36
3.3.1 Estrategias de mejora del desempeño térmico según requerimientos climáticos... ..	36
3.3.2 Criterios para el análisis de resultados post ajustes de la prótesis.....	36

Índice

3.3.3	Criterios para determinar el desempeño y ahorro energético según estrategias de mejora.	37
Capítulo IV - Resultados		39
4.1	Calibración Celda + Prótesis para el escenario W-02	39
4.1.1	Calibración según estándar Ashrae Guideline 14.	43
4.1.2	Análisis de lecturas de temperaturas dentro del rango definido.	44
4.1.3	Evaluación Confort adaptativo según Ashrae 55.	44
4.2	Calibración Celda para el escenario A-01	45
4.2.1	Calibración según estándar Ashrae Guideline 14.	47
4.2.2	Análisis de lecturas de temperaturas dentro del rango definido.	48
4.2.3	Evaluación Confort adaptativo según Ashrae 55.	48
4.3	Calibración Prótesis para el escenario A-01	49
4.3.1	Calibración según estándar Ashrae Guideline 14.	51
4.4	Desempeño térmico en cuatro climas definidos.	52
4.5	Clima Norte Desértico; Diego de Almagro. (latitud-26.3911, longitud -70.0458)	53
4.5.1	Desempeño térmico anual	55
4.5.2	Desempeño térmico mensual	56
4.5.3	Desempeño térmico en un periodo representativo.	59
4.5.4	Consumo energético anual, Diego de Almagro.	63
4.6	Clima Central Interior; Pudahuel. (latitud -33.4417, longitud -70.7667)	64
4.6.1	Desempeño térmico anual	66
4.6.2	Desempeño térmico mensual	67
4.6.3	Desempeño térmico en un periodo representativo.	70
4.6.4	Consumo energético anual, Pudahuel.	74
4.7	Clima Sur Extremo; Punta Arenas. (latitud -53.1667, longitud -70.9333)	75
4.7.1	Desempeño térmico anual	77
4.7.2	Desempeño térmico mensual	78
4.7.3	Desempeño térmico en un periodo representativo.	81
4.7.4	Consumo energético anual, Punta Arenas.	86
4.8	Clima Andino; Lonquimay. (latitud -38.4333, longitud -71.2333)	87
4.8.1	Desempeño térmico anual	89
4.8.2	Desempeño térmico mensual	90
4.8.3	Desempeño térmico en un periodo representativo.	93
4.8.4	Consumo energético anual, Lonquimay.	97
4.9	Mejoras a la estrategia bioclimática según requerimientos de los cuatro climas definidos.	98
4.9.1	Mejoras Clima Norte Desértico; Diego de Almagro.	100
4.9.2	Consumo energético Clima Norte Desértico; Diego de Almagro.	109
4.9.3	Mejoras Clima Central Interior; Pudahuel.	116
4.9.4	Consumo energético Clima Central Interior; Pudahuel.	125
4.9.5	Mejoras Clima Sur Extremo; Punta Arenas.	132
4.9.6	Consumo energético Clima Sur Extremo; Punta Arenas.	144
4.9.7	Mejoras Clima Andino; Lonquimay.	149
4.9.8	Consumo energético Clima Andino; Lonquimay.	158
Conclusiones		167

Capítulo I - Problemática

Capítulo I - Introducción

1.1 Planteamiento del problema.

A nivel global, los edificios consumen más del 40% de la energía producida (Omer, 2008). Para calefaccionar y enfriar edificios se consume un 6,7% de la energía producida a nivel mundial (Agrawal, 1989) (Chan, Riffat, & Zhu, 2010). Esto representa un aporte importante en la generación de gases de efecto invernadero (GEI) debido al consumo de combustibles fósiles para calefacción, sobre todo en países donde la calidad de la vivienda de interés social es baja, el clima es una variable de adaptabilidad poco considerada y el acceso a la energía es desigual. A nivel latinoamericano, de las 30 ciudades con más altos niveles de PM 2,5, 25 de ellas son Chilenas (“Ciudades más contaminadas del mundo en 2019 - Clasificación PM2.5 | AirVisual,” n.d.), lo que representa un gran oportunidad para incorporar nuevas alternativas de acondicionamiento y rehabilitación térmica en Viviendas Sociales (Pérez-Fargallo et al., 2018). En Chile, existe un parque habitacional de más de 6,5 millones de viviendas sociales construidas que podrían ser rehabilitadas a través de estrategias bioclimáticas pasivas, como la energía solar.

1.1.1 Habitar Social y Eficiencia Energética.

Desde 1906, en Chile ha existido una política habitacional. En 1989, el MINVU define el concepto de Vivienda Social, destinada a resolver los problemas de marginalidad habitacional. No obstante, un siglo después de las primeras políticas habitacionales y luego de una normal y lógica evolución en cuanto a aparataje administrativo, actores y objetivos, la calidad de la vivienda, especialmente de la Vivienda Social, sigue siendo cuestionada (Wegertseder & Trebilcock, 2015). Solo en la zona centro sur de Chile, se puede observar que la estrategia habitacional pública y privada, está dirigida evidentemente a la dispersión de viviendas aisladas y pareadas, lo que repercute en mayores costos por eficiencia energética y emisiones de CO₂ (Damico et al., 2012). Esta realidad no es muy diferente en el resto del país. Concretamente, en la zona Centro-Sur del país, donde se concentra más del 80% de la población chilena, la contaminación del aire urbano en invierno ha sido un gran problema durante las últimas décadas (Celis H. & Morales P., 2007) debido al uso de sistemas de calefacción individual con combustibles de bajo costo como querosene y leña. Esta mala calidad del aire resulta en enfermedades respiratorias crónicas y estacionales. Esta cuestionada calidad de la vivienda social sumada a la alta dependencia de nuestro país de los combustibles fósiles supone un real desafío en

reducir el alto uso de energía del parque de edificios existente sobre todo en las viviendas edificadas con anterioridad a la reglamentación térmica del año 2000.

1.1.2 Normativa térmica, consumo energético y contaminación atmosférica.

En enero de 2017, Chile ratificó el Acuerdo de París y estableció dos objetivos relacionados con la energía como parte de su Contribución Determinada a Nivel Nacional, uno de ellos es reducir todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en aproximadamente un 35% a 45%. Para esta reducción se definen medidas de mitigación para el sector residencial:

- 1) Aumentar el número de paneles solares térmicos para viviendas.
- 2) Actualizar normativas térmicas para reducir demanda de energía de stock a un 70% para 2025.
- 3) Impulsar el esquema nacional de Calificación Energética de Viviendas.

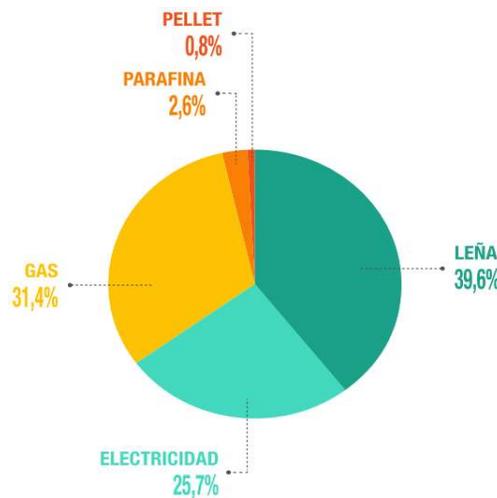
La Agencia Internacional de Energía (AIE) considera que los códigos y normas de energía en la construcción son "esenciales para mejorar su rendimiento energético y comodidad", y para proporcionar ahorros de energía a largo plazo y beneficios para la salud de los propietarios. Sin embargo, el cumplimiento de estas políticas se verifica solo en la etapa de diseño, y no tiene seguimiento en la etapa de ocupación de las viviendas (C. Molina, Kent, Hall, & Jones, 2020).

Desde el año 2000, la normativa térmica en Chile, ha mejorado paulatinamente, generando estándares mínimos de aislación térmica, sin embargo, aún falta considerar el acondicionamiento ambiental y las estrategias pasivas de arquitectura bioclimática como una alternativa de mejora, de adaptación y respuesta al clima local (L. Agurto, Abujidi, Espinosa, & Merino, 2014). Esta reglamentación térmica (Art.4.1.10, 2016) incorpora desde el año 2007, variables como la transmitancia de muros, techumbre, piso y porcentaje de acristalamiento diferenciados por zonas. sin embargo, presenta falencias respecto a la escasa representatividad de la zonificación térmica basada en grados días, otorga prioridad de la continuidad estructural por sobre la continuidad de la envolvente térmica permitiendo la generación de puentes térmicos, presta poca atención a los medianeros y divisorios interiores por considerarlos adiabáticos. En general, esta actualización incluye mejoras pensadas especialmente para la época de invierno con el fin de disminuir el consumo de calefacción de la vivienda, aumentando el aislamiento térmico de la envolvente, para que la temperatura generada dentro de la vivienda se mantenga en ella por más tiempo (Damico et al., 2012).

Capítulo I - Problemática

Esto se traduce en un alto consumo energético del sector residencial en Chile. Según el informe final del estudio denominado “Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile, 2018”, “el sector residencial consumió en el año 2018, 50.763 GWh y el consumo promedio nacional de una vivienda equivale a 8.083 kWh/año de energía final (considerando un total de 6,28 millones de viviendas e incluyendo todos los energéticos). Un 39,6% del consumo se asigna al uso de Leña como energético, seguido con un 31,4% de consumo de Gas (GLP3+GN), mientras que el 25,7% corresponde a Electricidad, un 2,6% a Parafina y un 0,8% a Pellets”, como se muestra en el **Gráfico 1** (In-Data & CDT, 2019, pág 3).

Gráfico 1: Consumo de energía por combustible total país (%).(In-Data & CDT, 2019, pág 4)



Del consumo energético residencial distribuido porcentualmente según uso final de la energía, se obtiene que, “el 53% se destina a calefacción y climatización (calefactores individuales, calefacción central y A/C), el 20% en agua caliente sanitaria (ducha, tina y lavado de loza), 5% en refrigeración de alimentos (refrigerador y freezer), otro 5% en cocción de alimentos (cocina, horno, hornillo eléctrico), 3% en aseo de ropa (lavado, secado y planchado), 4% en iluminación, 4% en televisión, 2% Stand by, 1% uso de hervidor eléctrico, 1% aspiradora, 2% en varios usos (otros equipos, computador, microondas, piscina, bomba de riego, cafetera y consola videojuegos)” como se muestra en el **Gráfico 1**. Este alto consumo energético y las fuentes combustibles utilizadas en la vivienda, en consecuencia, se traduce en una alta producción de GEI¹. Según el BNE² en el “Informe

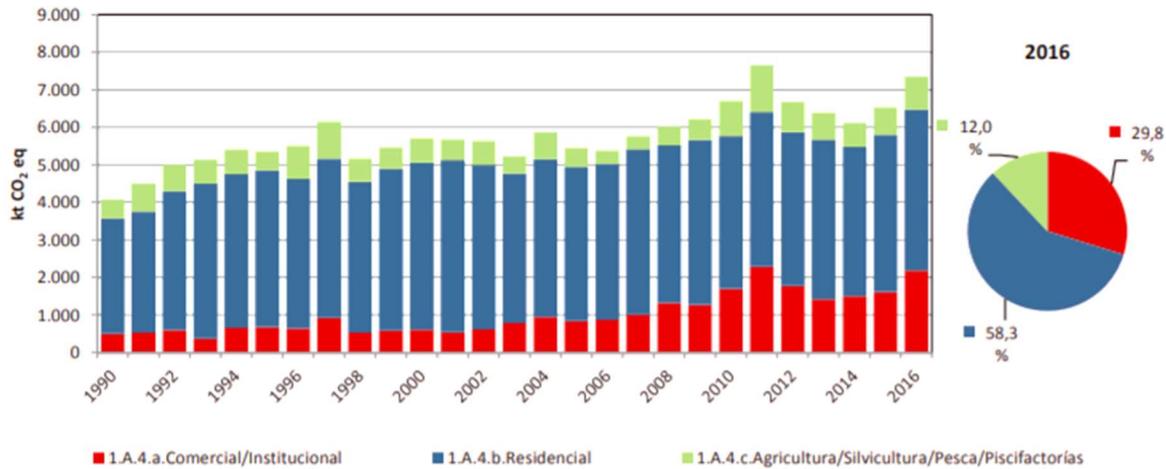
¹ GEI: Gases de efecto invernadero.

² BNE: Balance Nacional de Energía, de la División de Prospectiva y Análisis de Impacto Regulatorio del Ministerio de Energía de Chile

Capítulo I - Problemática

del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, serie 1990 – 2016”, solo en la subcategoría “Otros sectores” que incluye el sector Residencial, este resulta ser el de mayor relevancia, aportando con un 58,3% de las emisiones de GEI de la subcategoría, seguido de un 29,8% del sector Comercial/Institucional y de un 12,0 % del sector Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías (ver **Gráfico 2**) (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

Gráfico 2. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2016.



Estas emisiones de GEI redundan en el aumento del material particulado PM³_{2,5} que afecta a nuestras ciudades. Es así como 22 ciudades Chilenas están dentro de las 25 ciudades latinoamericanas con mayores índices de PM_{2,5} durante el año 2019 (IQAir, 2019) (ver **Figura 1**). En respuesta a esta emergencia, muchas comunas de nuestro país han sido declaradas como zonas saturadas y/o zonas de sacrificio. Esta realidad ha propiciado la aplicación de Planes de prevención y descontaminación atmosférica (PDA) a lo largo del país.

³ PM: Material particulado respirable presente en la atmósfera. La OMS establece valores máximos según tamaño; PM₁₀ y PM_{2,5}.

Rango	Ciudad	2019 AVG
1	 Coyhaique, Chile	41,5
2	 Osorno, Chile	32,8
3	 Padre las Casas, C...	32,5
4	 Providencia, Chile	29,5
5	 Santiago, Chile	27,7
6	 Linares, Chile	27,6
7	 Pudahuel, Chile	27,6
8	 Rancagua, Chile	26,9
9	 Puerto Montt, Chile	26,4
10	 Los Cerrillos, Chile	26,2
11	 Curicó, Chile	25,8
12	 Quilicura, Chile	25,3
13	 La Union, Chile	24,3
14	 Rengo, Chile	24,1
15	 Lima, Perú	23,7
dieciséis	 Puente Alto, Chile	23,5
17	 Talagante, Chile	22,7
18	 Sabaneta, Colombia	22,4
19	 Puerto Aysén, Chile	22
20	 Los Ángeles, Chile	21,7
21	 Curanilahue, Chile	21,6
22	 Itaguei, Colombia	21,6
23	 Talcahuano, Chile	21,4
24	 San Fernando, Chile	21
25	 Chillán, Chile	20,4

Figura 1: Chile lidera en la cantidad de ciudades Latinoamericanas con mayores índices de PM2,5 (“World’s Most Polluted Cities in 2019 - PM2.5 Ranking | AirVisual,” n.d.).

1.1.3 Incorporación de estrategias adaptativas y bioclimáticas.

La gran cantidad de viviendas sociales construidas antes de la reglamentación térmica, hacen suponer que esas viviendas no cumplen con los criterios mínimos de confort térmico y eficiencia energética (Vergara Perucich & Boano, 2016). Al año 2010, un 74% del stock de viviendas sociales no se encuentra acogidos a dicha reglamentación, lo que corresponde a viviendas construidas antes del año 2000. A eso, se suma un 19% de viviendas construidas entre el año 2000 y 2007 que responde solo a la primera parte de la reglamentación térmica, es decir, solo incorporan mejoras en la techumbre. Por lo tanto, al 2010, un 7% del parque habitacional construido considera la totalidad de las exigencias de la reglamentación térmica, es decir, muros, ventanas, pisos ventilados y techumbre (Wegertseder & Trebilcock, 2015). Es por esto que se estima que más de 6,5 millones de hogares tienen un alto potencial de mejora de la eficiencia energética en Chile (INE, 2018), considerando que su consumo medio de energía es aproximadamente 268 kW / m² por año (MINVU, 2015).

A pesar de las considerables mejoras en la reglamentación térmica chilena, se observa que estas solo contemplan aspectos físico constructivos de la edificación, no considerando las estrategias bioclimáticas como una opción regulada. Estas estrategias podrían significar aportes notables en

Capítulo I - Problemática

confort térmico, eficiencia energética y disminución de emisiones por combustión de combustibles fósiles, especialmente leña.

Como resultado de la cuestionada calidad de la vivienda social en cuanto a eficiencia energética y habitabilidad, el usuario termina asumiendo los costos en climatización, especialmente por calefacción y también de la construcción de soluciones adaptativas de manera auto gestionada y espontánea, necesarias para mejorar la habitabilidad (Vergara Perucich & Boano, 2016). Estas soluciones son construidas en los espacios intersticiales entre la línea oficial y línea de construcción, en los distanciamientos a deslindes y rasantes y no necesariamente respetando estas condiciones.

La característica principal de estos espacios o elementos es que son una respuesta económica y adaptativa al clima y a las necesidades de uso. Es posible identificar varios tipos de estos espacios adaptativos y espontáneos al largo del país, diferenciándose básicamente por la función y el clima, según **Figura 2**.



Figura 2. Ejemplos de espacios adaptativos espontáneos en la Vivienda Social. Izquierda; Chiflonera en acceso a Vivienda, finalidad proteger de la lluvia y viento directo en invierno. Derecha; Sombreadero para enfriar en verano (C. Agurto & Fissore, 2017).

A pesar de que la reglamentación térmica chilena no considere las estrategias bioclimáticas, a nivel global se observa un gran interés en ellas para la rehabilitación de edificios (L. Agurto et al., 2014). El alto consumo de energía para climatización de las viviendas sociales, el aporte de GEI por uso de combustibles, especialmente fósiles hace necesario considerar el uso de energías limpias y

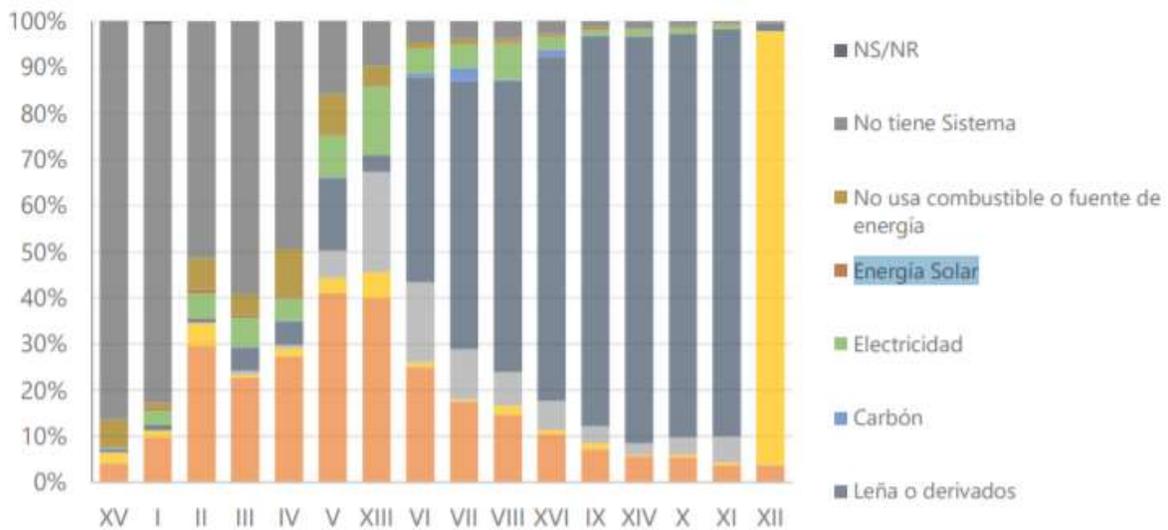
Capítulo I - Problemática

soluciones sostenibles, entendidas como el desarrollo de estrategias de bajo costo, progresivas y fáciles de replicar, para rehabilitar gran parte de las viviendas sociales, especialmente las construidas antes del año 2000 (L. Agurto et al., 2014). En este ámbito, en Chile se ha avanzado en el uso de la energía solar para ACS basada en el Subsidio del Programa de Protección al Patrimonio Familiar (PPPF) DS 225 y energía fotovoltaica basado en la de ley Net Billing⁴. Sin embargo, las estrategias pasivas siguen siendo un terreno por explorar.

1.1.4 Potencial solar en Chile

La incorporación de sistemas solares pasivos se podría considerarse como una alternativa con alto potencial (Amigo, Araya, & Billi, 2018), con el fin de modificar la matriz energética del parque habitacional. Según la encuesta Casen de 2015, solo el 0,1% de la población chilena usa energía solar para calefacción, mientras que el 32% usa gas licuado y el 30% utiliza leña y sus derivados como pellets, briquetas o astillas de madera. Según la misma encuesta, el 23,5% de las personas declararon elegir un combustible en particular predominantemente basado en el costo y el 28,6% puramente en hábitos, de los cuales, un 46,5% utiliza leña (ver **Gráfico 3**).

Gráfico 3. Uso de fuentes de energía para calefacción según región (Red de Pobreza Energética, 2018).

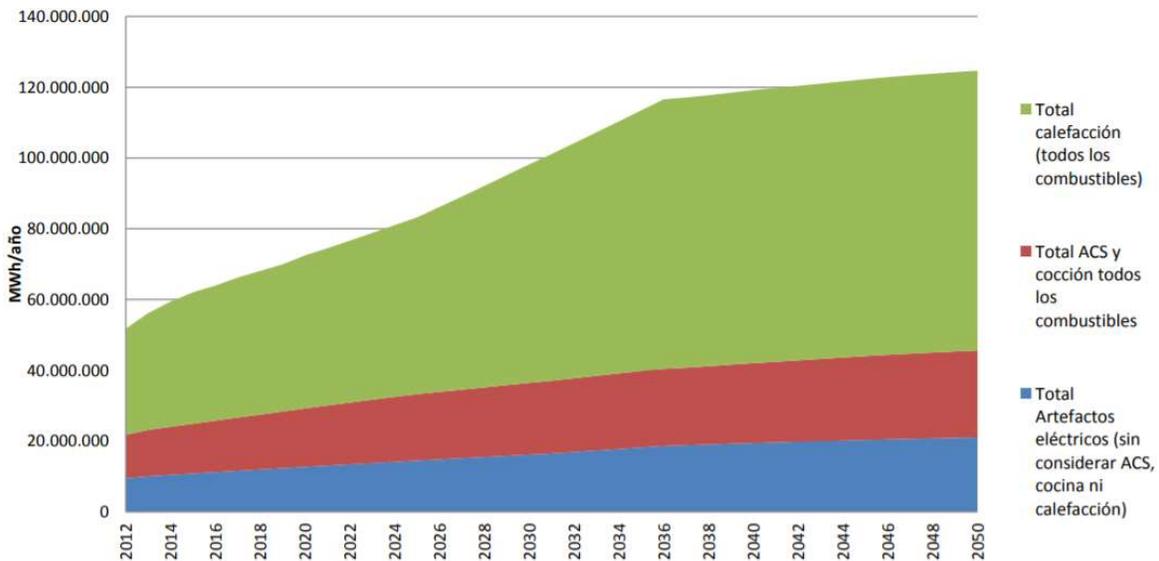


⁴ La ley 20.571 o Ley Net Billing, otorga el derecho de generar nuestra propia energía, autoconsumirla e inyectar sus excedentes a la red, pudiendo vender los excesos de generación, hacia la red de distribución a un precio regulado presentando la documentación que se ajuste al modelo de contrato de conexión.

Capítulo I - Problemática

Los datos sobre la eficiencia energética de las viviendas, la climatización (tanto calefacción como ventilación) y la estabilidad del suministro energético adquieren mayor relevancia al considerar las proyecciones actuales asociadas con el cambio climático y los riesgos de desastres socio-naturales a los que nuestro país se ve cotidianamente enfrentado (Amigo et al., 2018), más aún cuando se proyecta que el consumo energético residencial aumentará al año 2050 (ver **Gráfico 4**).

Gráfico 4. Proyección consumo energético residencial en Chile (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).



Chile alberga algunos de los lugares más soleados del mundo, lo que ha llevado a una creciente industria de energía solar en los últimos años (A. Molina, Falvey, & Rondanelli, 2017), sin embargo estas estrategias son lejanas de aplicar a la vivienda social, básicamente por el alto costo de implementación que representa. Otro punto es la falta de mediciones de alta resolución de la irradiancia solar (ver **Figura 3**), lo que finalmente se convierte en un obstáculo crítico tanto para la financiación como para el diseño de las instalaciones solares (A. Molina et al., 2017). Sin embargo, iniciativas como “Construye solar”, patrocinado por Minvu y la academia son notables pues ponen en evidencia la posibilidad de incluir la energía solar como estrategia de acondicionamiento para viviendas sociales (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018).

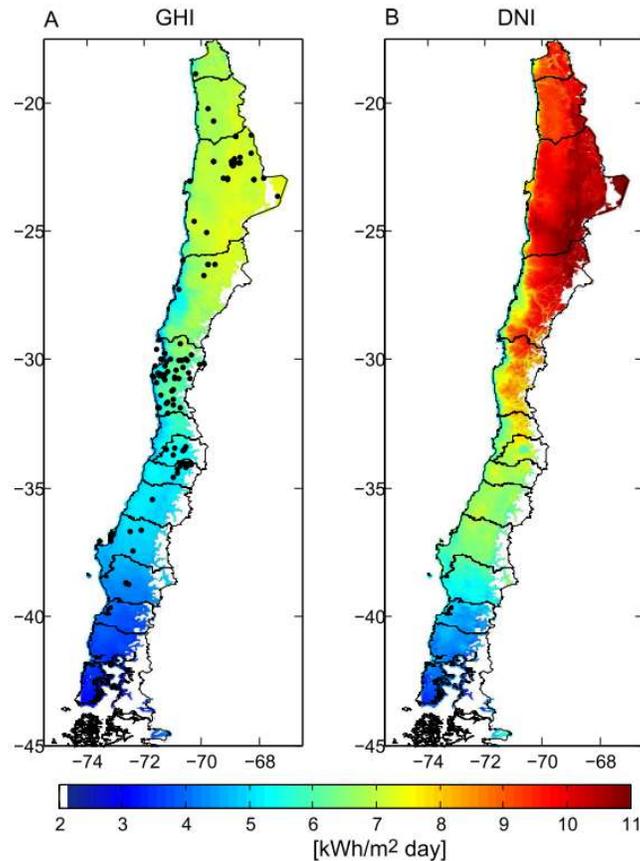


Figura 3. Potencial solar de Chile. Radiación global horizontal (GHI) y Radiación normal directa (DNI) (A. Molina et al., 2017).

1.1.5 El proyecto “Prótesis Bioclimáticas”.

Basado en la problemática térmica de la vivienda social, especialmente la construida antes de la RT⁵ del año 2000, el arquitecto Leonardo Agurto Venegas (L. Agurto et al., 2014) propone una serie de soluciones bioclimáticas en madera, adaptables, reconfigurables y de bajo costo, para ser adheridas a la Vivienda Social, a modo de artefactos o “Prótesis” (Tam, Tam, Zeng, & Ng, 2007) (Saadatian, Sopian, Lim, Asim, & Sulaiman, 2012), como se le denominará de ahora en adelante, con la finalidad de mejorar las condiciones de confort térmico y reducir el consumo de energía por calefacción / refrigeración, enmarcado en el contexto del proyecto INNOVA BIO BIO “Prótesis bioclimáticas para la arquitectura en madera; desarrollo de un sistema de componentes arquitectónicos adaptables para el acondicionamiento pasivo y la rehabilitación energética de viviendas existentes en diferentes

⁵ Abrev de Reglamentación Térmica.

contextos microclimáticos de la región del Bio-Bío” cuyo objetivo es que estos artefactos sean de fácil instalación e implementación a través de algún subsidio estatal o esfuerzo propio (Stallen, Chabannes, & Steinberg, 1994).

Agurto establece que mientras la vivienda social sea estandarizada, que la normativa térmica presente deficiencias y que no exista participación del usuario en la etapa de diseño, estos artefactos “Prótesis” se justifican como una forma económica de adaptación climática (L. Agurto et al., 2014). Enmarcado en el mismo proyecto, Agurto y sus colaboradores desarrolla un artefacto experimental o “Prótesis” bioclimática, en este caso se trata de un muro trombe de bajo costo, instalado sobre un prototipo de Vivienda Social o “Celda”, como se le denominará de ahora en adelante, en cuanto a volumen de aire y materialidad (ver **Figura 4**).

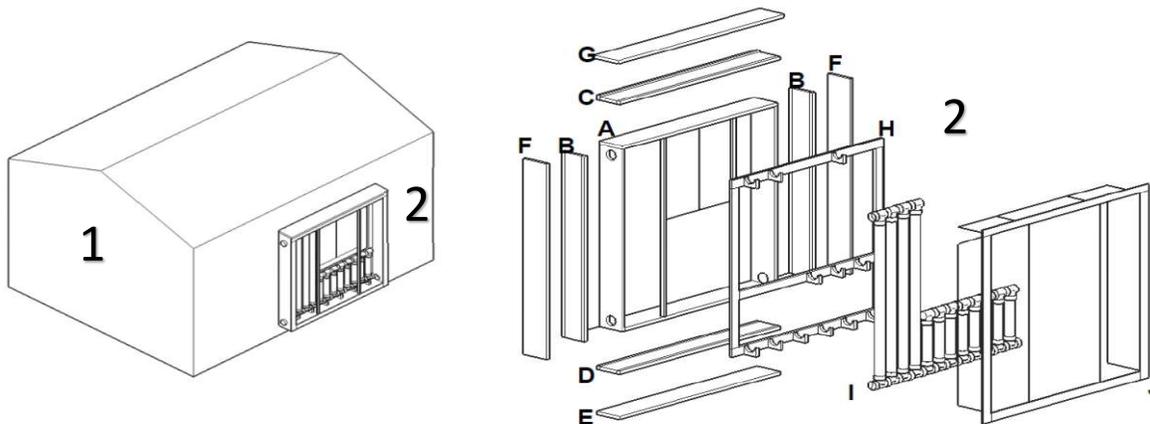


Figura 4. Diagrama de las partes del experimento del proyecto Prótesis Bioclimáticas. 1: “Celda” de prueba. 2: artefacto “Prótesis” experimental tipo muro trombe (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a).

Este tipo de experimentos no es nuevo en el mundo (Bojić, Johannes, & Kuznik, 2014), sin embargo es pionero en Chile. Se realizó en las ciudades de Coronel y Chillán (ver **Figura 5**) monitoreado durante 1 año entre 2017 y 2018. En él, se comparan los resultados entre una Celda de prueba sola y otra con la Prótesis bioclimática. Los resultados arrojan mejoras considerables respecto al aporte de temperatura al interior de la Celda de prueba en distintos periodos del año. Se determina que la Prótesis aporta a la reducción de consumo de leña y aporte de temperatura en ambos climas.

De los resultados obtenidos y publicados, se destaca el incremento de las horas en confort térmico y el ahorro energético. Los resultados del experimento mostraron que, en invierno, las horas de confort térmico se incrementan en un 69,35% en Chillán y un 56,29% en Coronel. De esta forma, los

ahorros energéticos calculados fueron del 44,14% y 25,35%, respectivamente. La investigación propone el costo de la “prótesis bioclimática” en CLP\$ 424.428, recuperables a través del ahorro energético en 4 años. También considera una potencial disminución en las emisiones de CO2 producto del consumo de leña (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, De Troyer, et al., 2020).



Figura 5. Fases de secuencia de construcción e instalación de la prótesis bioclimática en Chillan y Coronel (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a).

1.1.6 Brecha entre resultados simulados y resultados medidos experimentalmente.

Una de las grandes problemáticas del desarrollo de este tipo investigación será el calibrar un modelo experimental simulado con datos obtenidos de manera experimental empírica. Considerando que el experimento es realizado bajo condiciones ideales de ocupación, podría parecer un ejercicio simple, sin embargo, hay variables a considerar, como son las infiltraciones, las condiciones físico constructivas de los elementos, los procesos constructivos, la temperatura del aire exterior, la radiación solar, las propias condiciones y protocolos de monitoreo y el procesamiento de los datos obtenidos (De Wilde, 2014).

1.2 Hipótesis

Implementar la estrategia de muro trombe de bajo costo adecuada según requerimientos climáticos en viviendas sociales, mejoraría el desempeño térmico al interior de las unidades en rangos aceptables superiores al 10% y también disminuiría el consumo energético generando un ahorro de al menos un 10% anual, lo que significaría la reducción de emisiones por combustión de leña o fósiles asociadas.

1.3 Objetivo general

Evaluar el desempeño térmico y consumo energético de un prototipo de vivienda social (Celda) que integre la estrategia bioclimática de muro trombe de bajo costo (Prótesis) en cuatro zonas climáticas para definir estrategias de mejoramiento al sistema de captación solar según requerimientos climáticos.

1.4 Objetivos específicos

OE1. Elaborar un modelo experimental simulado de Celda y Prótesis, mediante la calibración teórica desde datos experimentales medidos en caso piloto.

OE2. Evaluar el desempeño térmico y energético del modelo experimental simulado de Celda y Prótesis, en cuatro climas diferentes de Chile.

OE3. Proponer configuraciones en el diseño de la Prótesis adaptables según requerimientos del contexto climático.

Capítulo I - Problemática

Capítulo II - Marco Teórico y Normativo.

2.1 Vivienda Social en Chile y Eficiencia energética.

La vivienda social es uno de los principales indicadores que permiten entender el estado de desarrollo de un país, el estudio de esta, puede entregar luces de las ideologías del momento histórico y el pensamiento de las estructuras de poder tras las políticas y decisiones implementadas.

2.1.1 Política habitacional y Vivienda Social

Las políticas habitacionales en Chile tienen un poco más de un siglo. Dentro de los hitos más relevantes se pueden mencionar que en 1906 se promulga la ley 1.838 que crea los “Consejos de Habitaciones Obreras” que funcionaban en las principales ciudades del país y cuya finalidad consistía en construir, mejorar y normalizar la vivienda popular con una tendencia al higienismo (“Historia - Ministerio de Vivienda y Urbanismo,” n.d.). Esta iniciativa fue pionera en Latinoamérica y basada en legislaciones belgas y francesas de los años 1889 y 1894 respectivamente, que a su vez tomaron como base la experiencia inglesa y la ley sobre viviendas de las clases trabajadoras de 1885 de ese mismo país. Por lo tanto, podemos deducir que el origen de la política habitacional chilena estaría en sintonía con la realidad de países con un mayor grado de desarrollo y que intentaban abordar las graves carencias de viviendas que afectaban a vastos sectores de su población que vivía en condiciones de pobreza y ausencia de servicios básicos de urbanización (“La Vivienda Social en Chile: la acción del Estado en un siglo de planes y programas,” n.d.). Sin embargo, es posible reconocer que habría iniciativas incluso anteriores, como por ejemplo la norma de los “Cuartos redondos” promulgada en el año 1843 y que consistía en viviendas que poseían solo una puerta de entrada que servía como fuente natural de luz y ventilación (Mendez, n.d.).

Entre 1990 y 2014, producto de la continuidad del modelo económico promovido por el gobierno militar, la vivienda continúa construyéndose en la periferia de las ciudades aumentando la desigualdad ya que se prefería cantidad de unidades habitacionales por sobre los estándares y la ubicación. Se gestionaron 2,3 millones de subsidios habitacionales, siendo el 56% de ellos destinados al 20% más pobre de la población. Sin embargo, estas viviendas presentaron muchas deficiencias en su construcción, insuficiente superficie, deficiente acondicionamiento ambiental y calidad de los materiales, lo que, sumado a la localización concentrada en sectores periféricos,

Capítulo II – Marco Teórico y Normativo.

favorecía la separación de los centros de servicios e infraestructura, acrecentando la estigmatización territorial. En el periodo 2004 a 2010 se observó mayor preocupación por la calidad de vida en los barrios y surgieron programas como los “Fondos Solidarios para Vivienda” y “Quiero mi Barrio”, potenciando el desarrollo local y la participación de las personas. Se implementa un “Subsidio de Localización”, sin embargo, los problemas de segregación estructural de las ciudades, están determinados desde periodos anteriores. En 2010 Luego del terremoto y tsunami del que afectó a la zona centro sur de nuestro país, se crea el plan “Chile Unido Reconstruye Mejor” que busca generar una oportunidad para redefinir el futuro desarrollo de varios centros urbanos, que serán planificados de forma integral, sustentable y considerando los riesgos naturales (Dattwyler, 2007).

La vivienda social se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior. Pareciera ser que la vivienda social es concebida para resolver aspectos geopolíticos, sociales y de vulnerabilidad de las personas solamente (García de Paredes Pérez, 1996). Las reparaciones o adaptaciones que sean necesarias para mejorar el desempeño de las viviendas, son suplidas en un 90% de las veces por el propietario (Vergara Perucich & Boano, 2016). “Por otra parte, en relación a la demanda energética de la vivienda social, las fluctuaciones de precios en el mercado de gas y de la electricidad, durante los últimos años han provocado inestabilidades en el presupuesto familiar, afectando en mayor medida al sector más vulnerable” (Wegertseder, 2014, p41).

2.1.2 Confort térmico en Viviendas Sociales en Chile.

El confort térmico se puede definir como una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente. Según la norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. El confort térmico es una de las variables que componen el “confort ambiental”, otras variables serían el confort visual, acústico y la calidad del aire interior. La importancia del acondicionamiento pasivo radica en que, al mantener una edificación en confort, esta no dependería de sistemas de acondicionamiento ambiental, por lo tanto, se disminuye el consumo energético. El confort térmico depende de varios parámetros globales externos, como el clima, la temperatura del aire, la velocidad del mismo, la humedad relativa, y otros específicos internos como la actividad física desarrollada, los hábitos del usuario, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo y las características físicas constructivas de la envolvente de la

Capítulo II – Marco Teórico y Normativo.

edificación habitada. Estos parámetros pueden ser complejos de entender respecto al aporte al confort, por ejemplo, el clima puede afectar de manera positiva o negativa a la sensación de confort. Por ejemplo, las ganancias solares, que dependen en gran parte del clima, pueden ser muy beneficiosas para aumentar la temperatura en invierno, pero también pueden provocar problemas como el sobrecalentamiento durante el verano. Por lo tanto, es subjetivo y complejo más aun al incorporar al habitante a esta ecuación. La normativa Chilena no establece exigencias de acondicionamiento térmico, se restringe solo a determinar el desempeño de la envolvente como concepto de transmitancia térmica (U) (Henríquez Cortez, 2014).

2.2 Zonificación Térmica y Zonificación Climático Habitacional.

El clima de Chile continental es muy variado. Nuestro país, desde Arica hasta Tierra del Fuego, comprende casi 40° de diferencia de latitud. Es así como se puede reconocer que el norte posee un clima seco con temperaturas relativamente altas, mientras que el clima del centro sur es más fresco y húmedo. Según la clasificación climática de Köppen (Inzunza, 2002), Chile incluye dentro de sus límites al menos a 7 de los grandes subtipos climáticos: Desde el clima desértico en el norte, a la tundra y glaciares en el este y el sur, el clima mediterráneo en Chile central, el clima oceánico en el sur y el clima polar en el Territorio Chileno Antártico.

2.2.1 Zonificación térmica según la Reglamentación Térmica art.4.1.10 OGUC.

La zonificación térmica del Manual de aplicación de la reglamentación térmica del art.4.1.10 (Art.4.1.10, 2016) de la OGUC. publicada en su versión primera en el año 2000, establece 7 zonas térmicas definidas en base al criterio de los Grados Día de calefacción (GDc) anuales, basado en antecedentes meteorológicos de alta data. Los GDc se relacionan directamente con las demandas de energía que requiere una vivienda para lograr la temperatura interior base del periodo considerado, basado exclusivamente en una sola variable del clima; la temperatura media diaria exterior, no considerando las demás variables meteorológicas que definen un clima, como la oscilación térmica, la humedad, radiación solar, intensidad y dirección del viento, altitud, precipitaciones y vegetación predominante. Según esta zonificación, es posible encontrar localidades con diferentes oscilaciones térmicas diarias en una misma zona (Bustamante, 2009a).

2.2.2 Zonificación climática habitacional según NCH 1079 of 2008

Por su parte, la norma Oficial NCh 1079 of 2008 (NCh1079Of.2008, 2008), divide al país en 9 zonas climáticas, basadas en un conjunto de variables meteorológicas de larga data tales como temperaturas extremas y medias, radiación solar, oscilación térmica, nubosidad, humedad, precipitaciones y vegetación, entre otras. Ello hace que esta zonificación climática presente diferencias significativas respecto de la zonificación de la Reglamentación Térmica. Esta será la zonificación en que se basará el presente estudio (ver **Figura 6**).

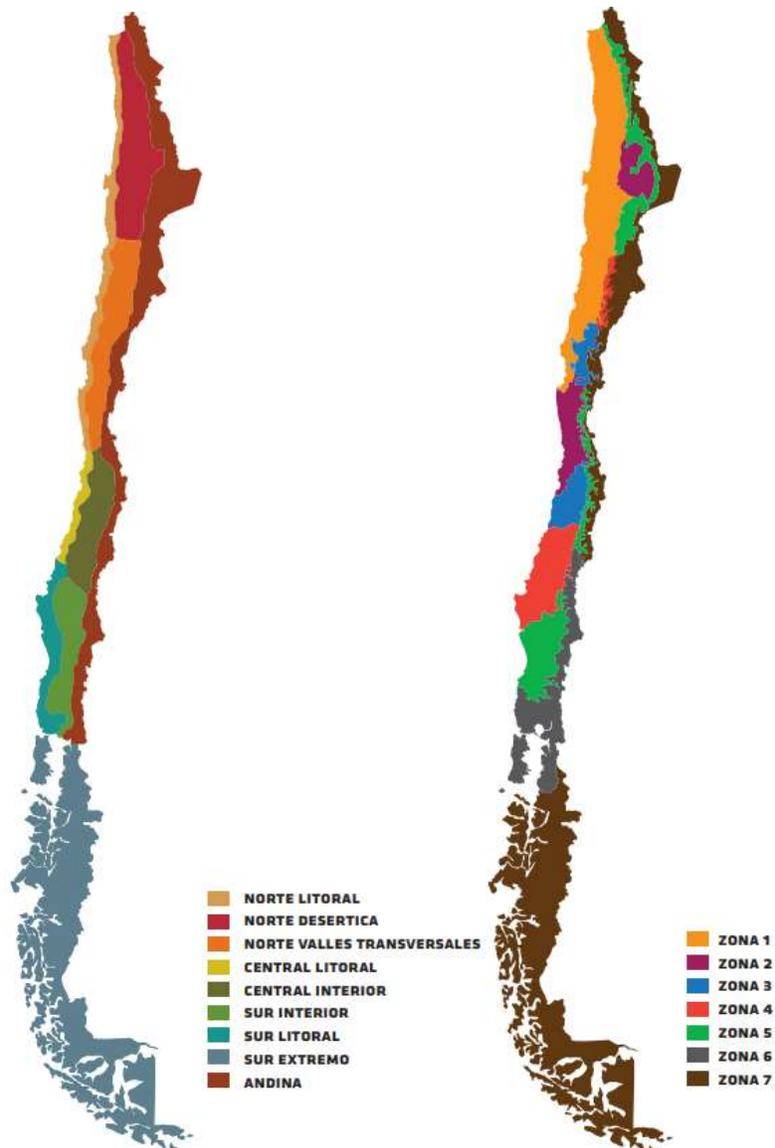


Figura 6. Izq. Mapa de zonificación climático habitacional de la Nch 1079-2008. Der. Mapa de zonificación térmica.(Instituto Nacional de Normalización, 2008)

Capítulo III - Metodología

Esta investigación está basada en el proyecto INNOVA BIO BIO “Prótesis bioclimáticas para la arquitectura en madera; desarrollo de un sistema de componentes arquitectónicos adaptables para el acondicionamiento pasivo y la rehabilitación energética de viviendas existentes en diferentes contextos microclimáticos de la región del Bio-Bío”, del Dr. Arqto. Leonardo Agurto Venegas. Esta investigación experimental realizada en el año 2017, ha sido desarrollada en dos grandes etapas:

- 1) Proceso de diseño integrado.
- 2) Etapa experimental.

Por lo que el aporte científico de esta tesis será el desarrollo de una tercera parte donde se pretende evaluar el comportamiento de la estrategia, esta vez en zonas climáticas distintas a las propuestas originalmente. Para ello, se tomará como base el experimento desarrollado en la comuna de Chillán, cuyos resultados han sido publicados en dos artículos científicos según punto 3.1.1. (ver **Figura 7**).

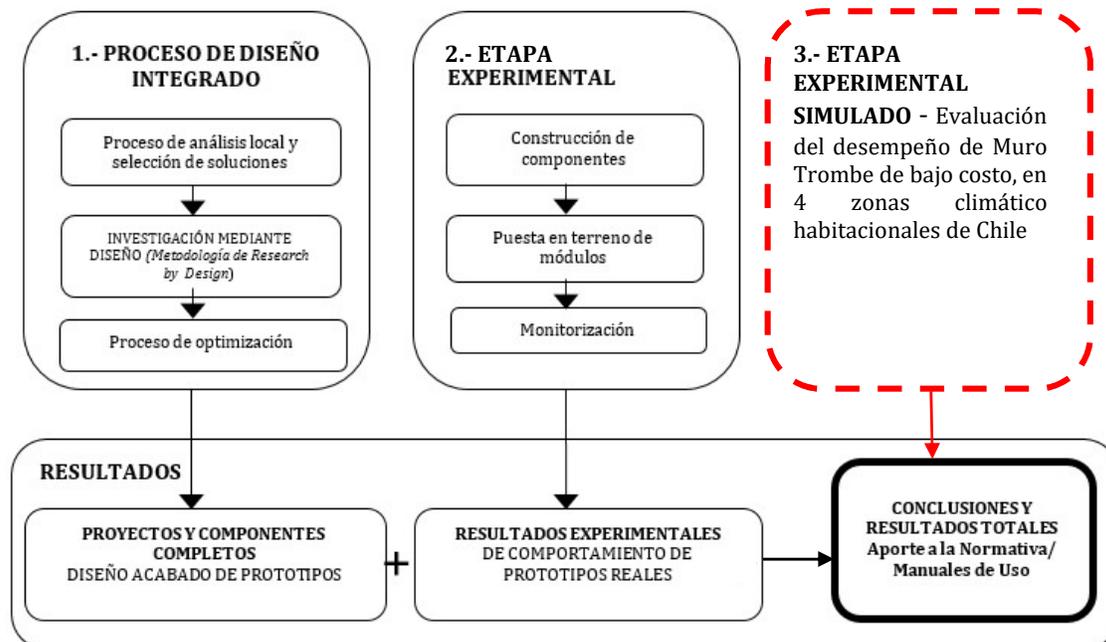


Figura 7. Esquema metodológico del proyecto Prótesis Bioclimáticas para la arquitectura en madera. (L. Agurto et al., 2014). La investigación de esta tesis aportaría a una 3ª etapa del proyecto.

La metodología de la investigación será abordada respondiendo a los objetivos específicos (OE) declarados. Para esto se supondrán 3 ejes rectores con los que se realizará toda la investigación (ver **Figura 8**).

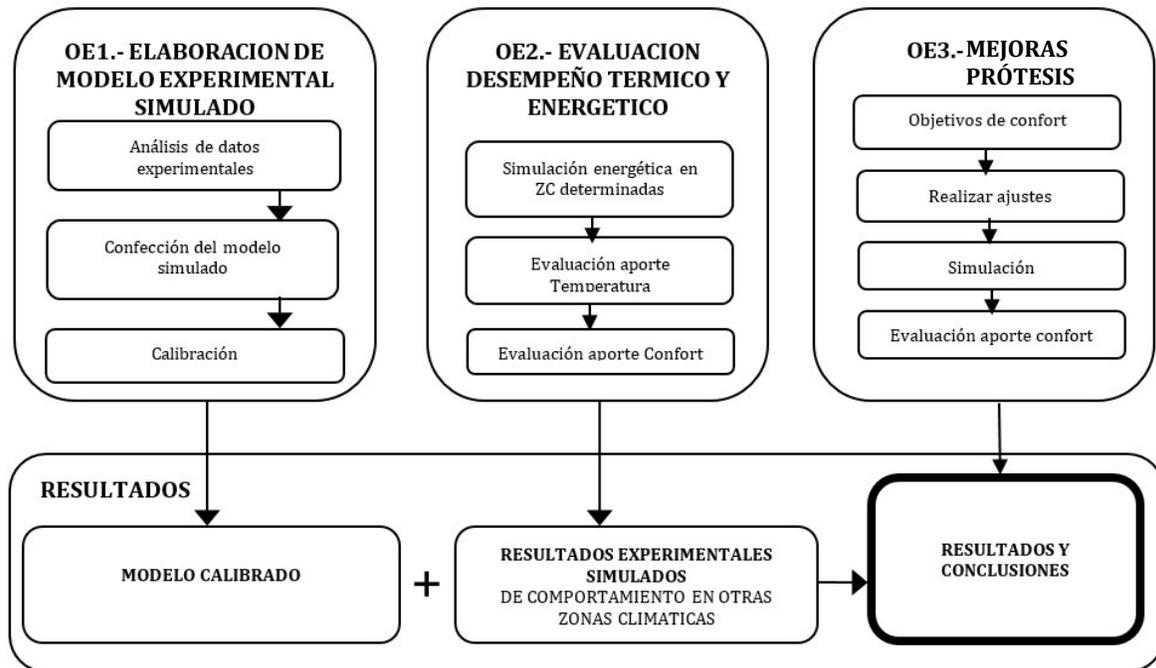


Figura 8. Esquema metodológico de la investigación. Elaboración propia.

3.1 Calibración teórica de modelo base de Celda y Prótesis.

El resultado esperado en esta etapa es obtener un modelo experimental simulado y calibrado. Para esto se realizó un análisis profundo de los artículos que forman parte de la investigación de Agurto y sus colaboradores.

3.1.1 Fuente de datos del experimento.

“Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile” (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a). Este artículo publicado el presente año en la revista Solar Energy tiene gran relevancia por exponer la manera en que fue realizado el experimento BP01 que corresponde a la evaluación experimental de un muro trombe de bajo costo, de ahora en adelante la “Prótesis” en dos zonas climáticas habitacionales definidas según la NCH1079/2008; en la ciudad de Coronel (SL) y Chillán (CI). Se extraen, además, los inputs que fueron claves para desarrollar el modelo experimental simulado.

“Bioclimatic Prosthesis: Experimental dataset for a low-cost Trombe wall to existing social housing refurbishment for an intermediate valley (Chillán) city in the south of Chile” (L. Agurto, Allacker, Fissore, & De Troyer, 2020). Este artículo publicado el presente año en la revista Data in Brief es de suma importancia ya que declara los resultados experimentales empíricos del experimento realizado en la ciudad de Chillán, datos que fueron claves a la hora de calibrar el modelo experimental simulado.

Los antecedentes recopilados de los artículos fueron corroborados por entrevistas directas con el investigador principal Dr. Arqto Leonardo Agurto Venegas y con el Constructor de las Celdas de prueba Sr. Luis Escobar Mora, TNS en Industrias de la Madera, quienes gustosamente aportaron con antecedentes teóricos, gráficos y técnicos precisos desde sus respectivas áreas.

Para realizar la evaluación de desempeño térmico y energético se utilizó el software Design Builder cuyo motor de cálculo es Energy Plus. Este software permite predecir las temperaturas interiores en oscilación libre y con HVAC y también la demanda de calefacción y enfriamiento Para ello fue necesario determinar los inputs a considerar tanto para la celda de pruebas como para la prótesis.

3.1.2 Configuración de la Celda

Para determinar las características arquitectónicas de la celda de pruebas, y que su configuración se asemejara de manera lo más real posible a una Vivienda Social, el experimento de Agurto se basó en las consideraciones de la *“Tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario, para proyectos del programa Fondo Solidario de elección de Vivienda. DS 49 2011”* (Reglamento, Programa, Solidario, & Urbanismo, 2020)(C. Molina et al., 2020). De la interpretación declarada en los artículos de la investigación, se define la Celda como se muestra en la **Figura 9**, creando en un solo espacio que, según la normativa, podría representar el espacio requerido para un dormitorio o el estar-comedor de una vivienda social. Como parte de este “escenario ideal”, se consideró un espacio “exclusa” que permite mantener el equilibrio del ambiente interior de la celda cada vez que se necesite entrar o salir y una ventana de 1,21 m² orientada al norte sobre la que se montó la prótesis similar al prototipo de Félix Trombe (Zrikem & Bilgen, 1987). La superficie de la celda es de 19,65 m² y consideró un volumen de 45 m³ aproximadamente.

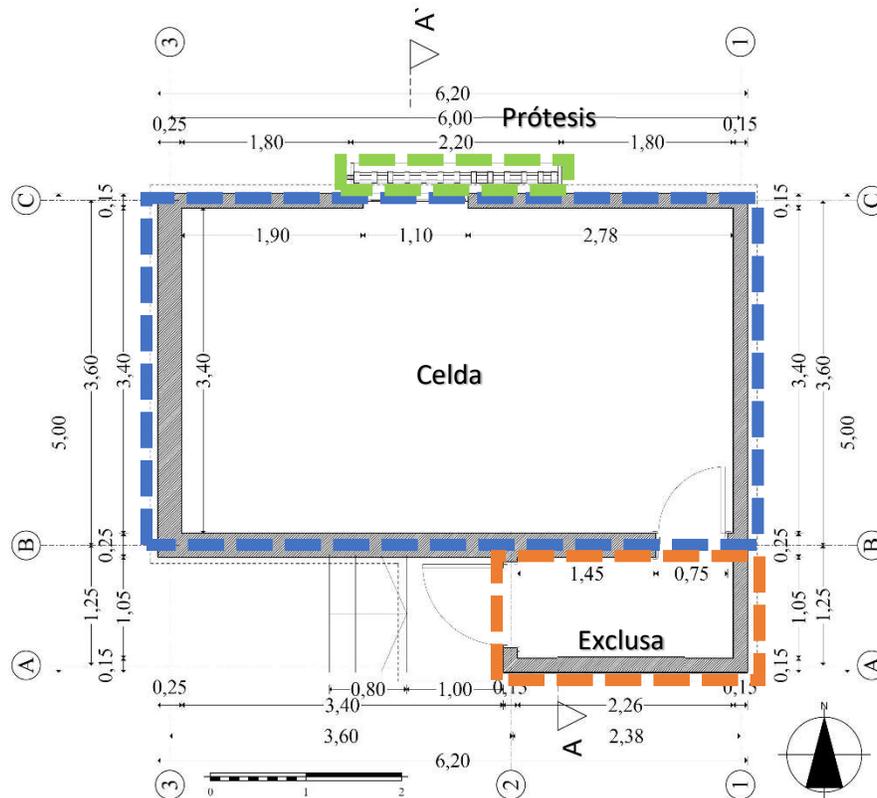


Figura 9. Planta Celda de pruebas diseñada bajo en el estándar del DS 49 de 2011. (Agurto et.al., 2020a)

3.1.3 Inputs Celda

Respecto a las características físico constructivas de la celda, se tomó como base lo publicado en la investigación experimental según la **Tabla 1**.

Al ingresar los inputs al modelo de Design Builder (ver **Figura 10**), se identificó que el cálculo arrojaba un valor U mayor al declarado en el artículo, por lo que se decidió dar estricta prioridad al valor U por sobre el espesor de la aislación, que el software disminuyó solo en milímetros. Por ejemplo, en el muro denominado "Interior wall" orientado hacia el Sur y Este, el software calculó que su espesor debía ser 135mms y no los 150 mms declarados en el artículo.

El piso ventilado no fue declarado en el artículo de la investigación, no obstante, en el modelo simulado se agregó como un elemento compuesto de 2 placas OSB de 15 mms y un núcleo de poliestireno expandido de 150 mms con un valor U 0,256 W/m²K.

Tabla 1. Inputs Celda de prueba. En el experimento simulado se priorizó el valor de U por sobre el espesor del material aislante. (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a)

Zone	Volume [m ³]	Technical characteristics				
		Components	Orientation	Composition (Layers)	Thickness (mm)	U Value (W/m ² K)
Interior Space	45 m ³	Exterior wall	North, West	Polystyrene OSB	50 30	0.632
		Interior wall	South, East	Polystyrene OSB	150 30	0.256
		Door	Adjacent to corridor	Wood	Massless layer	1.887
Corridor	6.8 m ³	Door	Adjacent to corridor	Wood	Massless layer	1.887
		Interior Wall	South, East, Adjacent to the corridor	Polystyrene OSB	150 30	0.256
		Roof wall	Adjacent to roof	Polystyrene OSB	150 30	0.256
		Door	West	Wood		1.887
Roof	13.8 m ³	Roof wall	Adjacent to Corridor, interior space	Polystyrene OSB	150 30	0.256
		Roof wall superior	North, Roof	Zinc	40	0.243
		Interior roof	Interior	Polystyrene Pinewood	100 50	1.537

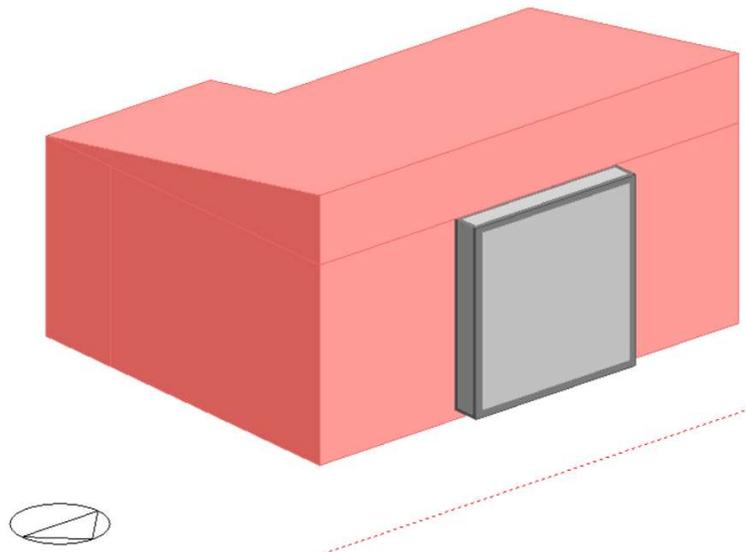


Figura 10. Imagen de la simulación de la Celda en Design Builder. Elaboración propia.

3.1.4 Configuración Prótesis

El diseño de la prótesis se basó en el diseño original del muro trombe diseñado por Félix Trombe (Zrikem & Bilgen, 1987), quien, en 1974, agregó una ventana, dando la posibilidad de mirar hacia el exterior a través del artefacto (Zhou, Huo, Zhou, & Jin, 2020). Las dimensiones son 2,1 mts de largo,

2,1 mts de alto y 0,3 mts de ancho, medidas exteriormente (ver **Figura 11**). La materialidad predominante es madera y la configuración de los elementos constructivos es según lo expuesto en el experimento de Agurto y sus colaboradores (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a).

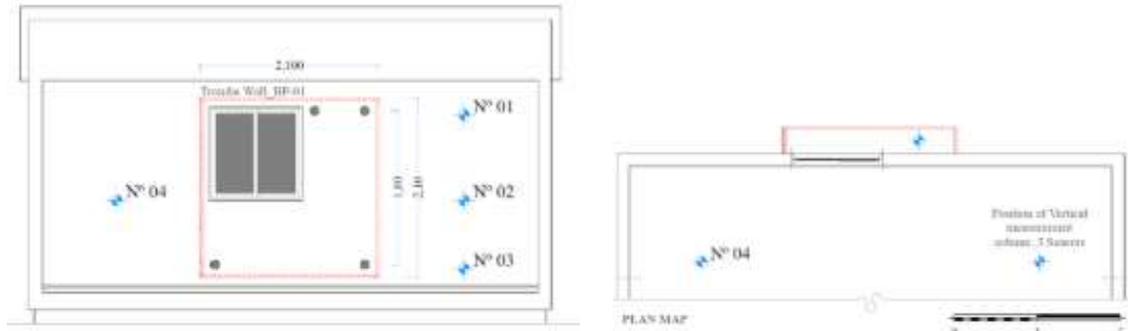


Figura 11. Arquitectura prótesis (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a)

3.1.5 Inputs prótesis

Respecto a las características físico constructivas de la prótesis, se tomó como base lo publicado en la investigación experimental (ver **Tabla 2**). Al igual que en la Celda, se decidió dar estricta prioridad al valor U por sobre el espesor de la aislación, que el software disminuyó solo en milímetros. Por ejemplo, en el muro denominado “Trombe Wall frame” orientado hacia el Sur y Este, el software calculó que su espesor debía ser 37 mms y no los 40 mms declarados en el artículo (ver **Figura 12**).

Tabla 2. Inputs Prótesis. En el experimento simulado se priorizó el valor de U por sobre el espesor del material aislante. (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a)

Zone	Dimensions and Volume [m ³]	Technical characteristics				
		Components	Orientation	Composition (Layers)	Thickness (mm)	U Value (W/m ² K)
Trombe Wall BP_01 Bioclimatic Prosthesis 01	1.6	Existing	Adjacent to internal zone	Polystyrene	50	0.632
		Internal Wall		OSB	30	
		Water wall	Interior	PVC	Water pipes	3.516
				Water	Diam 110	
		Trombe Wall frame	East, South, West	Polystyrene	40	0.698
		OSB	40			
		North oriented wall	North	Pinewood	40	1.803
				Single glazing	6	

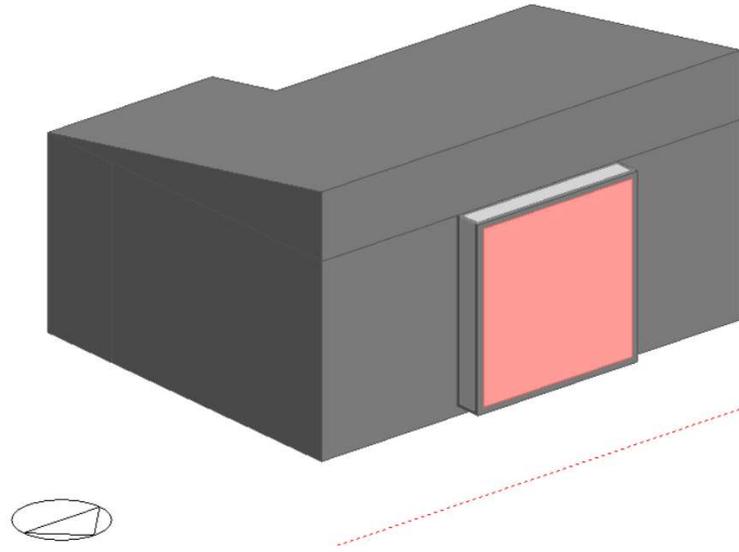


Figura 12. Imagen de la simulación de la Prótesis en Design Builder. Elaboración propia.

3.1.6 Edición de archivo climático

Según el experimento de Agurto Chillán, corresponde al clima Central Interior (CI). Los resultados experimentales declaran los datos climáticos de la estación Santa Rosa de Chillan obtenidos de INIA (“Agrometeorología | INIA,” n.d.) correspondientes al año 2017. Estos datos fueron declarados en el Dataset del experimento, por lo que se procedió con ellos a modificar el archivo climático correspondiente al clima CI (5CI-Santiago.epw) reemplazando los datos de temperatura del aire y radiación solar a través de la herramienta EPWtoCSV para Energy Plus (ver **Figura 13**), obteniendo así, el archivo climático utilizado para la calibración del experimento simulado.

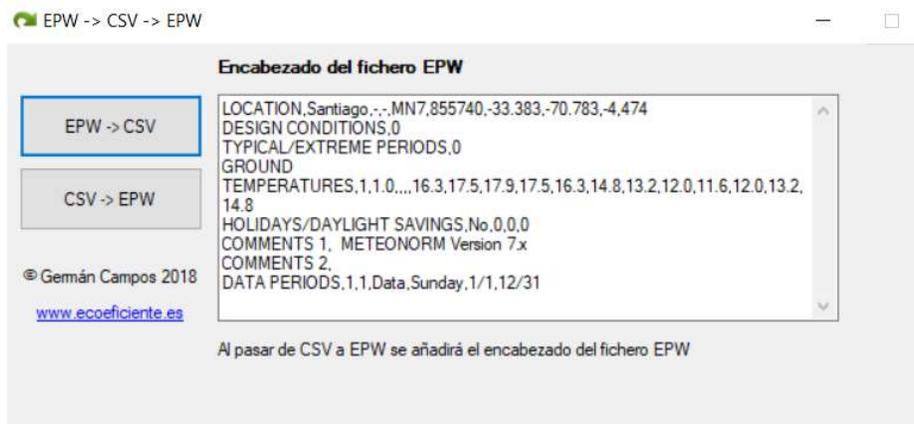


Figura 13. Imagen de la herramienta EPWtoCVS para Energy Plus. Elaboración propia.

3.1.7 Criterios de Selección de escenarios.

Durante el experimento se realizaron 4 escenarios (ver **Tabla 3**) diferenciados por fecha y configuración del experimento, como una manera de aprovechar el tiempo y los recursos disponibles y obtener así datos del comportamiento de la prótesis bajo distintos requerimientos. Luego, para poder calibrar el modelo experimental simulado, se seleccionaron los escenarios A-01 y W-02. Ambos representan el 66% de las lecturas totales, por lo que son representativos y significativos.

Tabla 3. Escenarios experimentales. (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020a).

Scenari	Season	Definitions for Trombe Wall elements	Start date	End date	Number of days of measurements	Amount of Hourly data collected	Shutter	Auxiliary Fan	Type of vents
A-01	Autumn	closed vent holes	30 March 2017	31 May 2017	65	1512	NO	NO	No vent holes
W-02	Winter	open vent holes + night shutters with insulation	14 June 2017	16 August 2017	64	1519	Mobile insulation during the night	NO	100 mm diameter
W-03	Winter	open vent holes + night shutters with insulation + auxiliary fan	17 August 2017	8 September 2017	23	512	Mobile insulation during the night	YES	100 mm diameter
S-04	Summer	Summer shadowing	1 February 2018	15 March 2018	43	1032	Low-cost Shading devices	YES	100 mm diameter

El escenario W-02 es seleccionado por las características de su configuración, que incorpora huecos de \varnothing 100 mms. que conectan la prótesis con la celda, generando así el intercambio de calor de manera natural. Además, este escenario incorpora postigos externos a la prótesis que, al cerrarse de noche, permiten conservar aún más la temperatura. Sin embargo, a la hora de realizar la simulación, Design Builder considera la prótesis como parte de la celda, no permitiendo verificar el comportamiento independiente. Por esta razón se selecciona el escenario A-01, el que permitió al software verificar el comportamiento independiente de la prótesis y la celda al no incorporar los huecos conectores.

El escenario W-03 no se seleccionó por que se consideró que el ventilador incorporado induciría a sesgos en la lectura al no poder comprobar su funcionamiento y flujo. El Escenario S-04 no se seleccionó porque contempla un sombreadero difícil de definir. Además, ambos escenarios no se consideran significativos en cuanto a la cantidad de lecturas.

3.1.8 Criterios para determinar la validación del modelo calibrado.

Para lograr la calibración del modelo, se simuló en Design Builder el experimento simulado con los inputs declarados en los puntos 3.1.3, 3.1.5, 3.1.6 y 3.1.7, para luego comparar los resultados obtenidos de la simulación con los resultados experimentales empíricos. La variable a comparar fue la temperatura interior horaria, tanto de la celda como de la prótesis, para evaluar el porcentaje de lecturas dentro del rango de confort establecido para la investigación entre los 18°C y los 26°C. Estos límites se definen basados en las temperaturas interiores promedio de invierno (Bustamante, 2009a). En el escenario A-01 se comparan 1512 lecturas y en el escenario W-02, 1518 lecturas de los respectivos periodos.

Los resultados de estas comparativas se calibraron usando estándares Ashrae Guideline 14; en dicha norma, se establecen las condiciones límite que puede existir entre los valores simulados y medido para determinar la exactitud del modelo térmico. Se considera que el Desviación Media del Error (MBE) entre las temperaturas de la simulación y la realidad debe variar como máximo entre 10% y -10% y el Coeficiente de Variación de la Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (CV(RMSE) debe variar en un rango menor al 30% (Garrett & New, 2016) (De Wilde, 2014).

Durante el proceso de calibración fue necesario realizar ajustes, esto debido a que las primeras comparativas arrojaron diferencias en los máximos establecidos como MBE y CVRMSE. También se realizó análisis de confort adaptativo según Ashrae 55 solo como un antecedente.

Validación Celda

Dentro de los aspectos físico constructivos, se consideró el cambio en los espesores de aislación declarados en el punto 3.1.3. Otro ajuste realizado fue el considerar el piso como un elemento no adiabático, distinto a lo declarado en la investigación. Esto mejoró el comportamiento de la inercia térmica y ajustó los resultados simulados con los experimentales en cuanto a la temperatura interior.

Respecto al uso, se considera un escenario ideal, sin usos ni ganancias internas por equipos.

Otro aspecto a calibrar fue las infiltraciones. A pesar de ser un ambiente muy controlado y al no existir ensayos que lo corroboren, sumado que la celda no considera terminaciones interiores como

pavimentos, los revestimientos interiores y cielos se realizan con placas de madera, hace suponer que el modelo de infiltraciones no es tan ideal. Según el Manual de hermeticidad al aire de las edificaciones, las edificaciones construidas entre los años 2007 y 2010 presentan valores n_{50} de 12,9 1/h (CITEC UBB, 2013). Es por esta razón y considerando que las estrategias de las Prótesis bioclimáticas están pensadas especialmente en la Vivienda Social construida antes de la reglamentación térmica del 2000 y que los requisitos arquitectónicos del DS 49 no establecen niveles de infiltración, sumado a varios posibles escenarios simulados, es que se decide considerar una tasa constante de 2 ac/h.

Validación Prótesis

Dentro de los aspectos físico constructivos, se consideró disminuir el espesor de la aislación aún más a lo declarado en el punto 3.1.5, debido a que la temperatura interior simulada oscilaba de manera muy distinta a la temperatura interior experimental, de esta manera al reducir la inercia térmica, ambas curvas se calibraron. También se verificó el volumen de agua del elemento muro de agua configurado en el modelo simulado, para que se aproximara lo más posible a los 166 litros de agua declarados en el experimento.

Respecto al uso, en el escenario W-02 el experimento no declara calendario de uso de los postigos, por lo que se debió establecer un calendario de cierre y apertura de los postigos tomando como criterio la presencia de radiación solar. Esto dejó un horario de apertura a las 07:00 hrs y de cierre variable entre las 18:00 y 19:00 hrs.

Otro aspecto a calibrar fue las infiltraciones. A pesar de ser un ambiente muy controlado y al no existir ensayos que lo corroboren, sumado a la complejidad de los elementos constructivos de la prótesis hace considerar que hubo un alto nivel de infiltraciones. Se realizaron varios posibles escenarios, siendo el más certero el que considera un valor constante de 4 ac/h. No obstante, se debe considerar que la Prótesis un artefacto, no un espacio habitable.

3.1.9 Brecha entre resultados simulados y experimentales.

De los análisis realizados durante el proceso de calibración del modelo se observó diferencias notorias en algunas lecturas de los escenarios definidos, por lo que se debió realizar análisis más exhaustivos de las posibles causas.

Capítulo III – Metodología.

Los datos climáticos durante el experimento, es una variable que se pudo controlar editando el archivo climático, de otra manera no se hubiese llegado a calibrar el modelo adecuadamente.

El calendario de uso es una variable abordada y controlada debido a las características ideales del experimento, en el que no hubo ocupación durante todo el periodo de pruebas.

El modelo de infiltraciones es una variable que se define estimando según normativa y criterio debido a que no se declara de manera explícita.

En el escenario W-02 los resultados de la de la temperatura interior simulada se obtuvieron simulando el modelo de “celda + prótesis con postigos cerrados” en todas las horas del periodo. Lo mismo se hizo considerando la “celda + prótesis con postigos abiertos” durante todo el periodo. Luego se confeccionó un solo archivo que recogiera ambas configuraciones simuladas y se extrajeron los resultados obtenidos de la simulación con los postigos abiertos en los horarios donde hubo presencia de radiación solar representando el día, luego en los horarios sin radiación solar se agregaron los resultados de la simulación con postigos cerrados representando la noche. De esta manera se obtuvo un comportamiento de ambas curvas; simulada y experimental, bastante cercanas, no obstante, se verificó que en ciertos días la temperatura simulada era muy superior a la experimental, por lo que procedió a comparar con las temperaturas arrojadas con postigo cerrado, coincidiendo en todas las ocasiones, lo que hace suponer que, durante el experimento, no hubo rigurosidad en la apertura y cierre de los postigos ni en sus horarios.

En general es posible identificar donde se generan las brechas debido al ambiente controlado del experimento, lo que hace suponer que, en experimentos más complejos, debe considerarse las actividades experimentales como aspectos críticos y dejar registro del control de ellos.

3.2 Evaluación de desempeño térmico y energético de modelo base en cuatro climas diferentes de Chile.

3.2.1 Criterios para la selección de las zonas climático habitacionales como contexto de los casos de estudio.

Para la selección de los climas se tomaron algunos criterios pensados en que la estrategia del muro trombe represente un aporte. La zonificación climático habitacional es la especificada en la NCH 1079 of 2008 (NCh1079Of.2008, 2008). El criterio es seleccionar climas extremos y diverso entre sí, que permitan analizar la estrategia bioclimática bajo escenarios complejos (ver **Figura 14**). Los climas elegidos son:

Norte Desértico (ND); Bwk, Köppen (Inzunza, 2002): A pesar de ser un clima caluroso y desértico, posee poca oscilación diaria de temperatura promediando los 18°C y una fuerte radiación solar, por lo que la estrategia bioclimática de un muro trombe se presenta como una alternativa ideal para captar y almacenar calor en el día a través de la Prótesis y liberarlo de noche, para mejorar el confort nocturno. El desafío principal de este clima será el calor extremo en verano, en que la Prótesis podría aportar aún más calor.

Central Interior (CI); Csb, Köppen (Inzunza, 2002): Es el clima en que se realizó el experimento originalmente, posee una oscilación diaria moderada de temperaturas templadas. Otro aspecto por el que se selecciona es porque las ciudades emplazadas tienen altos índices de contaminación atmosférica, por lo que la implementación de la Prótesis podría ser un aporte significativo.

Sur Extremo (SE); Bsk's, Köppen (Inzunza, 2002): Es un clima frío con temperaturas diarias que promedian los 10°C. Representa un desafío por la alta nubosidad durante todo el año y la radiación



solar moderada. Al igual que el clima CI, las ciudades emplazadas en esta zona poseen altos índices de contaminación atmosférica especialmente por el uso de combustión de leña.

Andina (An); Eth; Köppen (Inzunza, 2002): Este clima se seleccionó por estar presente en toda la zona cordillerana desde el norte de Chile hasta Puerto Montt. Posee altas oscilaciones de temperatura diaria y gran radiación solar.



Figura 14. Climas seleccionados para la investigación. Nch1079-2008.

3.2.2 Criterios normativos para la simulación térmica.

La Celda en general no sufren modificaciones arquitectónicas. Se establece que el criterio normativo de ajuste al modelo a simular en los climas seleccionados, será del tipo físico constructivo, específicamente los valores máximos de transmitancia térmica U de la envolvente establecido en la NCH 1079-2008 (NCh1079Of.2008, 2008) (ver **Tabla 4**) encontrándose que todos los valores de U del modelo calibrado cumplen en cuanto a muros, techumbre opaca y piso ventilado, no obstante, en vidrios no cumple, lo que se declara también como criterio. Los valores U utilizados en la simulación de la Celda son los declarados en la **Tabla 1** (ver también **Tabla 12**).

Tabla 4. Valores máximos recomendados de transmitancia térmica U de la envolvente Nch 1079 of 2008. (Instituto Nacional de Normalización, 2008) y valores de U para modelo calibrado.

Clima	Muros (W/m ² K)	Techo (W/m ² K)	Piso (W/m ² K)	Vidrios (W/m ² K)
ND	0,5	0,4	0,7	3
CI	0,6	0,5	0,8	3
SE	0,4	0,25	0,5	2,4
An	0,3	0,25	0,4	2,4

Los valores U utilizados en la simulación de la Prótesis son los declarados en la **Tabla 2**.

Otro antecedente importante es la tasa de infiltración, para lo que se utilizó los valores establecidos en la “Tabla 3.5. Límites de hermeticidad al aire de edificaciones por provincias”, del Manual de Hermeticidad al aire de las edificaciones (CITEC UBB, 2013), que estipula los valores n50 por ciudad.

3.2.3 Criterios para el análisis de desempeño térmico en los cuatro climas definidos.

Se realizan análisis de desempeño desde lo más general hasta lo más particular, entendiendo que la estrategia bioclimática es adaptativa. La simulación es realizada en oscilación libre. Se realizan dos simulaciones por clima; Celda sin Prótesis (Celda S/P) y Celda con Prótesis (Celda C/P) para luego ser analizadas y comparadas entre sí (ver **Figura 15**).

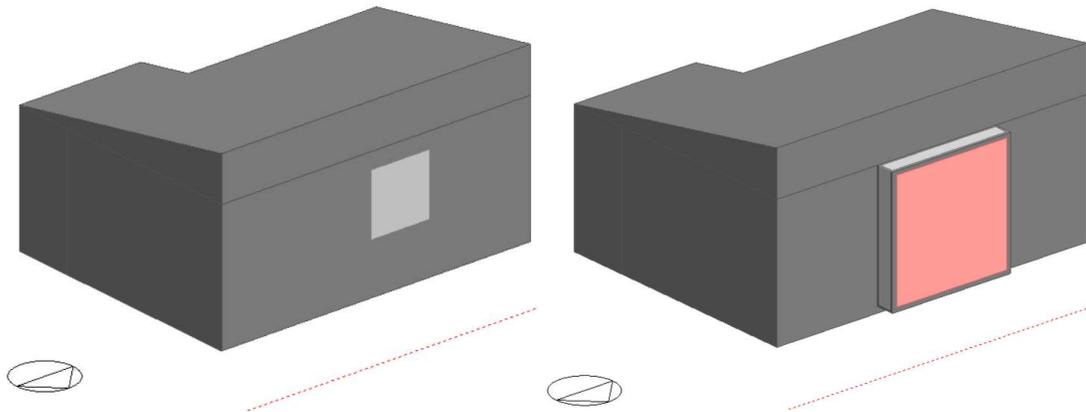


Figura 15. Imagen simulada en Design Builder. Izq. Celda sin Prótesis. Der. Celda con Prótesis.

Primeramente se obtienen los desempeños anuales a través de día promedio, evaluando el confort según rango de temperatura interior entre 18°C y 26°C (Bustamante, 2009b) (RITCH07, 2007), mismo rango que se utilizó en la investigación experimental empírica, calculando el porcentaje de horas bajo (<18°C), dentro (entre 18°C y 26°C) y sobre el rango (>26°C) determinado y también se evalúa el confort adaptativo según Ashrae 55.

Luego se realizan análisis mensuales comparando el desempeño de la Celda con y sin prótesis mes a mes. Se obtienen y comparan las lecturas según el rango de confort establecido.

Finalmente se define un periodo representativo para cada clima según su análisis previo. Se establecen periodos para determinar demanda de calefacción y demanda de enfriamiento para cada clima, seleccionando periodos de dos semanas a través de los Grados Días (GD) basados en las temperaturas límites del rango (18°C para calefacción y 26°C para enfriamiento). Se evalúa el confort a través de porcentajes de lecturas bajo, en y sobre el rango definido. Se determina que un buen comportamiento es el que aumenta las temperaturas dentro del rango en al menos un 10%.

3.2.4 Criterios para determinar el Consumo y ahorro energético en los cuatro climas definidos.

Para establecer el impacto de la Prótesis sobre el consumo energético (Nanda & Panigrahi, 2016), tanto para establecer las demandas de calefacción y enfriamiento, al igual que para el desempeño térmico, se realizan dos simulaciones por clima; Celda S/P y Celda S/P, ambas con HVAC activado para luego analizarlas y compararlas entre sí. Para calefacción se considera Biomasa como combustible y un CoP de 0,85 (Rabani, Kalantar, Dehghan, & Faghih, 2015). Para enfriamiento, se considera electricidad como combustible y un CoP de 1,8 (Stazi, Mastrucci, & di Perna, 2012). En ambos casos se considera un calendario de ocupación On 24/7. Este análisis se realiza para la Celda y Prótesis, para la Celda S/P y Celda C/P y para los cuatro climas declarados en este estudio. Se considera un periodo de análisis anual (Tam, Almeida, & Le, 2018). De esta manera se analizará el posible ahorro de energía que representa la implementación de la Prótesis en los periodos en que presenta un mayor aporte térmico. Se determina que un buen comportamiento es el que ahorra energía dentro del rango en al menos un 10%.

3.3 Criterios de selección de estrategias de mejoramiento de la Prótesis según requerimientos climáticos.

3.3.1 Estrategias de mejora del desempeño térmico según requerimientos climáticos.

Para realizar ajustes al rendimiento del modelo experimental, se considera modificar solo la prótesis como objeto de estudio. Estos ajustes responden a estrategias basadas en la zona climático habitacional específica y los GD. Se establecen 5 configuraciones para para demanda de calefacción, 2 configuraciones para demanda de enfriamiento y 1 configuración mixta. Estas configuraciones son analizadas para los cuatro climas seleccionados y comparadas entre sí.

3.3.2 Criterios para el análisis de resultados post ajustes de la prótesis.

Los resultados que se evaluaron son la temperatura y el confort a través de las horas de confort según el rango entre 18°C y 26°C (RITCH07, 2007), mismo rango que se utilizó en la investigación experimental empírica. Para realizar las conclusiones se observaron las horas sobre, entre y bajo el rango de confort establecido estableciendo el real aporte de esta estrategia bioclimática al clima

estudiado. Se determina que un buen comportamiento es el que aumenta las temperaturas dentro del rango en al menos un 10%.

3.3.3 Criterios para determinar el desempeño y ahorro energético según estrategias de mejora.

Basados en las mismas configuraciones establecidas para el análisis de desempeño térmico, se determina el consumo y el ahorro energético para todas las configuraciones (8). Se realizan las simulaciones con HVAC activado para luego analizarlas y compararlas entre sí. Para calefacción se considera Biomasa como combustible y un CoP de 0,85 (Rabani et al., 2015). Para enfriamiento, se considera electricidad como combustible y un CoP de 1,8 (Stazi et al., 2012). Se considera un calendario de ocupación On 24/7. Este análisis se realiza para la Celda y Prótesis, para todas las posibles configuraciones de la Prótesis y para los cuatro climas declarados en este estudio. Se considera un periodo de análisis anual y mensual (Tam et al., 2018). De esta manera se analizará el posible ahorro de energía que representa la implementación de la Prótesis en los periodos en que presenta un mayor aporte térmico. Se determina que un buen comportamiento es el que ahorra energía dentro del rango en al menos un 10%.

Capítulo III – Metodología.

Capítulo IV - Resultados

En este capítulo se abordarán los resultados obtenidos de la investigación. Primeramente, se revisarán los resultados de la calibración de la Celda y de la Prótesis en los dos periodos seleccionados por separado. La calibración se hará según el estándar Ashrae Guideline 14 que establece los valores de MBE y CV (RMSE) que para el criterio horario establece que no deben ser mayor a 10% y 30% respectivamente. Luego se revisarán los resultados del desempeño de la estrategia en los cuatro climas definidos. Finalmente se revisarán los resultados de las mejoras establecidas para cada clima.

4.1 Calibración Celda + Prótesis para el escenario W-02

En este punto se revisará la calibración de la Celda + Prótesis incluidas (ver **Figura 16**), esto debido a que el software Design Builder reconoce ambos espacios como una sola zona al estar unidas por las perforaciones que conectan Celda y Prótesis. El periodo de análisis es desde el 14 de junio al 16 de agosto de 2017 (ver **Tabla 3**), totalizando 1518 lecturas horarias. Este escenario se caracteriza por la implementación de postigos y 4 perforaciones de 100 mms de diámetro que unen la Prótesis con la Celda.

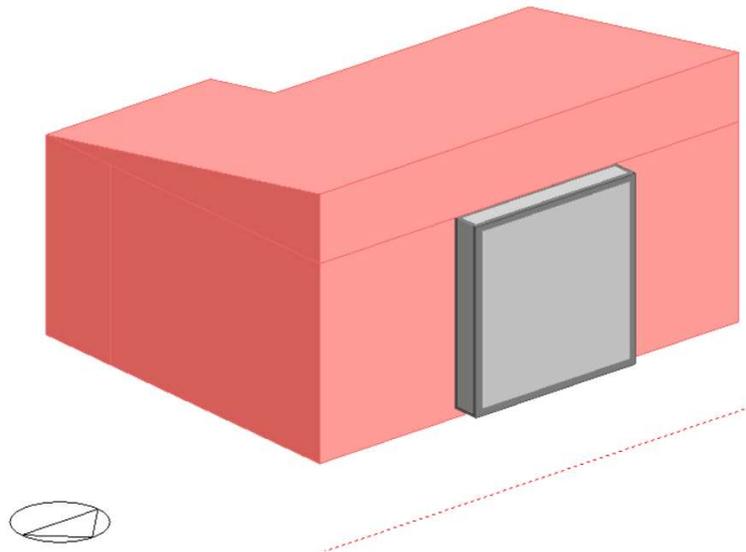


Figura 16. Imagen de la simulación de la Celda + Prótesis en Design Builder. Escenario W-02.

Simulación Celda Experimental y Celda C/P + postigos abiertos y cerrados por separado.

Se realiza simulación para todo el periodo comparando los criterios: Temperatura exterior, T° Celda experimental, T° Celda C/P + postigos abiertos, T° Celda C/P + postigos cerrados, todas por separado. Es notable la diferencia entre la simulación con y sin postigos, sin embargo, la curva sin postigos es la que más se asemeja a los datos arrojados por el experimento, por lo tanto, se deberá establecer un calendario mixto de uso de los postigos (ver **Gráfico 5** y **Gráfico 6**).

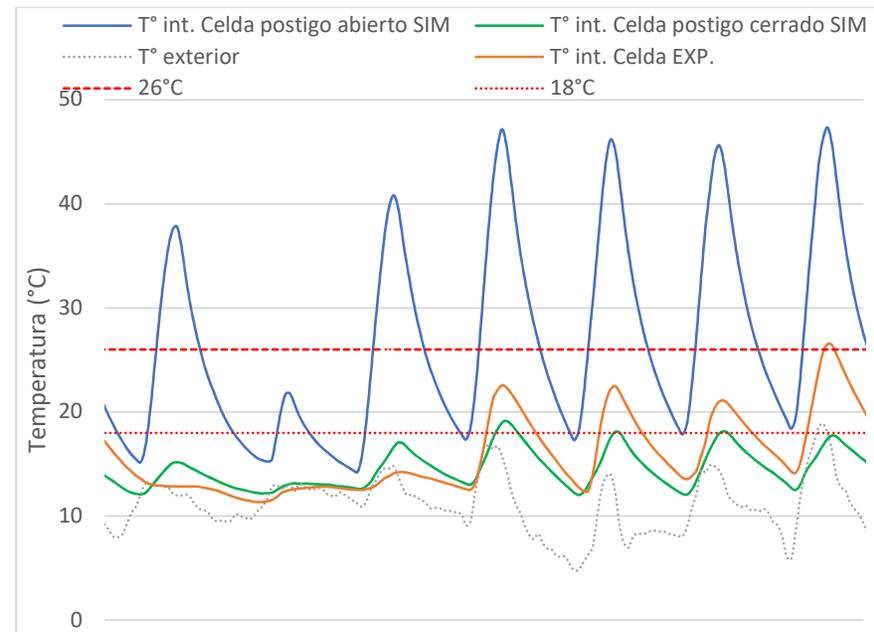


Gráfico 5. Simulación Celda experimental y Celda C/P + postigos abiertos y cerrados por separado. Muestra semana del 14 al 21 de junio.

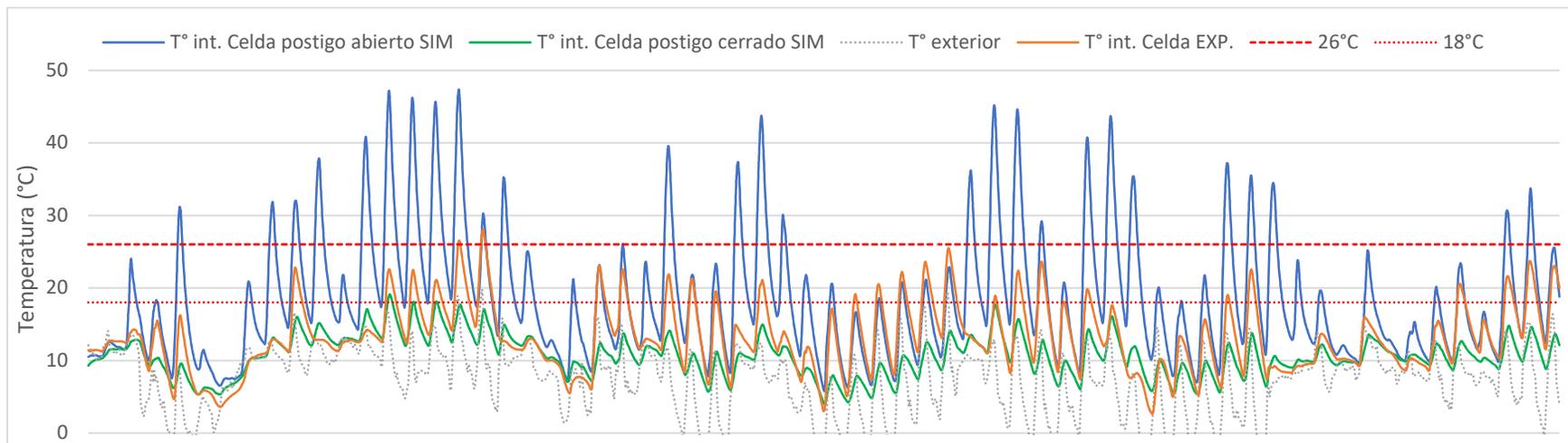


Gráfico 6. Simulación Celda experimental y Celda C/P + postigos abiertos y cerrados por separado. Todo el periodo.

Simulación Celda Experimental y Celda con Prótesis + calendario de uso de postigos.

Se realiza simulación para todo el periodo comparando los criterios: Temperatura exterior, T° Celda experimental, T° Celda C/P + calendario de uso de postigos. Para determinar el calendario de uso de postigos se establece el criterio de que los postigos serán configurados como cerrados cuando la radiación solar sea cero (0). Sin embargo, aún se puede notar un alto desfase entre el experimento y la simulación, para lo que se realizarán ajustes a la simulación (ver **Gráfico 7** y **Gráfico 8**).

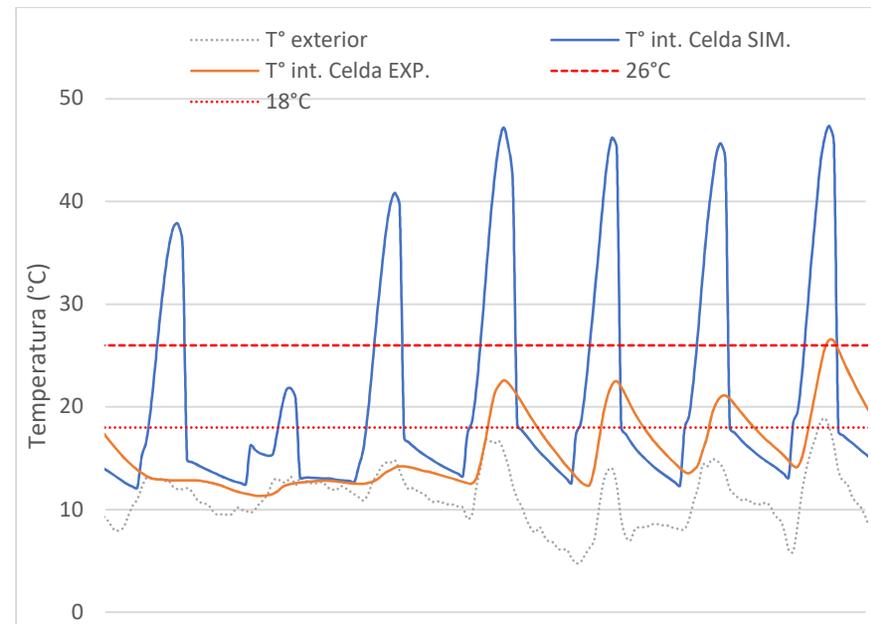


Gráfico 7. Simulación Celda experimental y Celda C/P + calendario de uso de postigos. Muestra semana del 14 al 21 de junio.

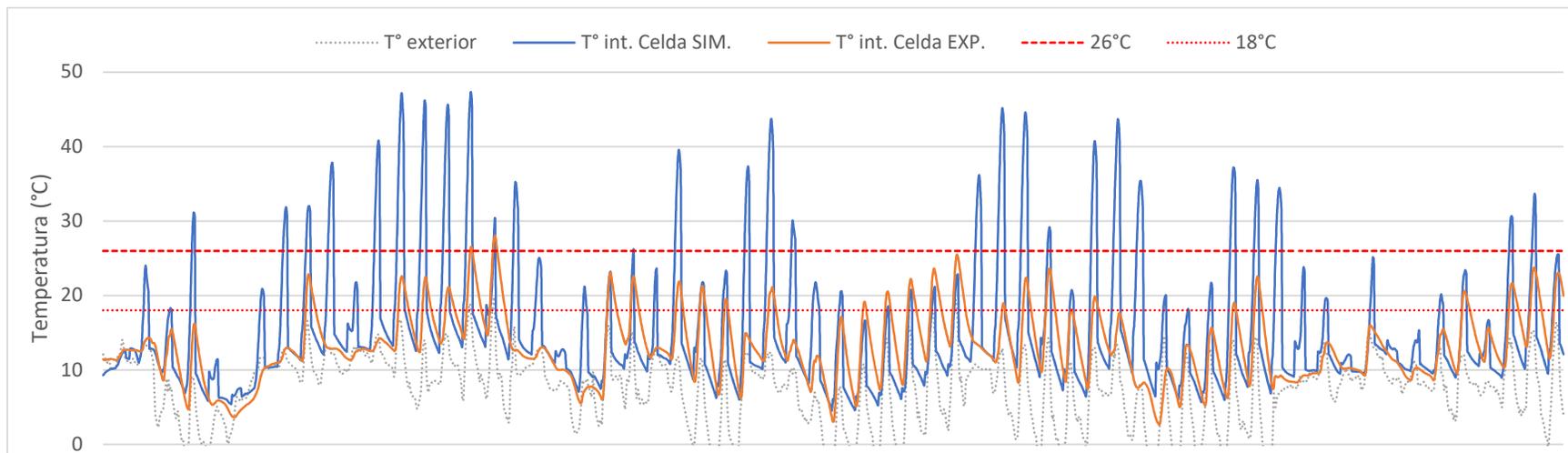


Gráfico 8. Simulación Celda experimental y Celda C/P + calendario de uso de postigos. Todo el periodo.

Simulación Celda Experimental y Celda C/P + calendario de uso de postigos ajustada.

Se realizan 28 pruebas que consideran ajustes para la calibración del modelo, sin embargo, la mayoría no son consideradas pues no representan aportes significativos. Los ajustes más importantes y que si generan cambios significativos son las infiltraciones que para la Celda se seteó en 2 ac/h y para la prótesis en 4 ac/h y el ajuste de la aislación térmica de la prótesis en que se hace prevalecer el valor de U declarado en el experimento, lo que obliga a disminuir el espesor de las aislaciones en 5mms. aprox. Con estos ajustes se observa que las curvas oscilan de manera más ajustadas (ver **Gráfico 9** y **Gráfico 10**).

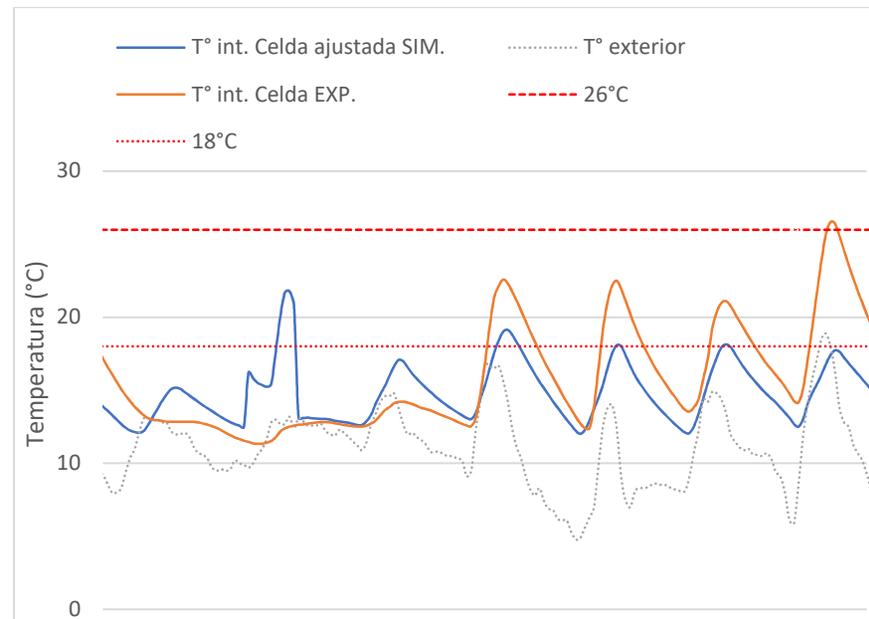


Gráfico 9. Simulación Celda experimental y Celda C/P + calendario de uso de postigos ajustada. Muestra semana del 14 al 21 de junio.

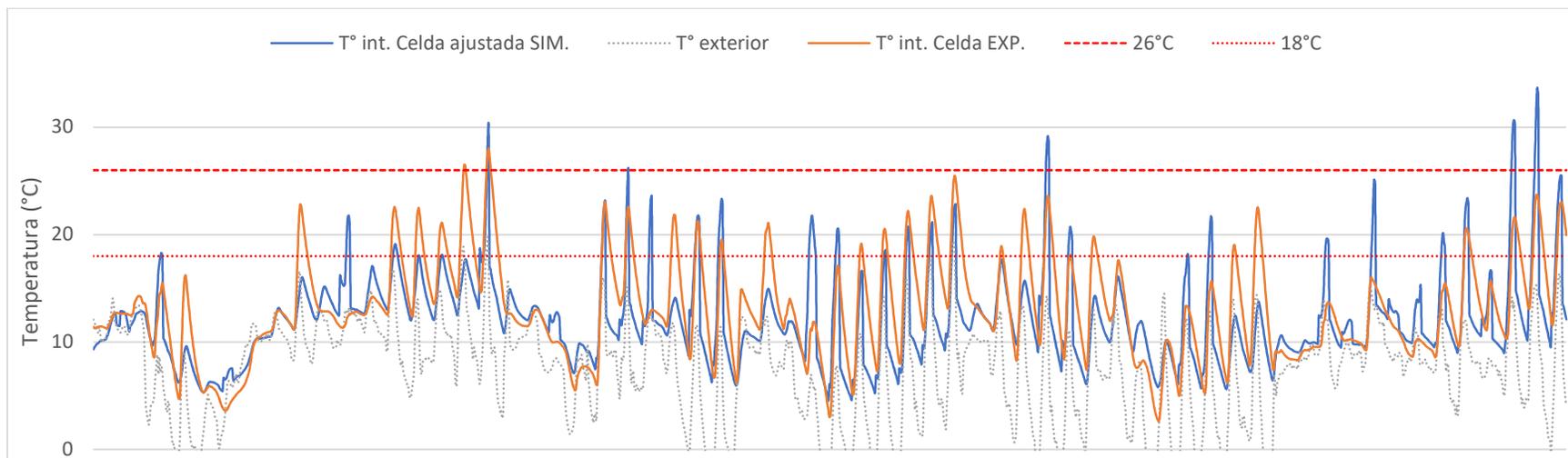


Gráfico 10. Simulación Celda experimental y Celda C/P + calendario de uso de postigos ajustada. Todo el periodo.

Sin embargo, los cambios ajustes más significativos se obtienen al analizar el comportamiento de las temperaturas simuladas con postigos y sin postigos v/s las temperaturas experimentales, descubriendo un patrón que se repite en algunas semanas en que las temperaturas simuladas de postigos cerrados coincidían con las temperaturas experimentales cuando se suponía que los postigos estaban abiertos, lo que hace suponer que durante el experimento hubieron días en que los postigos permanecieron cerrados las 24 hrs. Se reemplazan las temperaturas mencionadas y las curvas se acercan mucho más que con cualquier otro ajuste posible quedando finalmente como se muestra en el **Gráfico 9** y el **Gráfico 10**. El desempeño de un día promedio es muy similar (ver **Gráfico 11**).

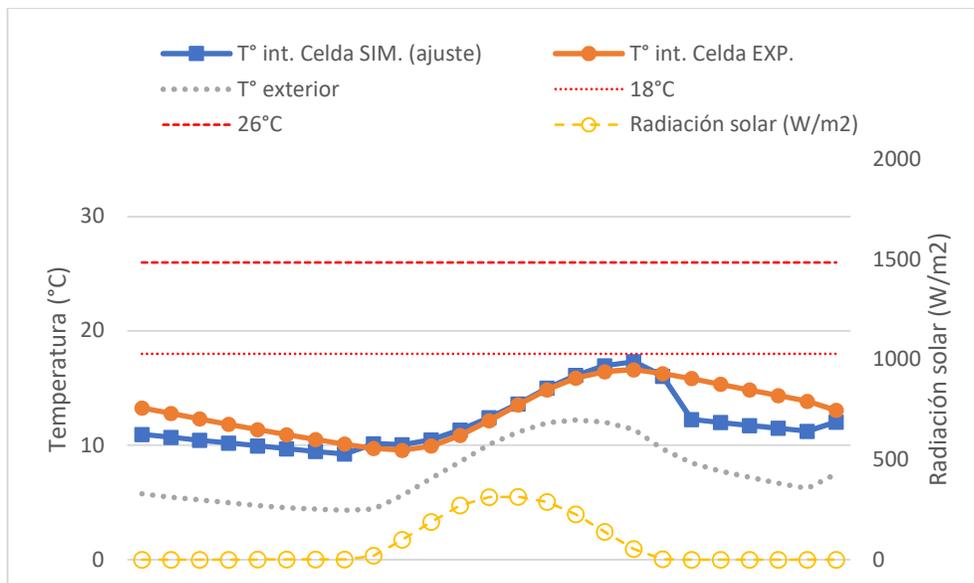


Gráfico 11. Desempeño Celda experimental y Celda C/P calibrada. Día promedio en el periodo.

4.1.1 Calibración según estándar Ashrae Guideline 14

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones, se realiza análisis numérico de los resultados de las temperaturas horarias para el periodo y se comparan con el requerimiento del estándar Ashrae Guideline 14, arrojando como resultado el cumplimiento de los valores de MBE (máx. 10%) y CV(RMSE) (máx. 30%) según se indica en la **Tabla 5**. Por lo tanto, se deduce que el modelo estaría calibrado y listo para ser usado para los análisis en otros climas. Es necesario mencionar que se realizaron más simulaciones que también cumplían con este estándar, sin embargo, se considera que la presente simulación es la que presenta los valores más óptimos.

Tabla 5. Resultados de la calibración de la Celda según el estándar Ashrae Guideline 14 para el escenario W-02.

Celda C/P	
Cantidad de registros	1518
MBE	7,79%
RMSE	3,51
CV(RMSE)	26,87%

4.1.2 Análisis de lecturas de temperaturas dentro del rango definido.

Se realiza un análisis de las lecturas del periodo para evaluar su comportamiento según la temperatura y el rango de confort establecido. Los resultados expresados en la **Tabla 6**, muestran que el modelo simulado arroja un 8% de menos lecturas en el rango de confort establecido mientras que el experimento arroja 7% menos de lecturas bajo el límite de los 18°C. Respecto a las lecturas sobre el rango de los 26°C, el modelo simulado presenta una mejora de solo 4 décimas de punto.

Tabla 6. Cantidad de lecturas de temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C. Escenario W-02.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Experimento	84,1%	15,4%	0,5%
Simulación	91,9%	7,1%	0,9%

4.1.3 Evaluación Confort adaptativo según Ashrae 55.

Finalmente se realiza un análisis del confort adaptativo según Ashrae 55, en que el modelo simulado arroja valores extremos mayores al experimento, lo que produce una variación de un 0,6% en el confort total (ver **Tabla 7**).

Tabla 7. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Experimento	82,5%	3,2%	13,1%	0,0%	0,9%	8,7%
Simulación	90,7%	2,6%	5,3%	0,2%	1,6%	8,1%

4.2 Calibración Celda para el escenario A-01

En este punto se revisará la calibración de la Celda (ver **Figura 17**) y la Prótesis por separado. El periodo de análisis es desde el 30 de marzo al 31 de mayo de 2017, totalizando 1512 lecturas horarias (ver **Tabla 3**). Este escenario se caracteriza por ser la configuración más sencilla de la prótesis, ya que no posee postigos, sombreaderos ni perforaciones que conecten la Prótesis con la Celda. Sin embargo, la complejidad está en configurar dos elementos separados que deben arrojar resultados comunes.

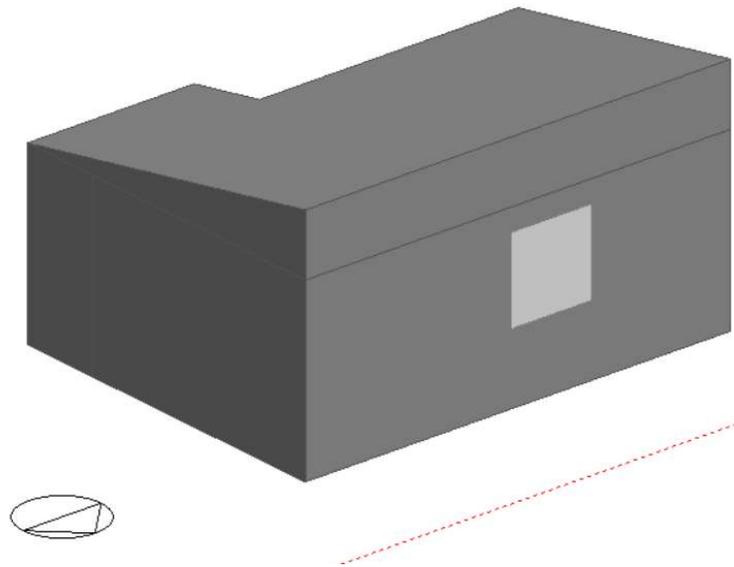


Figura 17. Imagen de la simulación de la Celda en Design Builder. Escenario A-01.

Simulación Celda Experimental y Celda Simulada.

Se realiza simulación para todo el periodo comparando los criterios: Temperatura exterior, Temperatura Celda experimental y Temperatura Celda simulada. Las diferencias en las gráficas arrojan bastante similitud en cuanto a las alturas de las curvas, sin embargo, aparecen desfasadas en la horizontal, lo que hace suponer diferencias en cuanto a la masa térmica del modelo simulado y el experimental.

Se realizan más de 15 pruebas que consideran ajustes para la calibración del modelo, sin embargo, la mayoría no son consideradas pues no son significativos sus aportes. Los ajustes más importantes y que si generan cambios significativos son las infiltraciones que para la Celda se deja en 2 ac/h. Finalmente no es posible ajustar más las curvas pues aumentar de manera excesiva la inercia térmica de la Celda alejaría demasiado el modelo simulado de la realidad del modelo experimental, por lo que se realiza comprobación con estándar Ashrae Guideline 14 para verificar calibración (ver **Gráfico 12** y **Gráfico 13**). En el **Gráfico 14** se observa el comportamiento de un día promedio.

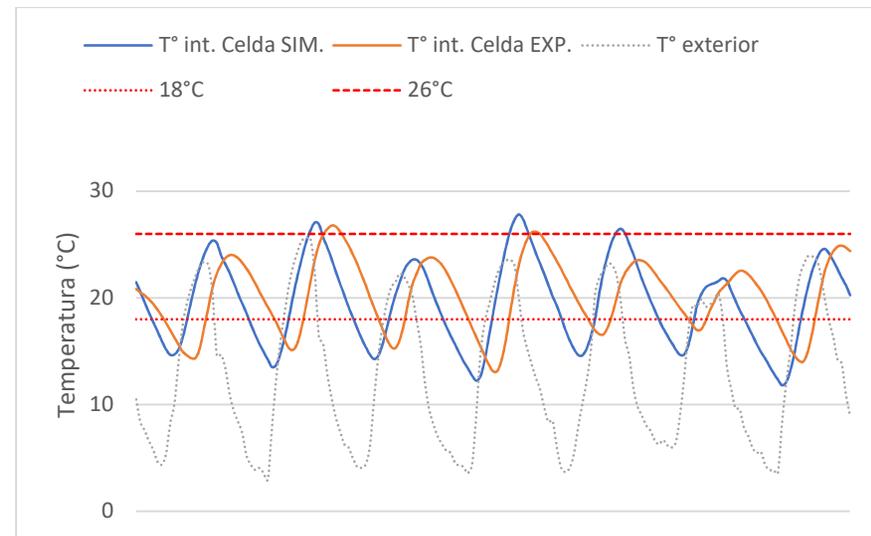


Gráfico 12. Simulación Celda experimental y Celda simulada. Muestra semana del 30 de marzo al 06 de abril.

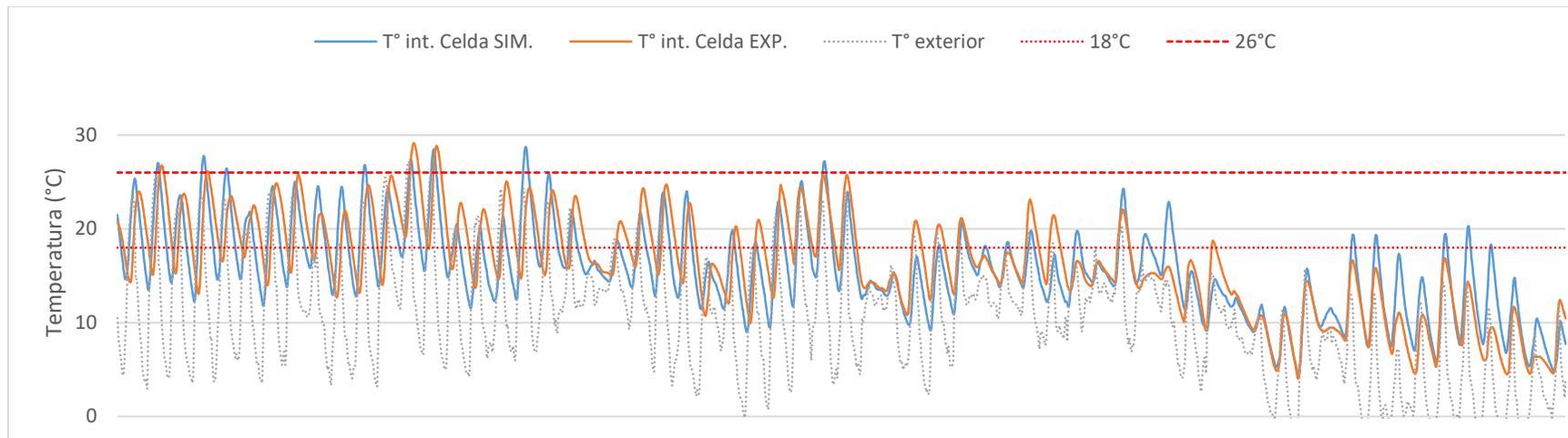


Gráfico 13. Simulación Celda experimental y Celda simulada. Todo el periodo.

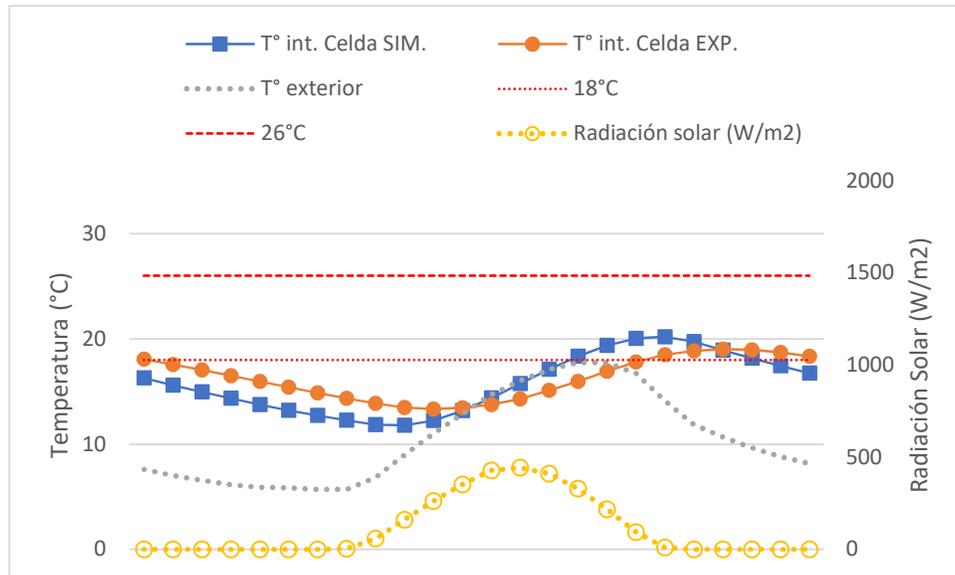


Gráfico 14. Desempeño Celda experimental y Celda simulada. Día promedio en el periodo.

4.2.1 Calibración según estándar Ashrae Guideline 14

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones, se realiza análisis numérico de los resultados de las temperaturas horarias para el periodo y se comparan con el requerimiento del estándar Ashrae Guideline 14, arrojando como resultado el cumplimiento de los valores de MBE (máx. 10%) y CV(RMSE) (máx. 30%) según se indica en la **Tabla 8**. Por lo tanto, se deduce que el modelo de la Celda estaría calibrado y listo para ser usado para los análisis en otros climas. Es necesario mencionar que se realizaron más simulaciones que también cumplían con este estándar, sin embargo, se considera que la presente simulación es la que presenta los valores más óptimos.

Tabla 8. Resultados de la calibración de la Celda de pruebas según el estándar Ashrae Guideline 14.

Celda	
Cantidad de registros	1512
MBE	3,01%
RMSE	3,19
CV(RMSE)	19,58%

4.2.2 Análisis de lecturas de temperaturas dentro del rango definido.

Se realiza un análisis de las lecturas del periodo para evaluar su comportamiento según la temperatura y el rango de confort establecido, en que el modelo simulado arroja un 8% de menos lecturas en el rango de confort establecido mientras que el experimento arroja 7% menos de lecturas bajo el límite de los 18°C.

Tabla 9. Cantidad de lecturas de temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Experimento	62,7%	35,7%	1,5%
Simulación	69,9%	27,8%	2,1%

4.2.3 Evaluación Confort adaptativo según Ashrae 55.

Finalmente se realiza un análisis del confort adaptativo según Ashrae 55, en que el modelo simulado arroja valores muy similares al experimento, lo que produce una variación de un 6% en el confort total.

Tabla 10. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Experimento	59,5%	5,7%	26,4%	3,6%	4,8%	35,6%
Simulación	66,6%	6,2%	20,2%	2,7%	4,2%	29,2%

4.3 Calibración Prótesis para el escenario A-01

En este punto se revisará la calibración de la Celda y la Prótesis por separado. El periodo de análisis es desde el 30 de marzo al 31 de mayo de 2017 (ver **Tabla 3**) totalizando 1512 lecturas horarias. Este escenario se caracteriza por ser la configuración más sencilla de la prótesis, ya que no posee postigos, sombreaderos ni perforaciones que conecten la Prótesis con la Celda. Sin embargo, la complejidad está en configurar dos elementos separados que deben arrojar resultados comunes (ver **Figura 18**).

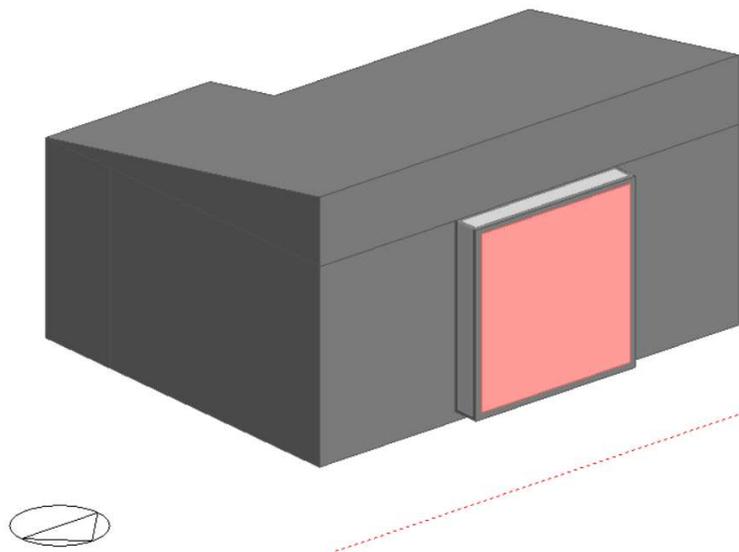


Figura 18. Imagen de la simulación de la Prótesis en Design Builder. Escenario A-01.

Simulación Prótesis Experimental y Prótesis Simulada.

Se realiza simulación para todo el periodo comparando los criterios: Temperatura exterior, T° Prótesis experimental y T° Prótesis simulada. Las diferencias en las gráficas arrojan bastante similitud en cuanto a las alturas de las curvas y también en el ancho, lo que hace suponer diferencias menores en cuanto a la masa térmica del modelo simulado y el experimental (ver **Gráfico 15** y **Gráfico 16**). En el **Gráfico 17** se puede observar el comportamiento de un día promedio.

Al igual que para la Celda, se realizan más de 15 pruebas que consideran ajustes para la calibración del modelo, sin embargo, la mayoría no son consideradas pues no son significativos sus aportes. Los ajustes más importantes y que si generan cambios significativos son las infiltraciones que para la Prótesis se deja en 4 ac/h. Finalmente no es posible ajustar más las curvas pues cualquier otro cambio sería estructural y alejaría demasiado el modelo simulado de la realidad del modelo experimental, por lo que se realiza comprobación con estándar Ashrae Guideline 14 para verificar calibración

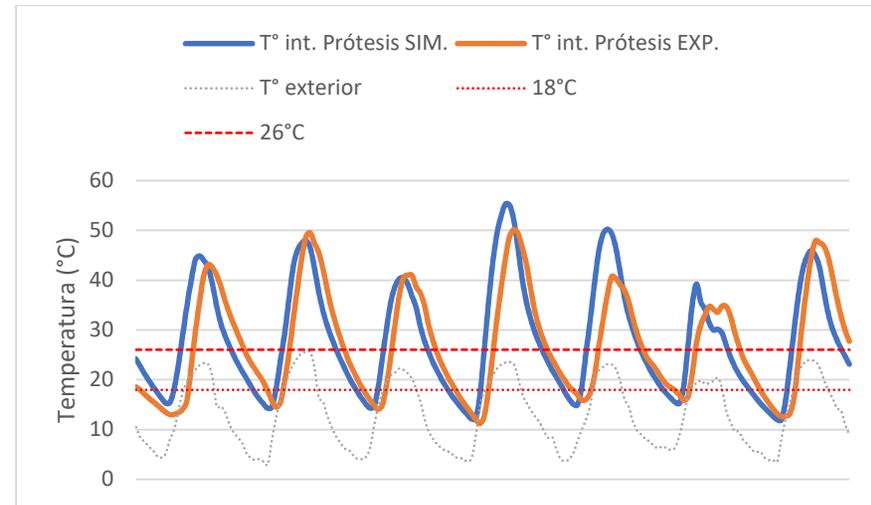


Gráfico 15. Simulación Prótesis experimental y Prótesis simulada. Muestra semana del 30 de marzo al 06 de abril.

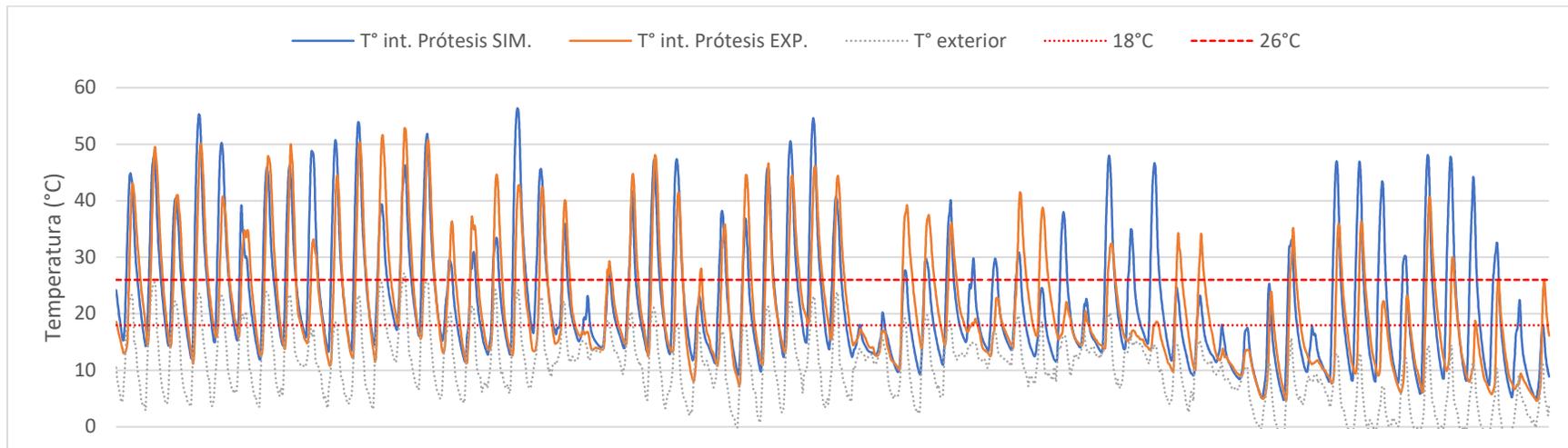


Gráfico 16. Simulación Prótesis experimental y Prótesis simulada. Todo el periodo.

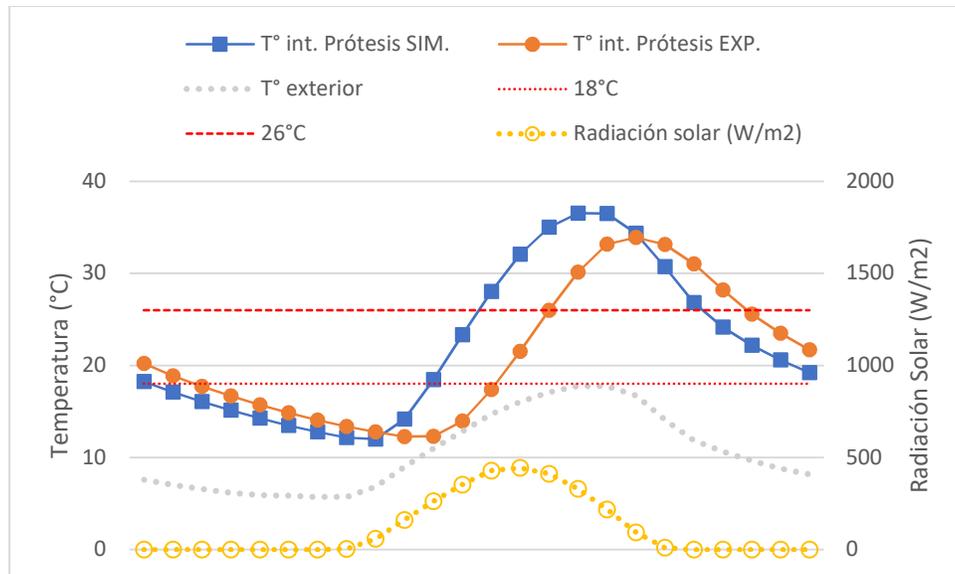


Gráfico 17. Desempeño Prótesis experimental y Prótesis simulada. Día promedio en el periodo.

4.3.1 Calibración según estándar Ashrae Guideline 14

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones, se realiza análisis numérico de los resultados de las temperaturas horarias para el periodo y se comparan con el requerimiento del estándar Ashrae Guideline 14, arrojando como resultado el cumplimiento de los valores de MBE (máx. 10%). No obstante, el valor de CV(RMSE) no pudo ajustarse al 30%. El seguir modificando la prótesis simulada en busca de cumplir con ese valor significaría cambios drásticos que alejarían el modelo simulado del modelo real experimental. Por lo tanto, se deduce que el modelo de la Prótesis estaría calibrado y listo para ser usado para los análisis en otros climas. Es necesario mencionar que se realizaron más simulaciones que también cumplieran con este estándar, sin embargo, se considera que la presente simulación es la que presenta los valores más óptimos.

Tabla 11. Resultados de la calibración de la Prótesis según el estándar Ashrae Guideline 14

Prótesis	
Cantidad de registros	1512
MBE	-4,97%
RMSE	7,54
CV(RMSE)	35,58%

Es importante mencionar que a la Prótesis no se le realiza análisis de cumplimiento de temperaturas dentro del rango ni de confort adaptativo, pues es considerada como un artefacto no habitable.

4.4 Desempeño térmico en cuatro climas definidos.

Para la selección de los climas, se toma como base la NCH 1079/2008. El criterio es el declarado en el punto 3.2.1.

Para el análisis del desempeño de la estrategia en los climas declarados, se utilizará la misma metodología del experimento; se simulará la Celda S/P y luego se comparará con la Celda C/P, éste último se denominará “Configuración 0”.

Se realizará evaluación de porcentajes de lecturas horarias en el rango de confort establecido en el experimento (18°C y 26°C) y también de las lecturas fuera de ese rango. Para complementar, se realizará evaluación de confort adaptativo según Ashrae 55.

Para poder realizar un análisis más exacto, entendiendo que la estrategia bioclimática es dinámica y responde a distintos periodos del año de diferente manera, es que se determinarán periodos representativos de análisis según el clima y basados en los Grados día, obteniendo de esta manera una visión más real del comportamiento de la prótesis en el clima estudiado.

El modelo calibrado a utilizar es el declarado anteriormente. Como se muestra en la **Tabla 12**, los valores de U del modelo calibrado cumplen con lo requerido para cada clima estudiado, por lo que no se realizan modificaciones al modelo simulado. El valor de U de los vidrios se conserva como está declarado en el experimento por la razón de que el valor requerido por la normativa es irreal en cuanto a la realidad de las viviendas sociales existentes en el país, por lo que se conserva el valor declarado en el experimento, tomando como criterio, el que el análisis sea lo más realista posible.

Tabla 12. Valores de U para el modelo calibrado y según NCH 1079/2008

Clima	NCH 1079/2008				Modelo calibrado			
	Muros (W/m ² K)	Techo (W/m ² K)	Piso (W/m ² K)	Vidrios (W/m ² K)	Muros (W/m ² K)	Techo (W/m ² K)	Piso (W/m ² K)	Vidrios (W/m ² K)
ND	0,5	0,4	0,7	3	0,256	0,243	0,256	5,778
CI	0,6	0,5	0,8	3	0,256	0,243	0,256	5,778
SE	0,4	0,25	0,5	2,4	0,256	0,243	0,256	5,778
An	0,3	0,25	0,4	2,4	0,256	0,243	0,256	5,778

4.5 Clima Norte Desértico; Diego de Almagro. (latitud-26.3911, longitud -70.0458)



Ilustración 1. Diego de Almagro.

El clima de Diego de Almagro corresponde a un clima desértico templado con poca oscilación térmica día /noche, esto debido a sus 787 msnm. Por esta razón, la temperatura del aire exterior alcanza mínimas de 3,8°C en julio y máximas de 31,4°C en noviembre, promediando 18,33°C. Las precipitaciones son escasas, predominando los días soleados por sobre los nublados durante el año (ver **Gráfico 18** y **Gráfico 19**).

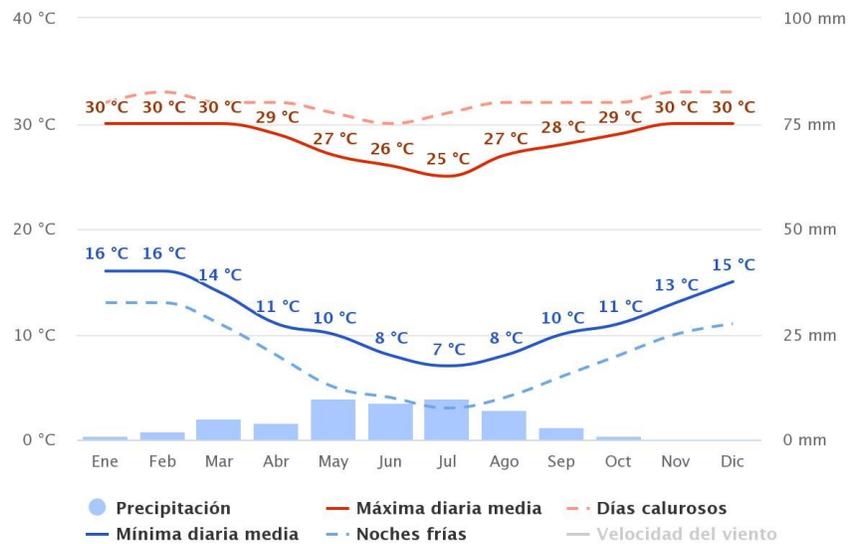


Gráfico 18. Temperatura exterior, Diego de Almagro. Meteoblue.

Capítulo IV – Resultados.

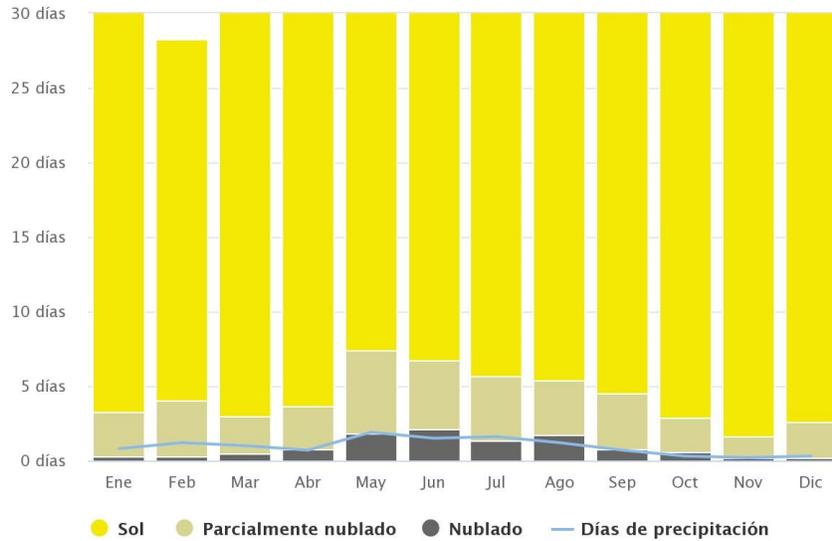


Gráfico 19. Asoleamiento, Diego de Almagro. Meteoblue.

Los vientos predominantes son del oriente, alcanzando velocidades máximas de 28km/h en los meses de invierno, lo que lo hace un clima caluroso durante todo el año y estable en cuanto a temperatura y humedad relativa (ver Gráfico 20).

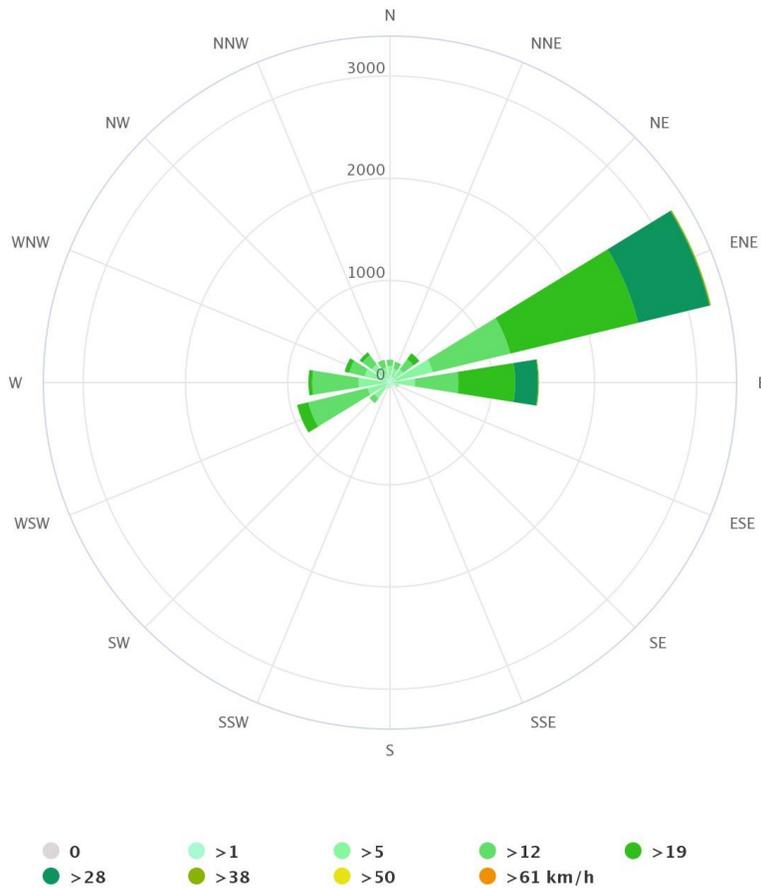


Gráfico 20. Rosa de los vientos, Diego de Almagro. Meteoblue.

4.5.1 Desempeño térmico anual

La estrategia bioclimática de la Prótesis aporta a aumentar la temperatura durante todos los meses del año en el clima de Diego de Almagro (ver **Gráfico 21**), sin embargo, el aporte de temperatura es alto, generando calentamiento excesivo en momentos puntuales del año. En el **Gráfico 22** se observa el comportamiento de un día promedio.

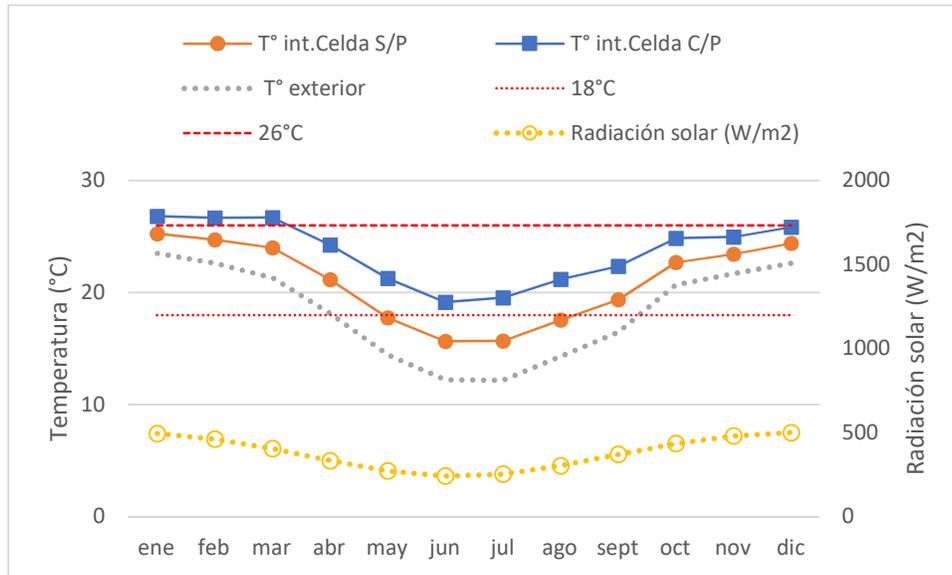


Gráfico 21. Desempeño promedio anual de la Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

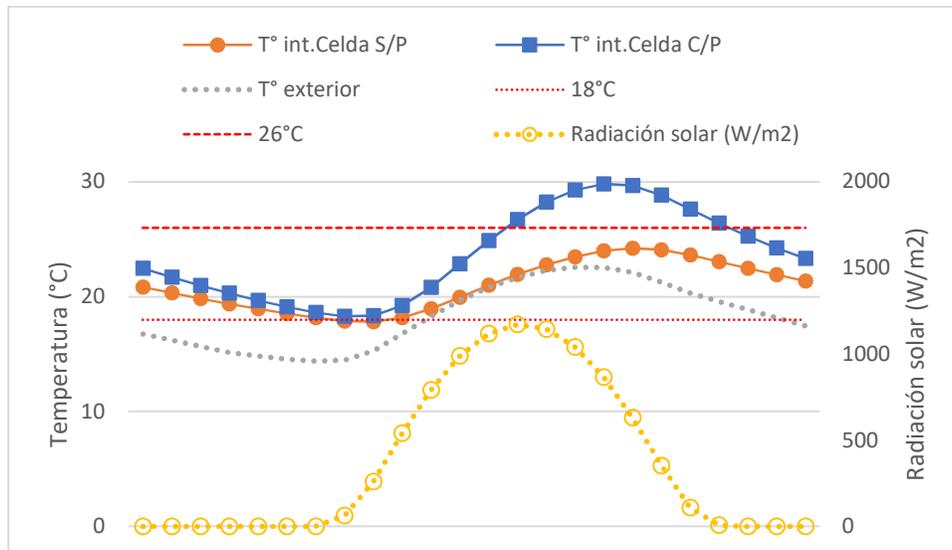


Gráfico 22. Desempeño día promedio anual Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio anual.

En la **Tabla 13** se observa que la prótesis disminuye el porcentaje de lecturas en el rango, disminuyendo las temperaturas bajo el límite de los 18°C y aumentando las temperaturas sobre el límite de los 26°C.

Tabla 13. Temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C. Promedio anual.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	27,24%	59,20%	13,55%
Celda C/P	17,46%	47,28%	35,25%

Confort adaptativo Ashrae 55. Promedio anual.

En la **Tabla 14** se observa un resultado similar al anterior, en que la prótesis disminuye el confort total, aumentando el calor.

Tabla 14. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55. Promedio anual.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Celda S/P	27,9%	4,7%	35,9%	8,6%	23,0%	49,1%
Celda C/P	18,0%	3,5%	28,5%	6,8%	43,2%	38,8%

4.5.2 Desempeño térmico mensual

Se realiza análisis promedio mensual, entendiendo que los promedios anuales pueden carecer de precisión. Se puede apreciar con mayor claridad que el aporte de la prótesis es permanente durante todos los meses (**Gráficos 23 al 34**) sin embargo, en marzo es cuando alcanza las temperaturas más altas. En invierno el aporte es significativo, aumentando las horas dentro del rango establecido como objetivo.

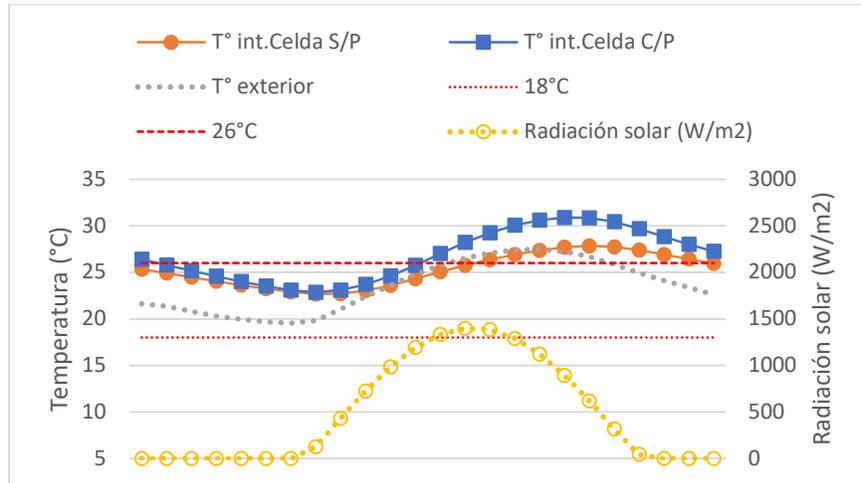


Gráfico 23. Desempeño promedio enero.

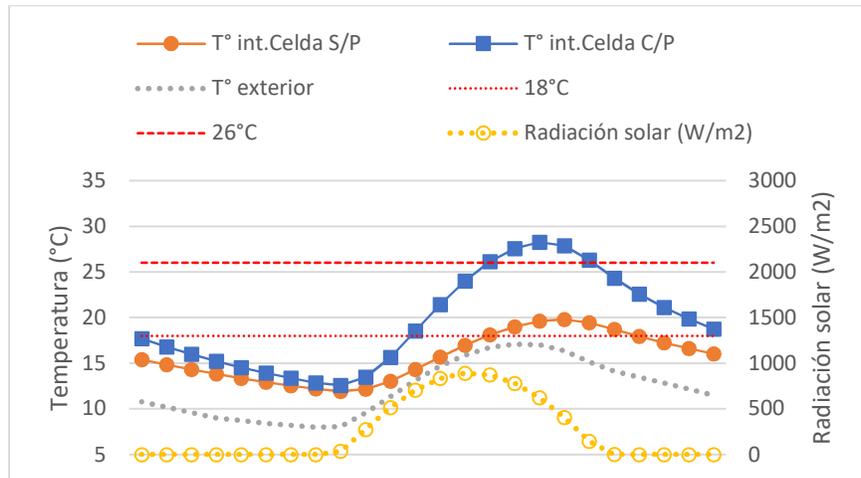


Gráfico 24. Desempeño promedio julio.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio mensual.

Como se observó en las gráficas, el comportamiento de la Celda es paralela a la temperatura exterior, sin mayores variaciones a pesar de los valores U mejorados en cuanto a muro, techumbre y piso ventilado (ver **Tabla 15**).

Tabla 15. Temperatura interior de la Celda sin prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

SP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	0%	0%	0%	4,16%	54,16%	79,16%	75,00%	58,33%	33,33%	0%	0%	0%
En el rango	62,50%	66,66%	75,00%	95,83%	45,83%	20,83%	25,00%	41,66%	66,66%	100%	95,83%	70,83%
Sobre el rango	37,50%	33,33%	25,00%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4,16%	29,16%

El comportamiento de la Prótesis tiende al sobrecalentamiento en los meses de verano, pero en los meses de invierno tiende a aumentar las horas dentro del rango y a disminuir las temperaturas bajo el límite de los 18°C, produciendo leves sobrecalentamientos (ver

Tabla 16).

Tabla 16. Temperatura interior de la Celda con prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

CP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	0%	0%	0%	0%	33,33%	45,83%	45,83%	37,50%	25,00%	0%	0%	0%
En el rango	45,83%	45,83%	50,00%	66,66%	45,83%	41,66%	33,33%	37,50%	45,83%	58,33%	62,50%	50,00%
Sobre el rango	54,16%	54,16%	50,00%	33,33%	20,83%	12,50%	20,83%	25,00%	29,16%	41,66%	37,50%	50,00%

4.5.3 Desempeño térmico en un periodo representativo.

Según el análisis del clima de diego de Almagro y observando el comportamiento mensual del punto anterior, se establece como referencia los límites de 18°C y 26°C para proponer 2 estrategias; demanda de calefacción en invierno y demanda de enfriamiento en verano. Se determina que los meses que requerirán calefacción son mayo, junio, julio y agosto. Los meses que requerirán enfriamiento son diciembre, enero y febrero (ver **Tabla 17**).

Tabla 17. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por mes.

Meses	T° media exterior (°C)	GD de Calefacción (18°C base)	GD de Enfriamiento (26°C base)
ene	23,51	-5,51	2,48
feb	22,63	-4,63	3,36
mar	21,33	-3,33	4,66
abr	18,14	-0,14	7,85
may	14,45	3,54	11,54
jun	12,24	5,75	13,75
jul	12,17	5,82	13,82
ago	14,31	3,68	11,68
sept	16,47	1,52	9,52
oct	20,69	-2,69	5,30
nov	21,71	-3,71	4,28
dic	22,64	-4,64	3,35

Luego de determinar los meses, se realiza un análisis semanal, para determinar un periodo de análisis de 2 semanas para cada estrategia. En el caso de la demanda de calefacción en invierno, se determina que las semanas de análisis serán la 22 y 23, comprendidas entre el 27 de mayo a las 00:00 hrs y el 09 de junio a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para la demanda de enfriamiento en verano se determinan las semanas 4 y 5 comprendidas entre el 21 de enero a las 00:00 hrs y el 03 de febrero a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para las gráficas, se considerará como “Configuración 0” a la Celda C/P calibrados en su estado inicial (ver **Tabla 18**).

Capítulo IV – Resultados.

Tabla 18. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por semana.

Mes / Semana	T° media exterior	GD de Calefacción	Mes / Semana	T° media exterior	GD de Enfriamiento
may	(°C)	(18°C base)	ene	(°C)	(26°C base)
18	16,93	1,07	1	24,79	1,21
19	13,48	4,52	2	22,19	3,81
20	12,70	5,30	3	22,74	3,26
21	15,71	2,29	4	24,07	1,93
22	14,03	3,97	5	24,28	1,72
jun			feb		
22	11,22	6,78	5	24,39	1,61
23	10,10	7,90	6	21,48	4,52
24	12,00	6,00	7	21,42	4,58
25	14,27	3,73	8	23,77	2,23
26	12,89	5,11	9	23,47	2,53
jul			dic		
27	9,83	8,17	1	23,23	2,78
28	12,24	5,76	48	22,81	3,19
29	12,19	5,81	49	22,78	3,22
30	13,58	4,42	50	22,67	3,33
31	14,18	3,82	51	24,26	1,74
ago			52	20,69	5,31
31	11,67	6,33			
32	12,45	5,55			
33	14,94	3,06			
34	15,50	2,50			
35	16,11	1,89			

En los **Gráficos 35 y 36** se observa el comportamiento de la Temperatura interior de la Celda S/P, Temperatura interior de la Celda C/P (Config 0) y la Temperatura interior de la Prótesis para las demandas de calefacción y enfriamiento respectivamente, observándose que la mayor temperatura se produce al interior de la Prótesis. Luego, la temperatura de la Config.0 es mayor que la Celda S/P, por lo que se entiende que la estrategia aporta temperatura en el periodo definido para cada demanda.

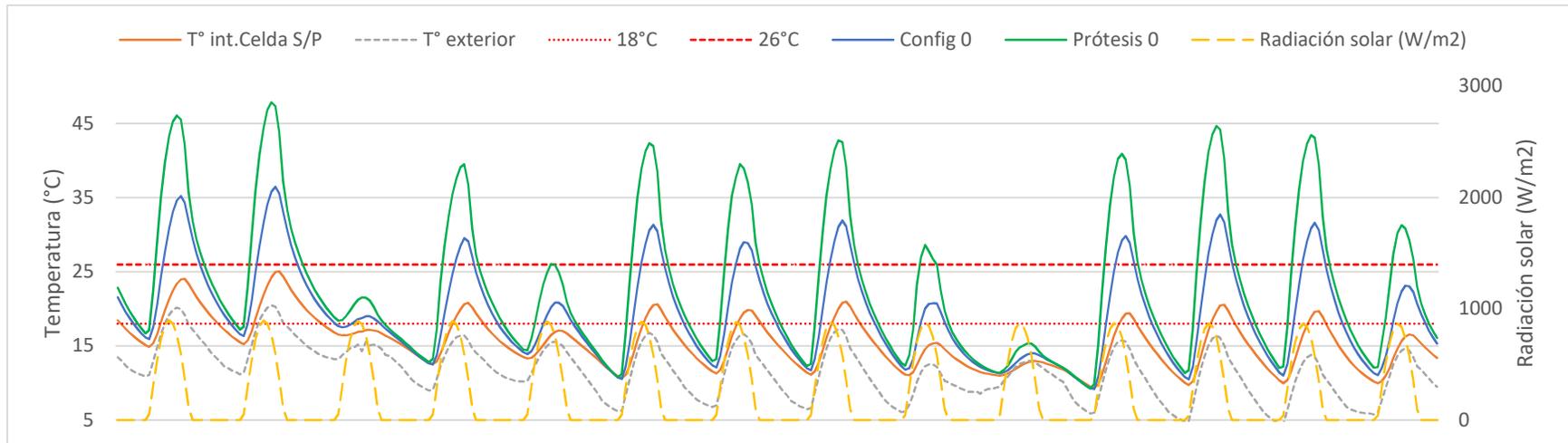


Gráfico 25. Demanda de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

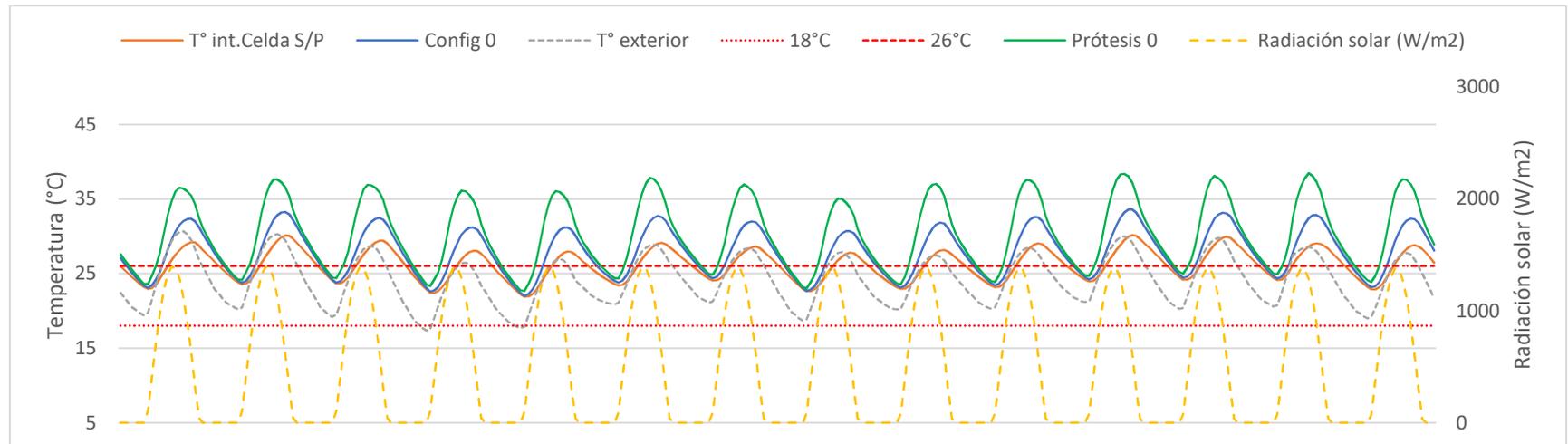


Gráfico 26. Demanda de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 enero al 03 de febrero.

Demanda de calefacción.

En el **Gráfico 35** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en aumentar las lecturas dentro del rango, disminuyendo las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentando las lecturas sobre el límite de los 26°C. Según estos resultados, la estrategia funcionaría bien para los meses de invierno (ver **Tabla 19**).

Tabla 19. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	77,97%	22,02%	0%
Config. 0	49,70%	32,44%	17,85%

Demanda de enfriamiento.

En el **Gráfico 36** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en disminuir las lecturas dentro del rango, aumentando las lecturas sobre el límite de los 26°C, no generando lecturas bajo el límite de los 18°C. Esto se traduce en sobrecalentamiento para los meses de verano. Este punto puede ser mejorado (ver **Tabla 20**).

Tabla 20. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 de enero al 03 de febrero.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	0%	47,61%	52,38%
Config. 0	0%	34,22%	65,77%

4.5.4 Consumo energético anual, Diego de Almagro.

Como se observa en la **Tabla 30** y en el **Gráfico 27**, el consumo de enfriamiento aumenta en 1030 Kw. para la Config.0 respecto a la Celda S/P. El consumo de calefacción disminuye en 14 Kw. Esto confirma la hipótesis de que la Prótesis genera sobrecalentamiento, especialmente en los meses de verano.

Tabla 21. Consumo de enfriamiento y Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0. Diego de Almagro.

Configuración	Celda S/P	Config. 0
Consumo Enfriamiento (Kw)	163,9	1196,7
Consumo Calefacción (Kw)	419,2	405,9

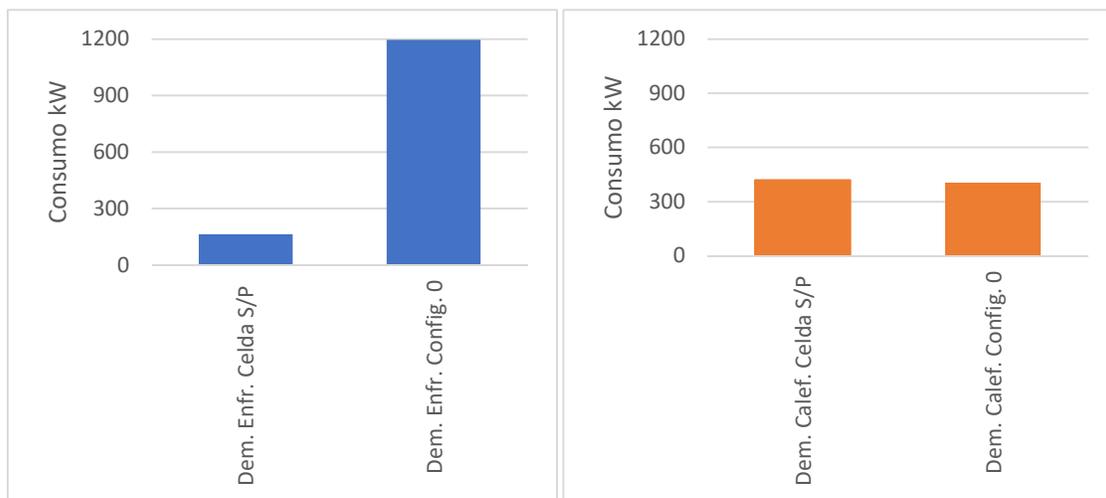


Gráfico 27. Consumo de enfriamiento (Izq.) y Consumo de calefacción (Der.) para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0 comparadas. Diego de Almagro.

4.6 Clima Central Interior; Pudahuel. (latitud -33.4417, longitud -70.7667)



Ilustración 2. Pudahuel.

El clima de Pudahuel es un clima templado con poca oscilación térmica día /noche, pero con las estaciones muy bien marcadas y definidas. La temperatura del aire exterior alcanza mínimas de -2,2°C en junio y máximas de 32,5°C en enero, promediando 22,36°C. Precipita todo el año, pero de preferencia en invierno, los días nublados alcanzan el 40% del año (ver **Gráfico 28** y **Gráfico 29**).

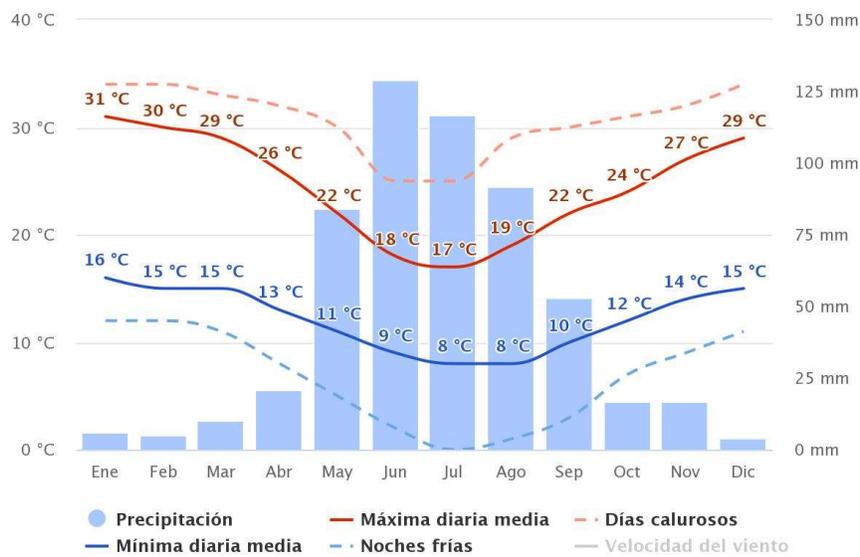


Gráfico 28. Temperatura exterior, Pudahuel. Meteoblue

Capítulo IV – Resultados.

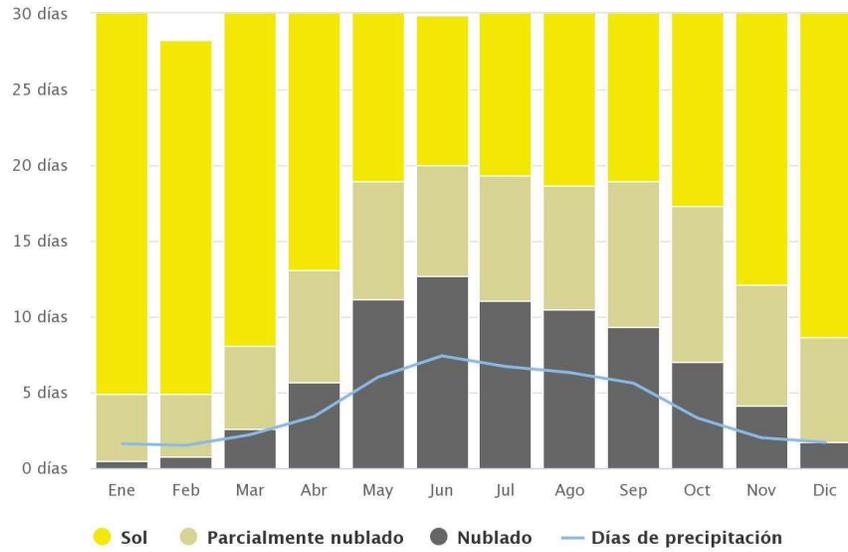


Gráfico 29. Asoleamiento, Pudahuel. Meteoblue

Los vientos predominantes son del nororiente, alcanzando velocidades máximas de 28km/h en los meses de invierno, lo que lo hace un clima caluroso durante todo el año (ver Gráfico 30).

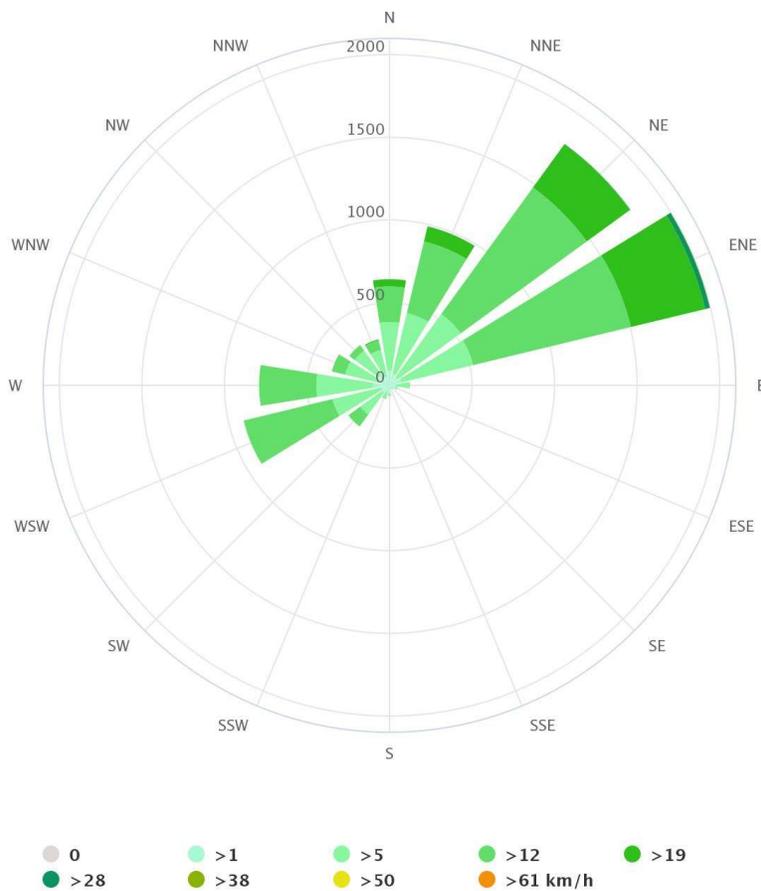


Gráfico 30. Rosa de los vientos, Pudahuel. Meteoblue

4.6.1 Desempeño térmico anual

Como se observa en las gráficas, la estrategia bioclimática de la prótesis aumenta la temperatura durante todos los meses del año en el clima de Pudahuel (ver **Gráfico 31**), sin embargo, pareciera que el aporte es moderado, generando mejoras en el confort durante todo el año. En el **Gráfico 32** se observa el comportamiento de un día promedio.

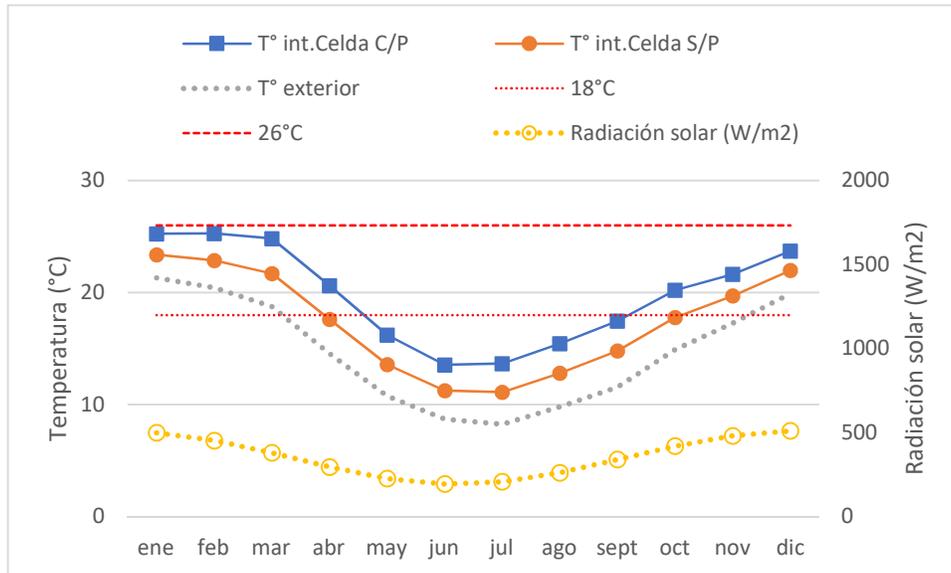


Gráfico 31. Desempeño promedio anual de la Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

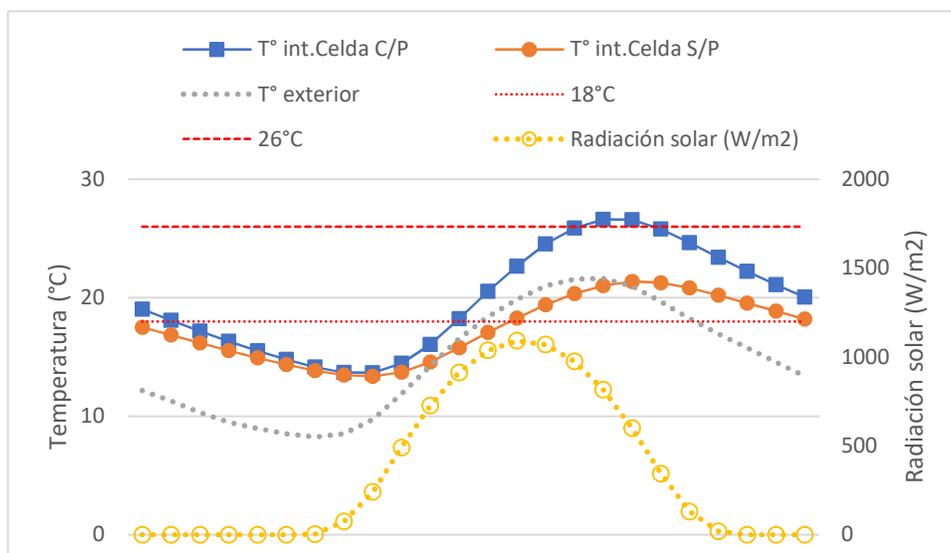


Gráfico 32. Desempeño día promedio anual Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio anual.

En la **Tabla 22** se observa que la prótesis disminuye el porcentaje de lecturas en el rango, disminuyendo las temperaturas bajo el límite de los 18°C y aumentando las temperaturas sobre el límite de los 26°C, produciendo una especie de equilibrio.

Tabla 22. Temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C. Promedio anual.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	52,45%	41,54%	6,00%
Celda C/P	41,22%	37,05%	21,72%

Confort adaptativo Ashrae 55. Promedio anual.

En la **Tabla 23** se observa un resultado similar al anterior, en que la prótesis disminuye el confort total, aumentando el calor, pero disminuyendo también el frío.

Tabla 23. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55. Promedio anual.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Celda S/P	49,9%	5,8%	27,9%	4,5%	11,9%	38,2%
Celda C/P	40,5%	4,9%	23,7%	4,2%	26,7%	32,8%

4.6.2 Desempeño térmico mensual

Se realiza análisis promedio mensual, entendiendo que los promedios anuales pueden carecer de precisión. Se puede apreciar con mayor claridad que el aporte de la prótesis es permanente durante todos los meses (**Gráficos 43 al 54**), sin embargo, en verano es cuando alcanza las temperaturas más altas. En invierno el aporte es significativo, aumentando las horas dentro del rango establecido como objetivo.

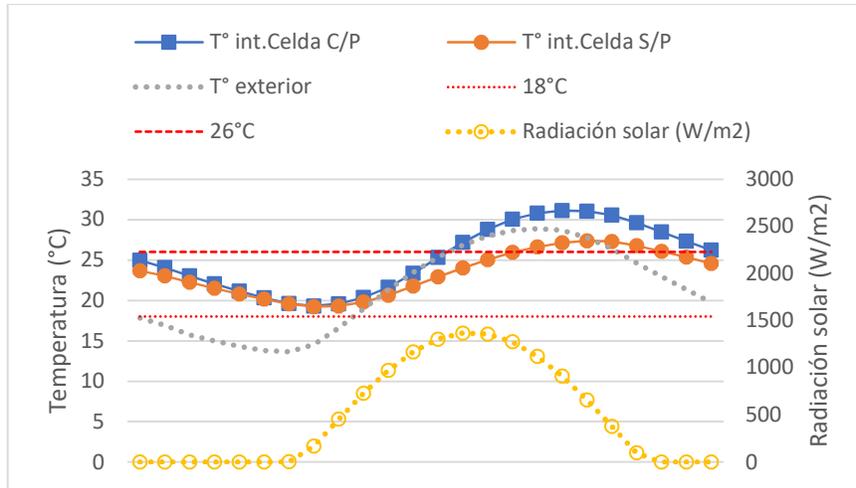


Gráfico 33. Desempeño promedio enero.

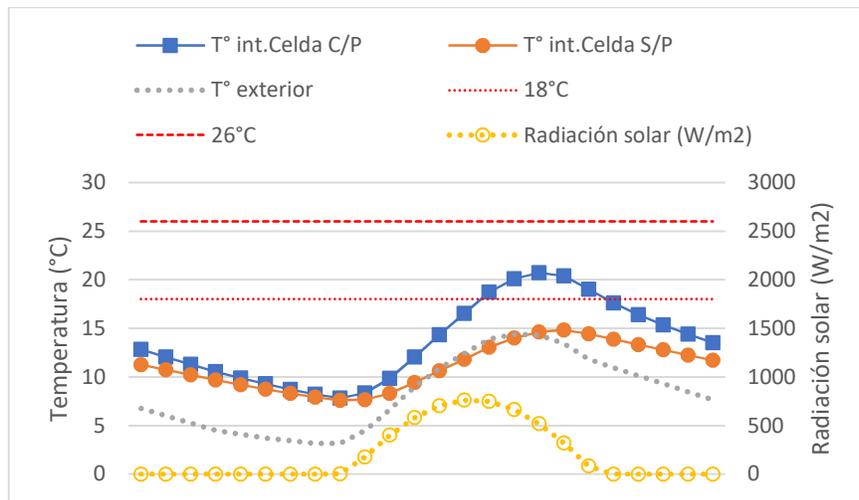


Gráfico 34. Desempeño promedio julio.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio mensual.

Como se observó en las gráficas, el comportamiento de la celda es paralela a la temperatura exterior, sin mayores variaciones a pesar de los valores U mejorados en cuanto a muro, techumbre y piso ventilado (ver **Tabla 24**).

Tabla 24. Temperatura interior de la Celda sin prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

SP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	0%	0%	16,66%	54,16%	100%	100%	100%	100%	79,16%	54,16%	33,33%	4,16%
En el rango	75,00%	79,16%	70,83%	45,83%	0%	0%	0%	0%	20,83%	45,83%	66,66%	95,83%
Sobre el rango	25,00%	20,83%	12,50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

El comportamiento de la prótesis tiende al sobrecalentamiento en los meses de verano, pero en los meses de invierno tiende a aumentar las horas dentro del rango y a disminuir las temperaturas bajo el límite de los 18°C, produciendo leves sobrecalentamientos (ver **Tabla 25**).

Tabla 25. Temperatura interior de la Celda con prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

CP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	0%	0%	8,33%	37,50%	66,66%	79,16%	79,16%	70,83%	54,16%	37,50%	25,00%	0%
En el rango	54,17%	54,17%	50,00%	41,67%	33,33%	20,83%	20,83%	29,17%	45,83%	45,83%	50,00%	66,67%
Sobre el rango	45,83%	45,83%	41,67%	20,83%	0%	0%	0%	0%	0%	16,67%	25,00%	33,33%

4.6.3 Desempeño térmico en un periodo representativo.

Según el análisis del clima de Pudahuel y observando el comportamiento mensual del punto anterior, se establece como referencia los límites de 18°C y 26°C para proponer 2 estrategias; demanda de calefacción en invierno y demanda de enfriamiento en verano. Se determina que los meses que requerirán calefacción son mayo, junio, julio y agosto. Los meses que requerirán enfriamiento son diciembre, enero y febrero (ver **Tabla 26**).

Tabla 26. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por mes.

Meses	T° media exterior (°C)	GD de Calefacción (18°C base)	GD de Enfriamiento (26°C base)
ene	21,33	-3,33	4,67
feb	20,44	-2,44	5,56
mar	18,77	-0,77	7,23
abr	14,58	3,42	11,42
may	10,79	7,21	15,21
jun	8,72	9,28	17,28
jul	8,26	9,74	17,74
ago	9,83	8,17	16,17
sept	11,57	6,43	14,43
oct	14,94	3,06	11,06
nov	17,28	0,72	8,72
dic	19,93	-1,93	6,07

Luego de determinar los meses, se realiza un análisis semanal, para determinar un periodo de análisis de 2 semanas para cada estrategia. En el caso de calefacción, y al igual que el caso de Diego de Almagro, se determina que las semanas de análisis serán la 22 y 23, comprendidas entre el 27 de mayo a las 00:00 hrs y el 09 de junio a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para el enfriamiento se determinan las semanas 4 y 5 comprendidas entre el 21 de enero a las 00:00 hrs y el 03 de febrero a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para las gráficas, se considerará como configuración 0 a la Celda + prótesis calibrados en su estado inicial (ver **Tabla 27**).

Capítulo IV – Resultados.

Tabla 27. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por semana.

Mes / Semana	T° media exterior	GD de Calefacción	Mes / Semana	T° media exterior	GD de Enfriamiento
may	(°C)	(18°C base)	ene	(°C)	(26°C base)
18	13,25	4,76	1	22,05	3,95
19	9,57	8,43	2	19,90	6,10
20	8,98	9,02	3	20,55	5,45
21	12,10	5,90	4	22,19	3,81
22	10,76	7,24	5		3,41
jun			feb		
22	7,59	10,41	5	22,48	3,52
23	5,89	12,11	6	19,54	6,46
24	8,41	9,59	7	19,34	6,66
25	11,08	6,92	8	21,27	4,73
26	9,84	8,16	9	20,97	5,03
jul			dic		
27	6,28	11,72	1	21,36	4,64
28	8,47	9,53	48	19,08	6,93
29	8,39	9,61	49	19,54	6,46
30	9,09	8,91	50	19,82	6,18
31	10,11	7,89	51	21,93	4,07
ago			52	8,20	17,80
31	7,21	10,79		18,16	7,84
32	7,65	10,35			
33	10,49	7,51			
34	11,05	6,95			
35	11,93	6,07			

En los **Gráficos 55 y 56** se observa el comportamiento de la Temperatura interior de la Celda S/P, Temperatura interior de la Celda C/P (Config 0) y la Temperatura interior de la Prótesis para las demandas de calefacción y enfriamiento respectivamente, observándose que la mayor temperatura se produce al interior de la Prótesis. Luego, la temperatura de la Config.0 es mayor que la Celda S/P, por lo que se entiende que la estrategia aporta temperatura en el periodo definido para cada demanda.

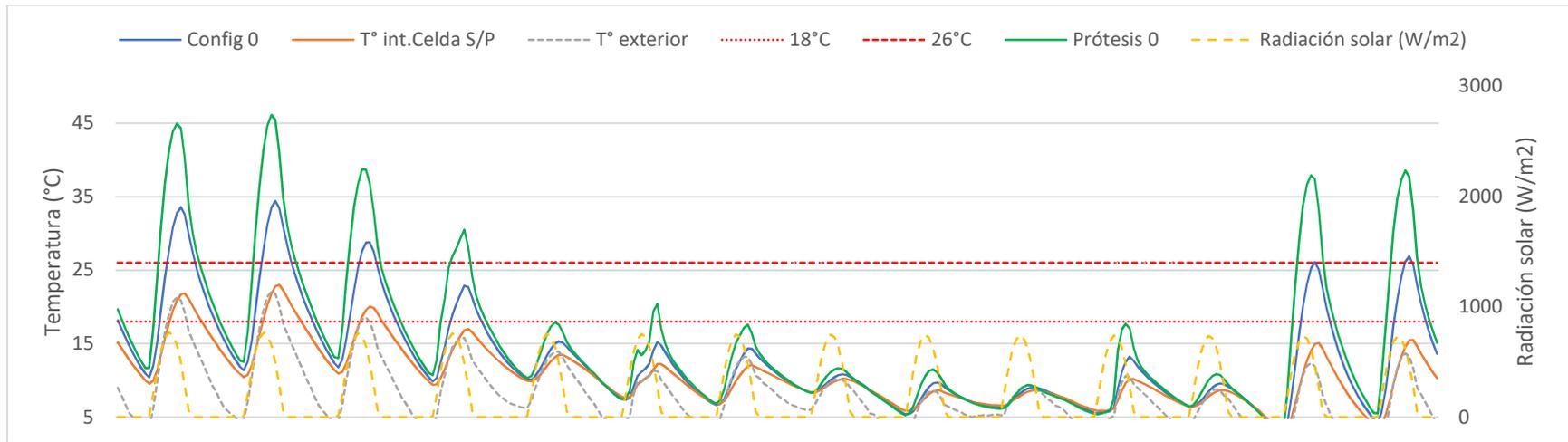


Gráfico 35. Demanda de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

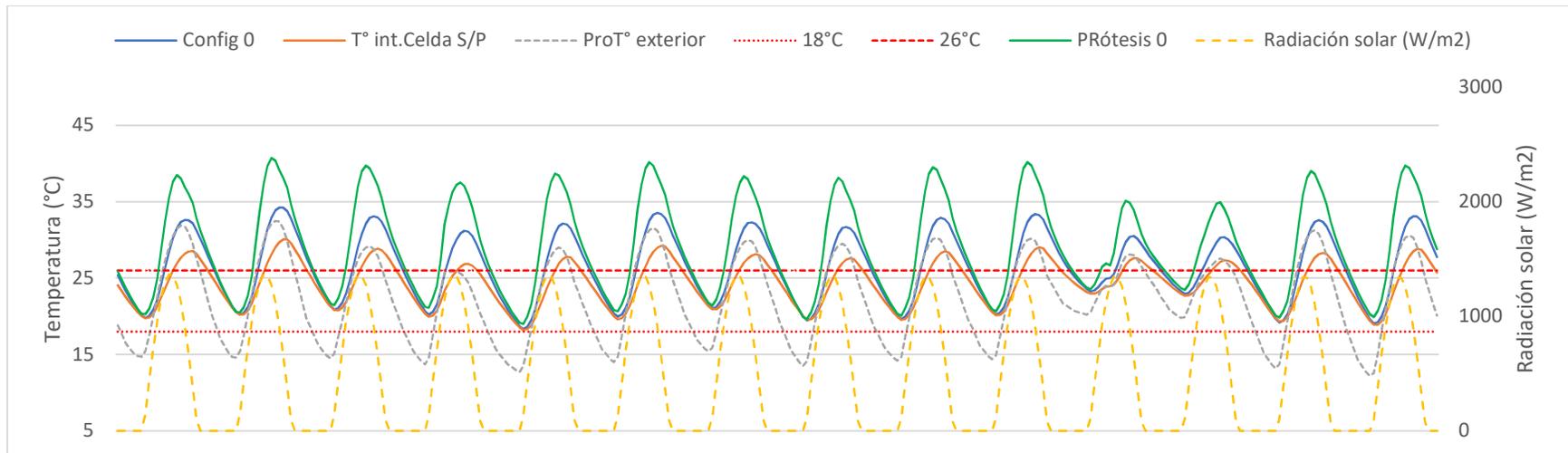


Gráfico 36. Demanda de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 enero al 03 de febrero.

Demanda de calefacción.

En el **Gráfico 35** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en aumentar las lecturas dentro del rango, disminuyendo las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentando levemente las lecturas sobre el límite de los 26°C. Según estos resultados, la estrategia funcionaría bien para los meses de invierno, pero se debe hacer énfasis en disminuir las lecturas bajo el límite de los 18°C, aumentando las lecturas dentro del rango (ver **Tabla 28**).

Tabla 28. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	92,85%	7,14%	0%
Config. 0	80,65%	12,79%	6,54%

Demanda de enfriamiento.

En el **Gráfico 36** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en disminuir las lecturas dentro del rango, aumentando las lecturas sobre el límite de los 26°C, no generando lecturas bajo el límite de los 18°C. Esto se traduce en sobrecalentamiento para los meses de verano. En este punto se debe mejorar (ver **Tabla 29**).

Tabla 29. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 de enero al 03 de febrero.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	0%	65,77%	34,22%
Config. 0	0%	49,40%	50,59%

4.6.4 Consumo energético anual, Pudahuel.

Como se observa en la **Tabla 31** y en el **Gráfico 37**, el Consumo de enfriamiento aumenta en 690 Kw. para la Config.0 respecto a la Celda S/P. El Consumo de calefacción aumenta en 85 Kw. Esto confirma la hipótesis de que la Prótesis genera sobrecalentamiento, especialmente en los meses de verano.

Tabla 30. Consumo de enfriamiento y Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0. Pudahuel.

Configuración	Celda S/P	Config. 0
Consumo Enfriamiento (Kw)	60,6	750,8
Consumo Calefacción (Kw)	1282,5	1377,1

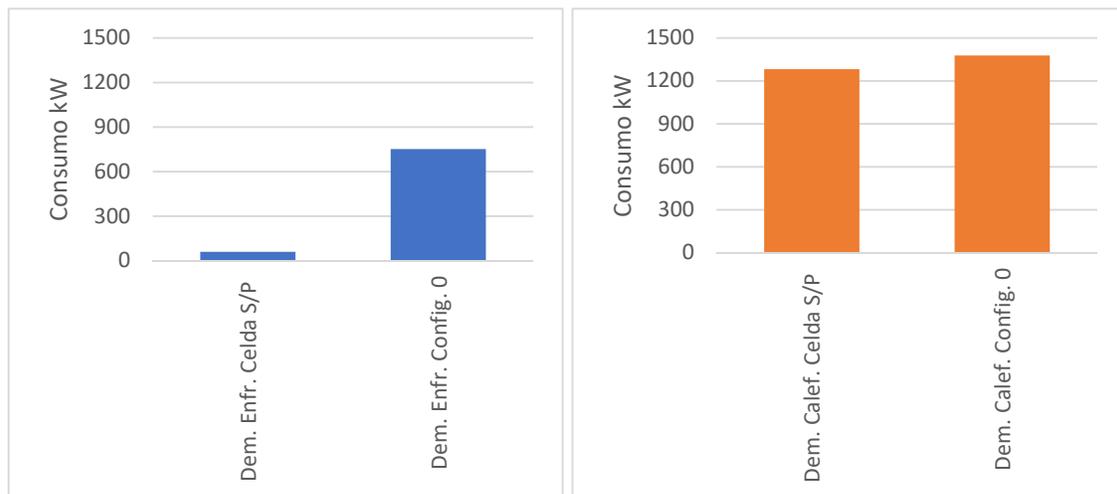


Gráfico 37. Consumo de enfriamiento (Izq.) y Consumo de calefacción (Der.) para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0 comparadas. Pudahuel.

4.7 Clima Sur Extremo; Punta Arenas. (latitud -53.1667, longitud -70.9333)



Ilustración 3. Punta Arenas.

El clima de Punta Arenas corresponde a un clima sub polar oceánico (Köppen) extremadamente frío con poca oscilación térmica día /noche, tendiendo al frio extremo. La temperatura del aire exterior alcanza mínimas de -5,8°C en junio y máximas de 20,8°C en febrero, promediando 6,34°C. Precipita todo el año y la nubosidad alcanzan el 90% del año (ver **Gráfico 38** y **Gráfico 39**).

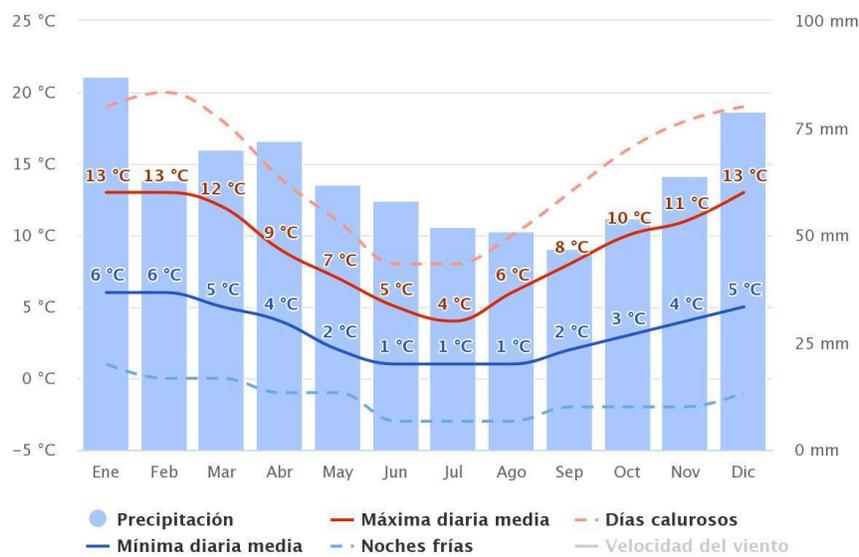


Gráfico 38. Temperatura exterior, Punta Arenas. Meteoblue

Capítulo IV – Resultados.

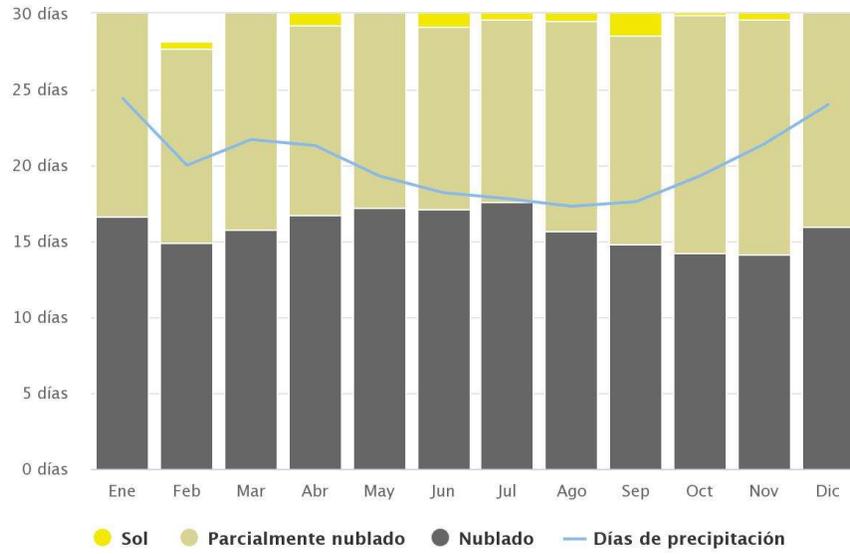


Gráfico 39. Asoleamiento, Punta Arenas. Meteoblue

Los vientos predominantes son del norponiente, alcanzando velocidades superiores a los 61km/h durante todo el año (ver Gráfico 40).

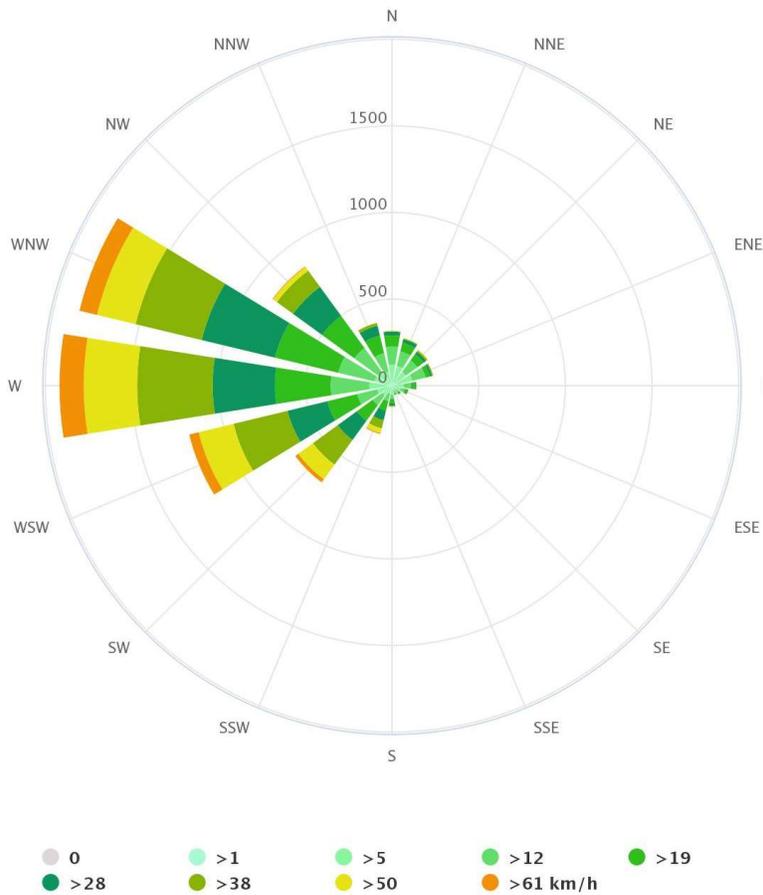


Gráfico 40. Rosa de los vientos, Punta Arenas. Meteoblue

4.7.1 Desempeño térmico anual

La estrategia bioclimática de la Prótesis aporta aumentando la temperatura durante todos los meses del año en el clima de Punta Arenas (ver **Gráfico 41**), sin embargo, pareciera que el aporte en invierno es menor, generando mayores aportes especialmente en verano. Con todo, no alcanzaría el límite de los 18°C en todo el año. En el **Gráfico 42** se observa el comportamiento de un día promedio.

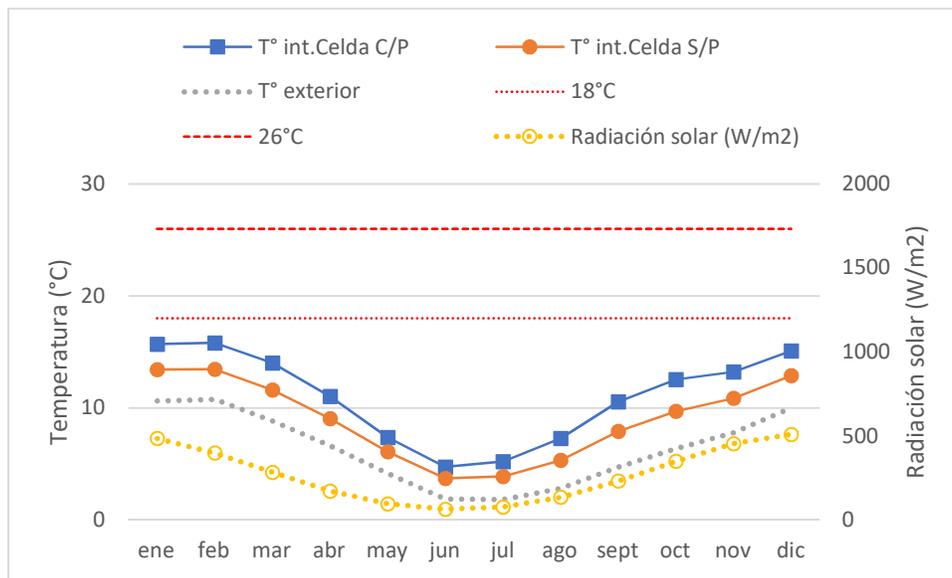


Gráfico 41. Desempeño promedio anual de la Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

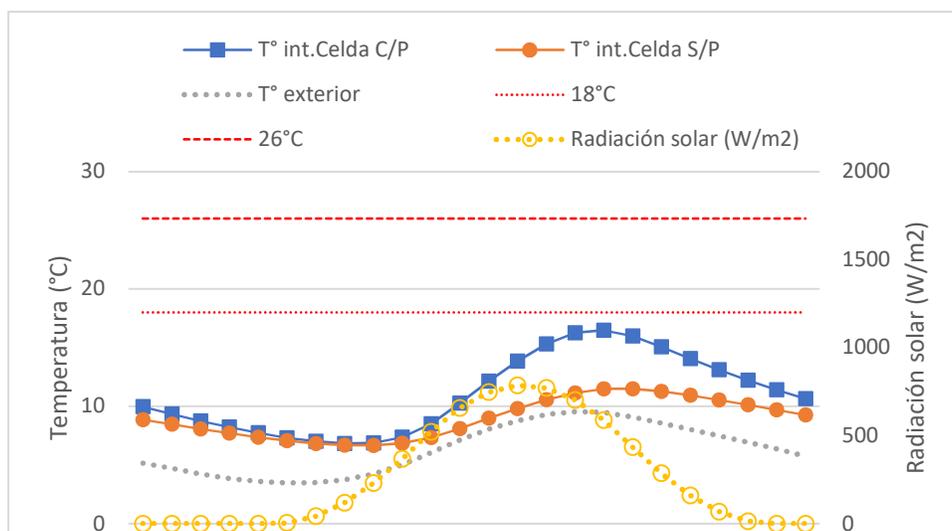


Gráfico 42. Desempeño día promedio anual Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio anual.

En la **Tabla 31** se observa que la prótesis aumenta el porcentaje de lecturas en el rango, disminuyendo levemente las temperaturas bajo el límite de los 18°C y aumentando levemente también, las temperaturas sobre el límite de los 26°C.

Tabla 31. Temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C. Promedio anual.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	98,91%	1,08%	0,00%
Celda C/P	85,63%	13,34%	1,01%

Confort adaptativo Ashrae 55. Promedio anual.

En la **Tabla 32** se observa un resultado similar al anterior, en que la prótesis aumenta el confort total, no obstante, el resultado sigue siendo predominantemente frío.

Tabla 32. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55. Promedio anual.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Celda S/P	98,1%	1,2%	0,8%	0,0%	0,0%	1,9%
Celda C/P	83,7%	3,0%	1,0%	0,9%	2,2%	14,1%

4.7.2 Desempeño térmico mensual

Se realiza análisis promedio mensual, entendiendo que los promedios anuales pueden carecer de precisión. Se puede apreciar con mayor claridad que el aporte de la prótesis es permanente durante todos los meses (**Gráficos 63 al 74**), sin embargo, en verano es cuando alcanza las temperaturas más altas. En invierno el aporte es significativo, aumentando las horas dentro del rango establecido como objetivo.

Capítulo IV – Resultados.

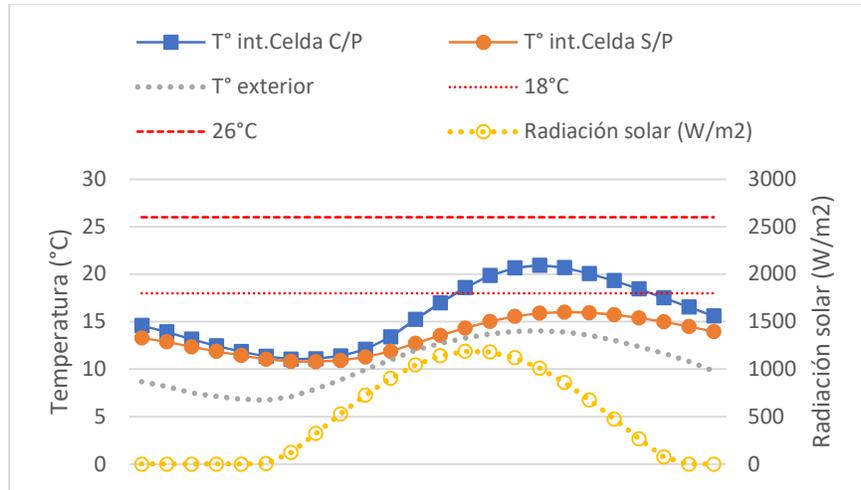


Gráfico 43. Desempeño promedio enero.

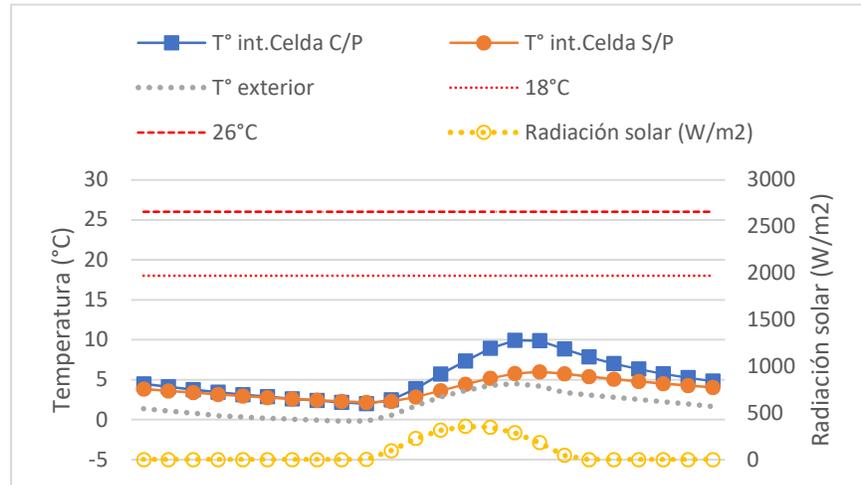


Gráfico 44. Desempeño promedio julio.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio mensual.

Como se observó en las gráficas, el comportamiento de la celda es paralela a la temperatura exterior, sin mayores variaciones a pesar de los valores U mejorados en cuanto a muro, techumbre y piso ventilado, no habiendo ninguna lectura dentro del rango de confort establecido, es más, el 100% de las lecturas se encuentran por debajo del límite de los 18°C (ver **Tabla 33**).

Tabla 33. Temperatura interior de la Celda sin prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

SP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
En el rango	0%											
Sobre el rango	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

El comportamiento de la prótesis tiende subir la temperatura especialmente en los meses de primavera - verano, pero en los meses de otoño - invierno no se visualiza mayor aporte (ver **Tabla 34**).

Tabla 34. Temperatura interior de la Celda con prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

CP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	66,66%	66,66%	79,16%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83,33%	87,50%	75,00%
En el rango	33,33%	33,33%	20,83%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16,67%	12,50%	25,00%
Sobre el rango	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

4.7.3 Desempeño térmico en un periodo representativo.

Según el análisis del clima de Punta Arenas y observando el comportamiento mensual del punto anterior, se establece como referencia los límites de 18°C y 26°C para proponer 2 estrategias; demanda de calefacción en invierno y otoño y demanda de enfriamiento en verano. Se determina que los meses que requerirán calefacción son mayo, junio, julio y agosto. Los meses que requerirán enfriamiento son diciembre, enero y febrero (ver **Tabla 35**).

Tabla 35. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por mes.

Meses	T° media exterior (°C)	GD de Calefacción (18°C base)	GD de Enfriamiento (26°C base)
ene	10,63	7,37	15,37
feb	10,78	7,22	15,22
mar	8,84	9,16	17,16
abr	6,63	11,37	19,37
may	4,15	13,85	21,85
jun	1,88	16,12	24,12
jul	1,82	16,18	24,18
ago	2,82	15,18	23,18
sept	4,73	13,27	21,27
oct	6,38	11,62	19,62
nov	7,79	10,21	18,21
dic	10,01	7,99	15,99

Luego de determinar los meses, se realiza un análisis semanal, para determinar un periodo de análisis de 2 semanas para cada estrategia. En el caso de la demanda de calefacción, se determina que las semanas de análisis serán la 22 y 23, comprendidas entre el 27 de mayo a las 00:00 hrs y el 09 de junio a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Estos resultados no permiten realizar análisis debido a que la estrategia no genera ninguna lectura dentro del rango de confort establecido, por lo que se eligen las semanas 12 y 13 correspondientes a un periodo otoñal entre el 24 de marzo a las 00:00 hrs y el 06 de abril a las 23:00 hrs. Para la demanda de enfriamiento (entendiendo que en este clima no se necesitaría enfriar, más bien es otro periodo de análisis en verano) se determinan las semanas 4 y 5 comprendidas entre el 21 de enero a las 00:00 hrs y el 03

Capítulo IV – Resultados.

de febrero a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para las gráficas, se considerará como configuración 0 a la Celda + prótesis calibrados en su estado inicial (ver **Tabla 36**).

Tabla 36. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por semana.

Mes / Semana	T° media exterior	GD de Calefacción (18°C base)	Mes / Semana	T° media exterior	GD de Enfriamiento (26°C base)
jun	(°C)		ene	(°C)	
22	0,37	17,63	1	11,70	14,30
23	-1,27	19,27	2	9,30	16,70
24	1,72	16,28	3	9,83	16,17
25	4,43	13,58	4	11,53	14,47
26	3,09	14,91	5	11,20	14,80
jul			feb		
27	0,72	17,28	5	12,47	13,53
28	1,87	16,13	6	9,06	16,94
29	1,23	16,77	7	9,21	16,79
30	2,74	15,26	8	12,49	13,51
31	3,54	14,46	9	12,31	13,69
ago			dic		
31	0,55	17,45	1	11,05	14,95
32	1,32	16,68	48	8,83	17,17
33	3,28	14,72	49	9,77	16,23
34	3,79	14,21	50	9,90	16,10
35	4,43	13,57	51	12,03	13,97
mar			52	8,20	17,80
9	10,58	7,41			
10	6,17	11,83			
11	9,22	8,77			
12	9,95	8,04			
13	9,27	8,73			

En los **Gráficos 75, 76 y 77** se observa el comportamiento de la Temperatura interior de la Celda S/P, Temperatura interior de la Celda C/P (Config 0) y la Temperatura interior de la Prótesis para las demandas de calefacción y demanda de enfriamiento respectivamente, observándose que la mayor temperatura se produce al interior de la Prótesis. Luego, la temperatura de la Config.0 es mayor que la Celda S/P, por lo que se entiende que la estrategia aporta temperatura en el periodo definido para cada demanda.

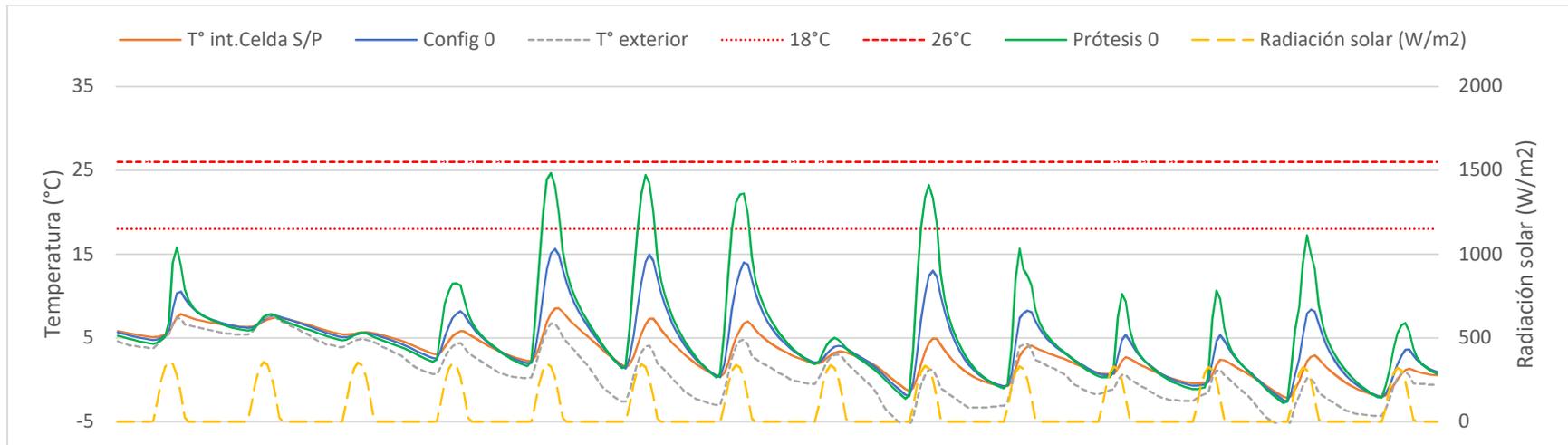


Gráfico 45. Demanda de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

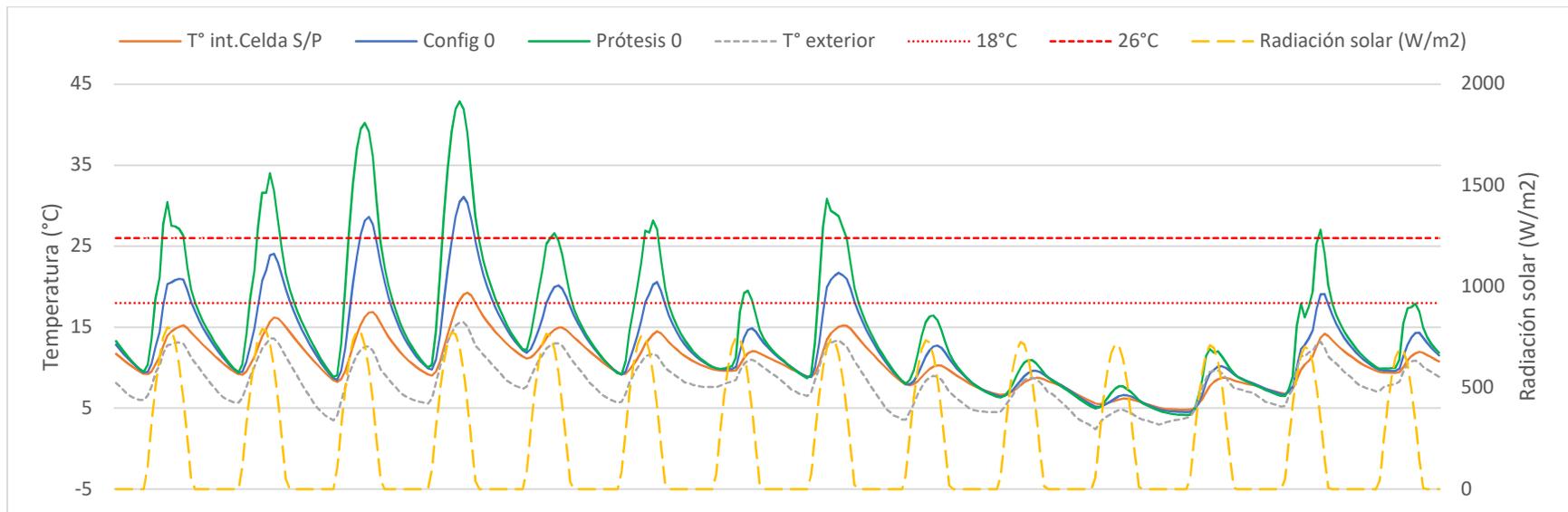


Gráfico 46. Demanda de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 12 y 13, desde el 24 de marzo al 06 de abril.

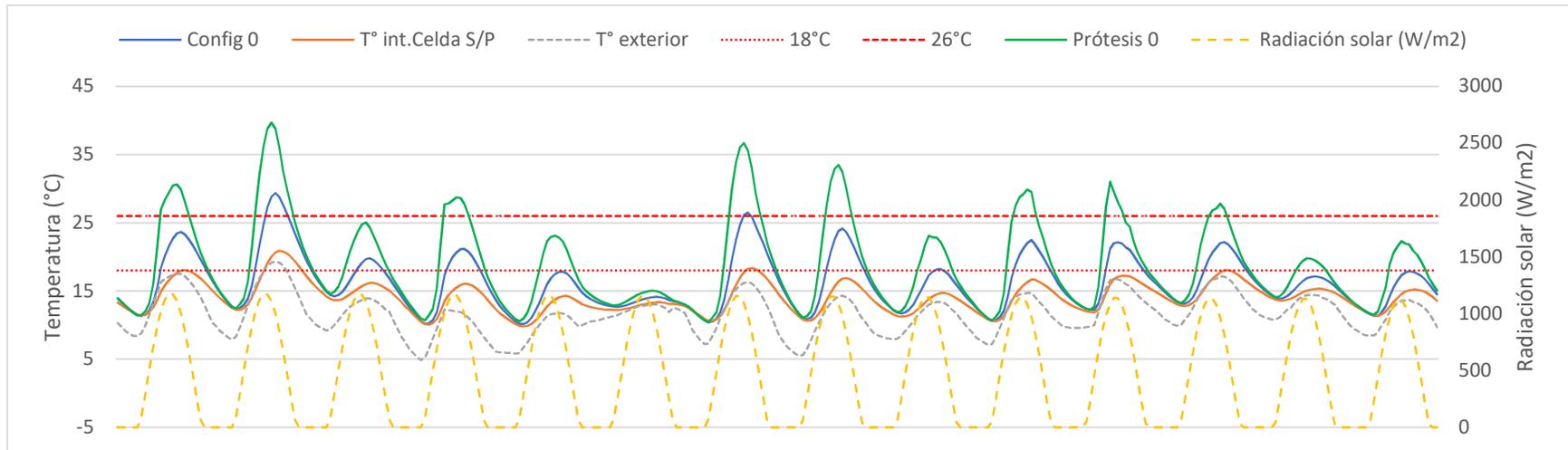


Gráfico 47. Demanda de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 enero al 03 de febrero.

Demanda de calefacción.

En los **Gráficos 75 y 76** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) no genera ningún aumento suficiente en la temperatura para que Celda pueda superar el límite de los 18°C. No obstante, la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que no es suficiente. Es por esto que se elige otro periodo para poder evaluar, encontrando en periodos primaverales u otoñales, la prótesis permite el aumento de temperatura al interior de la Celda traspasando el límite de los 18°C.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en aumentar las lecturas dentro del rango, disminuyendo levemente las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentando levemente las lecturas sobre el límite de los 26°C. Según estos resultados, la estrategia funcionaría bien para los meses de invierno con mejoras (ver **Tabla 37** y **Tabla 38**).

Tabla 37. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	100%	0%	0%
Config. 0	100%	0%	0%

Tabla 38. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 12 y 13, desde el 24 de marzo al 06 de abril.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	98,51%	1,48%	0%
Config. 0	83,03%	14,28%	2,67%

Demanda de enfriamiento

En el **Gráfico 47** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en aumentar las lecturas dentro del rango, aumentando levemente las lecturas sobre el límite de los 26°C, disminuyendo las lecturas bajo el límite de los 18°C. Esto se traduce en un buen comportamiento durante los meses de verano (ver **Tabla 39**).

Tabla 39. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 de enero al 03 de febrero.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	95,53%	4,46%	0%
Config. 0	71,42%	26,19%	2,38%

4.7.4 Consumo energético anual, Punta Arenas.

Como se observa en la **Tabla 30** y en el **Gráfico 27**, El consumo de enfriamiento aumenta en 76 Kw. para la Config.0 respecto a la Celda S/P. El consumo de calefacción aumenta en 477 Kw. Esto confirma la hipótesis de que la Prótesis genera aporte en temperatura, especialmente en los meses de verano.

Tabla 40. Consumo de enfriamiento y Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0. Punta Arenas.

Configuración	Celda S/P	Config. 0
Consumo Enfriamiento (Kw)	0	76,1
Consumo Calefacción (Kw)	4025,1	4502,4

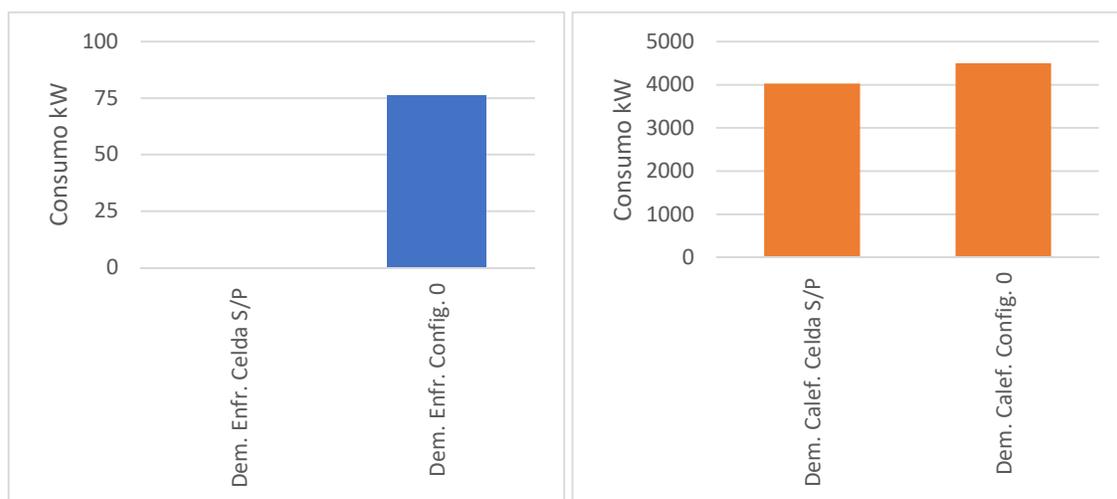


Gráfico 48. Consumo de enfriamiento (Izq.) y consumo de calefacción (Der.) para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0 comparadas. Punta Arenas.

4.8 Clima Andino; Lonquimay. (latitud -38.4333, longitud -71.2333)

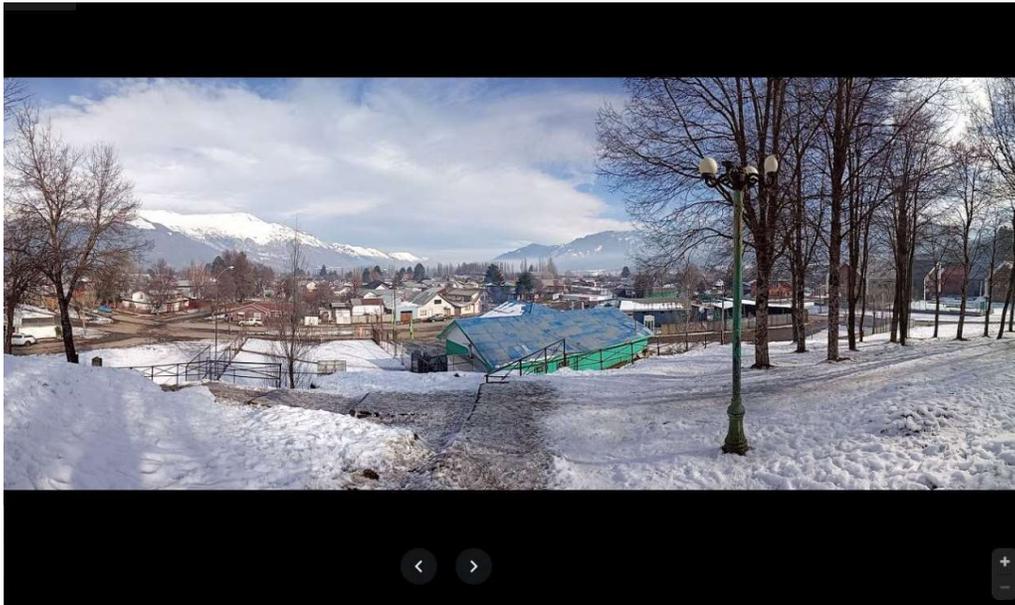


Ilustración 4. Lonquimay.

El clima de Lonquimay corresponde a un clima andino de gran oscilación térmica día /noche – invierno – verano. La temperatura del aire exterior alcanza mínimas de -4,1°C en julio y máximas de 30,4°C en febrero, promediando 11,12°C. Precipita todo el año, pero de manera más concentrada en invierno. Permanece nublado aproximadamente el 60% del año (ver **Gráfico 49** y **Gráfico 50**).

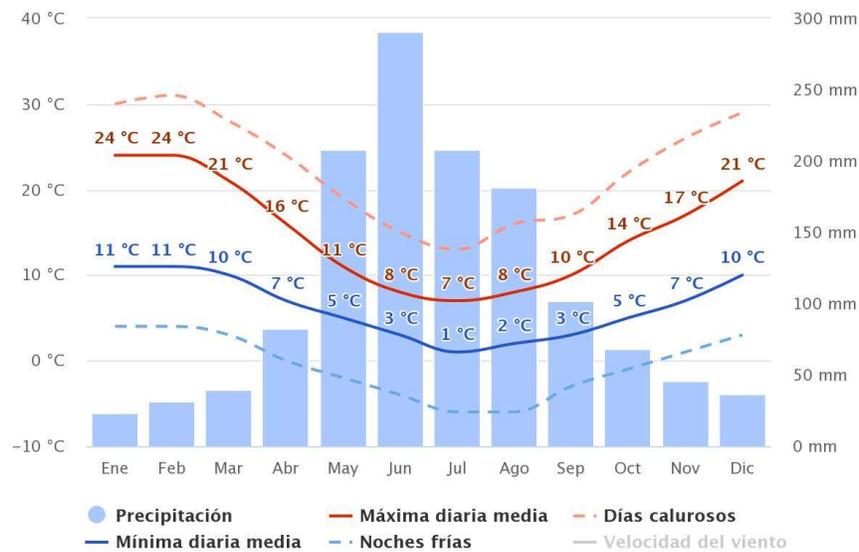


Gráfico 49. Temperatura exterior, Lonquimay. Meteoblue

Capítulo IV – Resultados.

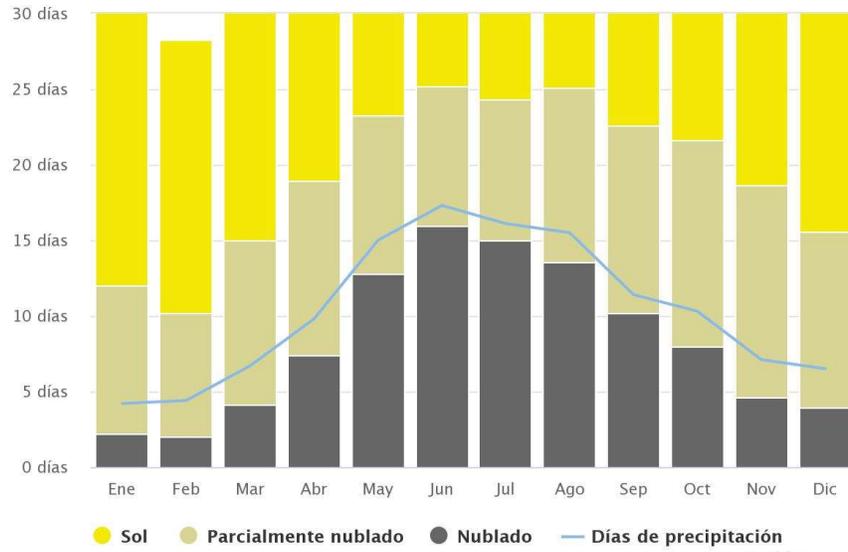


Gráfico 50. Asoleamiento, Lonquimay. Meteoblue.

Los vientos predominantes son del norponiente, alcanzando velocidades superiores a los 61km/h durante todo el año (ver Gráfico 51).

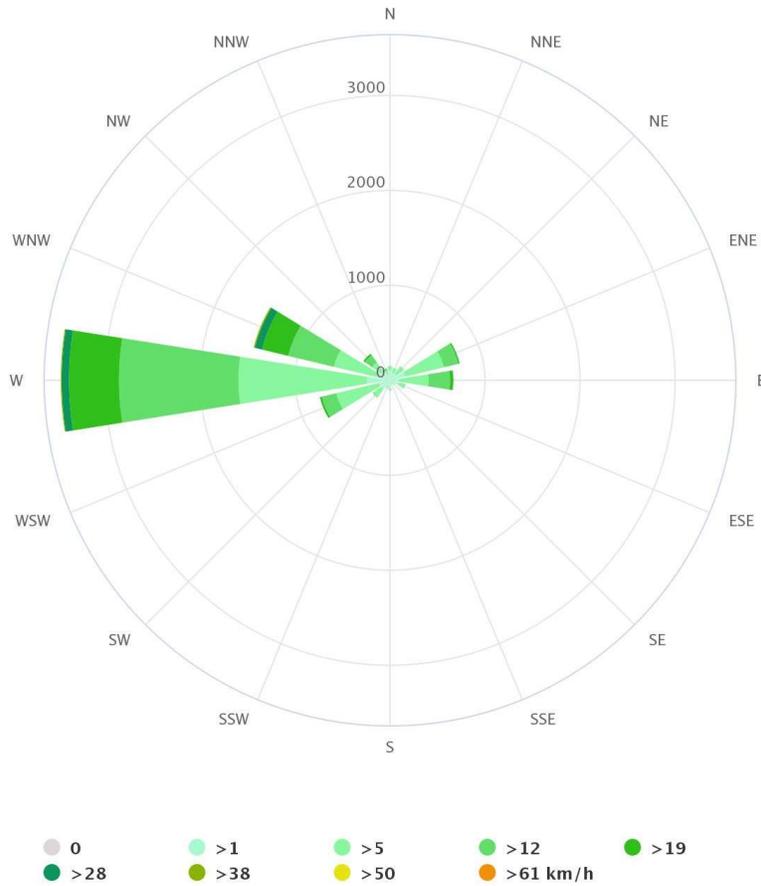


Gráfico 51. Rosa de los vientos, Lonquimay. Meteoblue.

4.8.1 Desempeño térmico anual

Como se observa en las gráficas, la estrategia bioclimática de la prótesis aporta aumentando la temperatura durante todos los meses del año en el clima de Lonquimay (ver **Gráfico 52**), sin embargo, pareciera que el aporte en invierno es menor, generando mayores aportes especialmente en verano. En el **Gráfico 22** se observa el comportamiento de un día promedio.

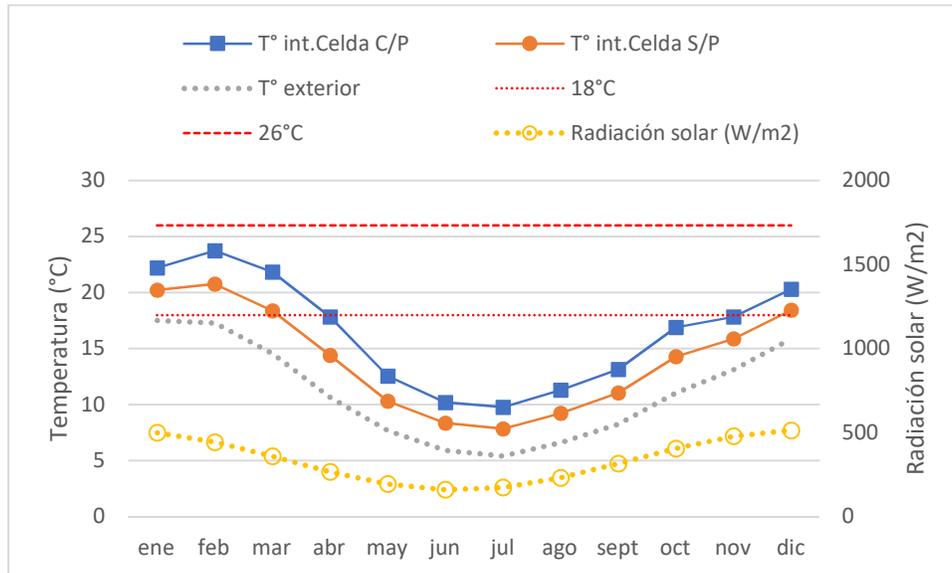


Gráfico 52. Desempeño promedio anual de la Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

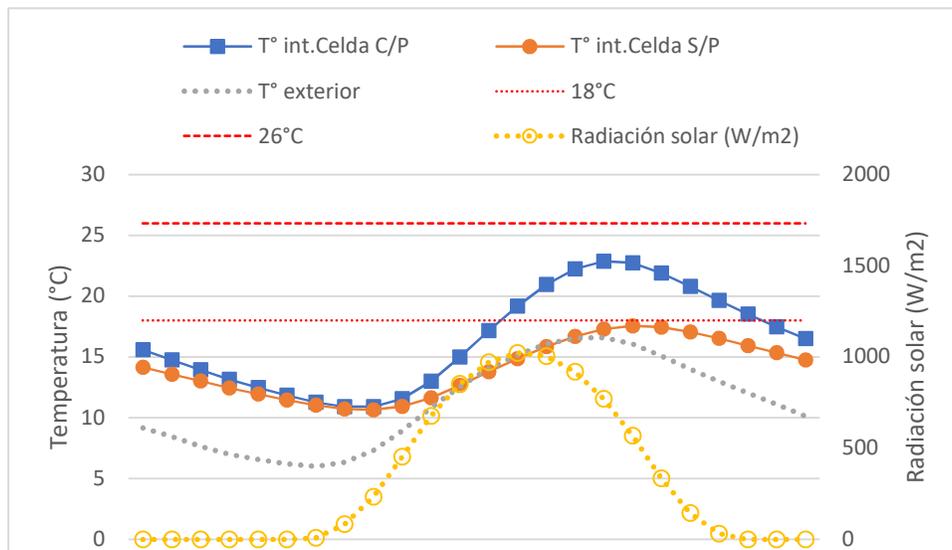


Gráfico 53. Desempeño día promedio anual Celda sin prótesis y Celda con prótesis.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio anual.

En la **Tabla 41** se observa que la prótesis aumenta el porcentaje de lecturas en el rango, disminuyendo levemente las temperaturas bajo el límite de los 18°C, aumentando las temperaturas sobre el límite de los 26°C.

Tabla 42. Temperatura interior de la Celda en el rango 18°C – 26°C. Promedio anual.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	73,71%	25,21%	1,07%
Celda C/P	60,21%	28,76%	11,01%

Confort adaptativo Ashrae 55. Promedio anual.

En la **Tabla 43** se observa un resultado similar al anterior, en que la prótesis aumenta el confort total, no obstante, el resultado sigue siendo predominantemente frío.

Tabla 44. Evaluación Confort Adaptativo Celda según Ashrae 55. Promedio anual.

	Frío	Frio ligero	Confort	Calor ligero	Calor	Total confort
Celda S/P	70,6%	5,1%	19,3%	2,1%	2,8%	26,6%
Celda C/P	57,4%	4,7%	19,4%	3,0%	15,5%	27,1%

4.8.2 Desempeño térmico mensual

Se realiza análisis promedio mensual, entendiendo que los promedios anuales pueden carecer de precisión. Se puede apreciar con mayor claridad que el aporte de la prótesis es permanente durante todos los meses (**Gráficos 84 al 95**), sin embargo, en primavera - verano es cuando alcanza las temperaturas más altas. En otoño - invierno el aporte es significativo, sin llegar al rango establecido como objetivo.

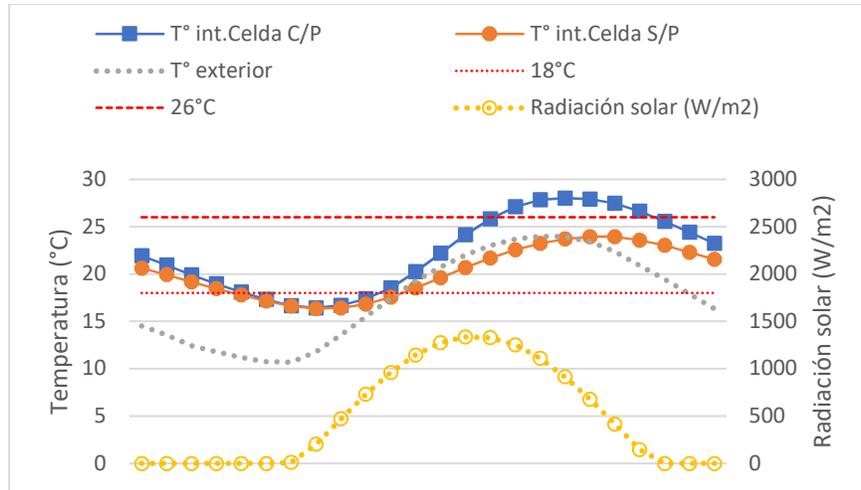


Gráfico 54. Desempeño promedio enero.

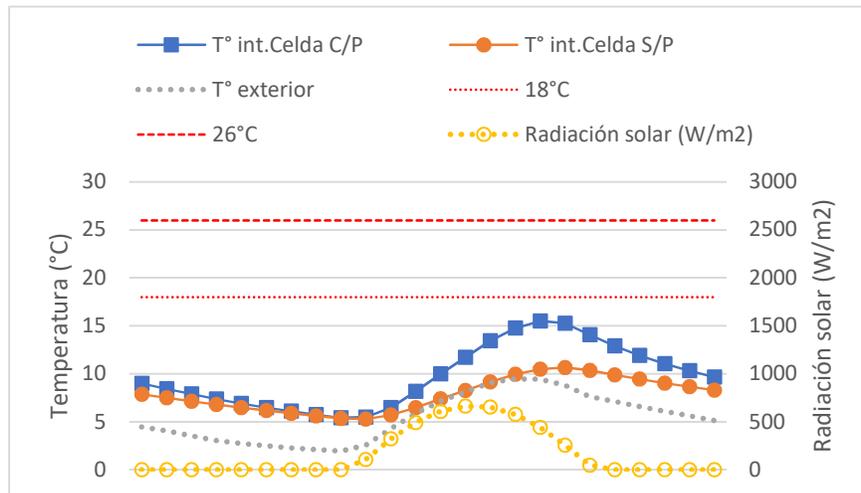


Gráfico 55. Desempeño promedio julio.

Lecturas horarias en el rango de confort. Promedio mensual.

Como se observó en las gráficas, el comportamiento de la celda es paralela a la temperatura exterior, sin mayores variaciones a pesar de los valores U mejorados en cuanto a muro, techumbre y piso ventilado. En los meses invernales hasta los inicios de la primavera, no hay lecturas dentro del rango de confort establecido, es más, el 100% de las lecturas se encuentran por debajo del límite de los 18°C. Esta condición mejora el resto del año (ver **Tabla 15**).

Tabla 45. Temperatura interior de la Celda sin prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

P	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	29,16%	25,00%	50,00%	87,5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75,00%	45,83%
En el rango	70,83%	75,00%	50,00%	12,5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25,00%	54,16%
Sobre el rango	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

El comportamiento de la prótesis tiende subir la temperatura especialmente en los meses de primavera – verano generando calor excesivo. Disminuyen los meses con lecturas cero en el rango de confort establecido. En general aumentan las temperaturas sobre el límite de los 26°C (ver

Tabla 16).

Tabla 46. Temperatura interior de la Celda con prótesis en el rango 18°C – 26°C. Promedio mensual.

CP	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bajo el rango	20,83%	16,66%	33,33%	54,16%	87,5%	100%	100%	100%	83,33%	58,33%	50,00%	37,50%
En el rango	54,17%	45,83%	37,50%	37,50%	12,50%	0%	0%	0%	16,67%	41,67%	50,00%	62,50%
Sobre el rango	25,00%	37,50%	29,17%	8,33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

4.8.3 Desempeño térmico en un periodo representativo.

Según el análisis del clima de Lonquimay y observando el comportamiento mensual del punto anterior, se establece como referencia los límites de 18°C y 26°C para proponer 2 estrategias; demanda de calefacción en invierno y demanda de enfriamiento en verano. Se determina que los meses que requerirán calefacción son mayo, junio, julio y agosto. Los meses que requerirán enfriamiento son diciembre, enero y febrero (ver **Tabla 17**).

Tabla 47. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por mes.

Meses	T° media exterior (°C)	GD de Calefacción (18°C base)	GD de Enfriamiento (26°C base)
ene	17,52	0,48	8,48
feb	17,30	0,70	8,70
mar	14,57	3,43	11,43
abr	10,63	7,37	15,37
may	7,70	10,30	18,30
jun	5,91	12,09	20,09
jul	5,41	12,59	20,59
ago	6,61	11,39	19,39
sept	8,25	9,75	17,75
oct	11,04	6,96	14,96
nov	13,11	4,89	12,89
dic	15,87	2,13	10,13

Luego de determinar los meses, se realiza un análisis semanal, para determinar un periodo de análisis de 2 semanas para cada estrategia. En el caso de la demanda de calefacción, se determina que las semanas de análisis serán la 22 y 23, comprendidas entre el 27 de mayo a las 00:00 hrs y el 09 de junio a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para la demanda de enfriamiento se determinan las semanas 4 y 5 comprendidas entre el 21 de enero a las 00:00 hrs y el 03 de febrero a las 23:00 hrs, arrojando un total de 336 lecturas horarias. Para las gráficas, se considerará como configuración 0 a la Celda + prótesis calibrados en su estado inicial (ver **Tabla 18**).

Capítulo IV – Resultados.

Tabla 48. Determinación de periodos de demanda de enfriamiento y demanda de calefacción basado en los GD por semana.

Mes / Semana	T° media exterior	GD de Calefacción (18°C base)	Mes / Semana	T° media exterior	GD de Enfriamiento (26°C base)
may	(°C)		ene	(°C)	
18	9,24	8,76	1	17,94	8,06
19	6,35	11,65	2	15,61	10,39
20	5,13	12,87	3	16,87	9,13
21	9,98	8,02	4	18,54	7,46
22	8,43	9,57	5	19,60	6,40
jun			feb		
22	4,24	13,76	5	20,26	5,74
23	2,23	15,77	6	15,90	10,10
24	6,14	11,86	7	15,67	10,33
25	9,19	8,81	8	18,57	7,43
26	6,58	11,42	9	18,17	7,83
jul			dic		
27	3,73	14,27	1	17,88	8,12
28	5,57	12,43	48	13,48	12,52
29	4,71	13,29	49	14,64	11,36
30	6,63	11,37	50	15,73	10,27
31	7,78	10,23	51	18,33	7,67
ago			52	8,20	14,53
31	3,69	14,31		17,80	11,47
32	4,21	13,79			
33	7,52	10,48			
34	8,11	9,89			
35	8,56	9,44			

En los **Gráficos 96 y 97** se observa el comportamiento de la Temperatura interior de la Celda S/P, Temperatura interior de la Celda C/P (Config 0) y la Temperatura interior de la Prótesis para las demandas de calefacción y enfriamiento respectivamente, observándose que la mayor temperatura se produce al interior de la Prótesis. Luego, la temperatura de la Config.0 es mayor que la Celda S/P, por lo que se entiende que la estrategia aporta temperatura en el periodo definido para cada demanda.

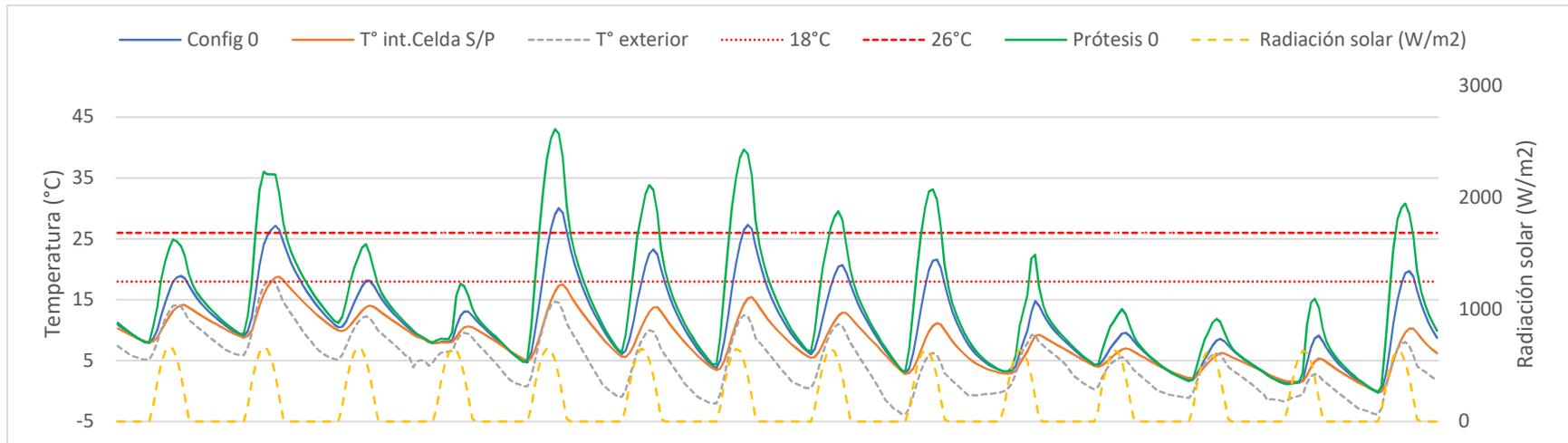


Gráfico 56. Demanda de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

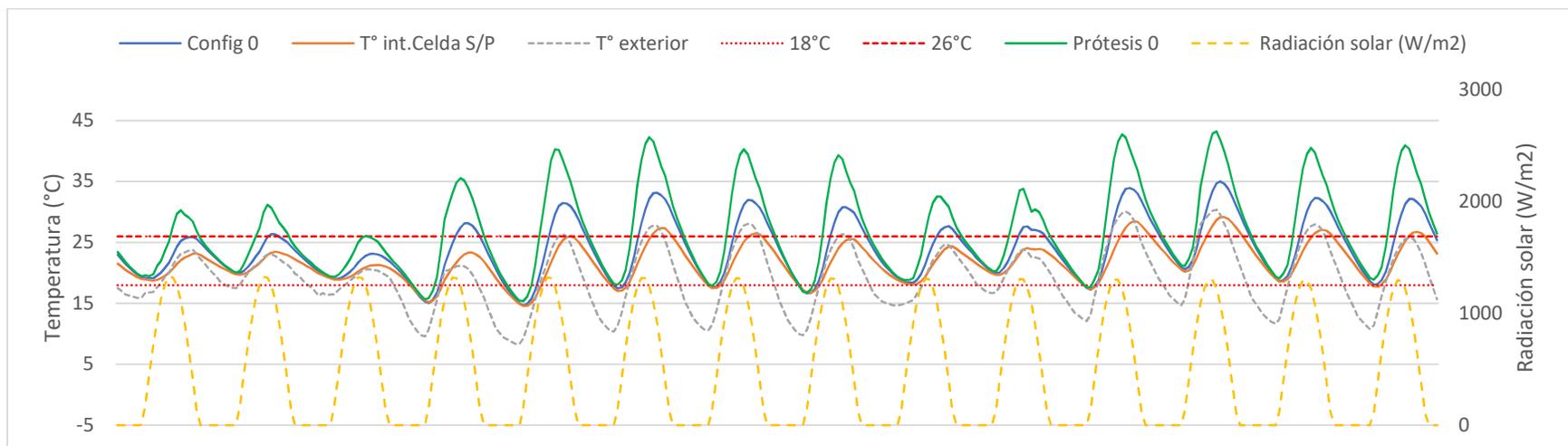


Gráfico 57. Demanda de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 enero al 03 de febrero.

Demanda de calefacción.

En el **Gráfico 96** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento significativo en la temperatura dentro del rango de confort establecido, disminuyendo en un 13% las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentando levemente las lecturas sobre el límite de los 26°C. No obstante, la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que podría ser aprovechado de mejor manera Según estos resultados, la estrategia funcionaría bien para los meses de invierno con mejoras (ver **Tabla 19**).

Tabla 49. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de calefacción basado en los GD por semana. Semanas 22 y 23, desde el 27 de mayo al 09 de junio.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	98,80%	1,19%	0%
Config. 0	85,11%	11,60%	3,27%

Demanda de enfriamiento.

En el **Gráfico 97** se observa que, durante el periodo analizado, la estrategia del Celda + prótesis (Config 0) genera un aumento en la temperatura respecto de la Celda sin prótesis. Se puede observar que la prótesis (Prótesis 0) eleva su temperatura durante el día, lo que se refleja en el comportamiento de la Celda.

Según el análisis del rango de confort establecido, la prótesis aporta en disminuir las lecturas dentro del rango, aumentando en un 21% las lecturas sobre el límite de los 26°C, disminuyendo levemente las lecturas bajo el límite de los 18°C. Esto se traduce en un sobrecalentamiento durante los meses de verano (ver **Tabla 20**).

Tabla 50. Cantidad de lecturas en el rango 18°C-26°C para estrategia de enfriamiento basado en los GD por semana. Semanas 04 y 05, desde el 21 de enero al 03 de febrero.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	11,01%	78,27%	10,71%
Config. 0	8,03%	60,11%	31,84%

4.8.4 Consumo energético anual, Lonquimay.

Como se observa en la **Tabla 30** y en el **Gráfico 27**, el consumo de enfriamiento aumenta en 428 Kw. para la Config.0 respecto a la Celda S/P. el consumo de calefacción disminuye en 226 Kw. Esto confirma la hipótesis de que la Prótesis genera sobrecalentamiento, especialmente en los meses de verano.

Tabla 51. Consumo de enfriamiento y Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0. Lonquimay.

Configuración	Celda S/P	Config. 0
Consumo Enfriamiento (Kw)	11,7	439,2
Consumo Calefacción (Kw)	2110,3	2326,8

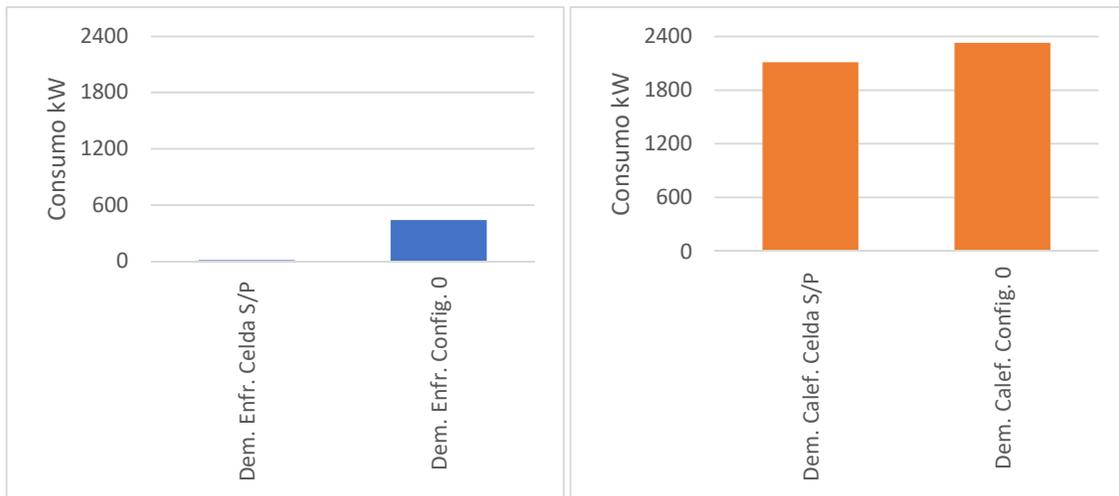


Gráfico 58. Consumo de enfriamiento (Izq.) y consumo de calefacción (Der.) para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración 0 comparadas. Lonquimay.

4.9 Mejoras a la estrategia bioclimática según requerimientos de los cuatro climas definidos.

Para las mejoras se tomó como criterio el no modificar de manera sustancial la geometría, volumetría ni estructura de la Prótesis, sino establecer configuraciones del tipo práctico, que permitan un comportamiento distinto y medible. Para ello, se establecen 5 configuraciones con objetivos de estrategias de calefacción y enfriamiento, 2 configuraciones solo con objetivos de enfriamiento y eventualmente, se realizan mixes de configuraciones para lograr mejores resultados (ver **Tabla 65**). Los análisis comparativos se hacen respecto de la configuración de la “Celda sin Prótesis”.

Se establecen periodos de evaluación de dos semanas, para determinar la demanda de calefacción y la demanda de enfriamiento, pero dependiendo del clima, pueden ser orientadas solo a calefaccionar o enfriar. La idea de definir estos periodos es poder tener una lectura más representativa y realista del comportamiento de la prótesis con sus diferentes configuraciones, en el clima estudiado. Esto fue declarado en los puntos 4.5.3, 4.6.3, 4.7.3 y 4.8.3, para cada clima respectivamente.

Los objetivos de las mejoras son aumentar las lecturas de temperaturas dentro del rango de confort entre los 18°C y los 26°C definido en el experimento (L. Agurto, Allacker, Fissore, Agurto, & De Troyer, 2020b) para cada clima estudiado en al menos un 10% respecto de la configuración “Celda sin Prótesis”, mejorando también los resultados de las lecturas bajo y sobre el límite del rango mencionado. Respecto al consumo energético, los objetivos son obtener un ahorro de al menos un 10%.

Capítulo IV – Resultados.

Tabla 52. Configuraciones para realizar mejoras y su evaluación en los 4 climas estudiados.

Config.	Estrategia de mejoramiento	Objetivo	Cal.	Enf.
0	Es la configuración original de la Prótesis.	Evaluar el comportamiento de la prótesis calibrada.	X	X
1	Se eliminan las 4 perforaciones que conectan la Prótesis con la Celda.	Evaluar el aporte del flujo de aire entre Celda y Prótesis.	X	X
2	Se incluyen postigos de aislamiento por el exterior de la Prótesis. Se cerrarán cuando la radiación solar sea 0.	Evaluar el aporte de aislación exterior nocturna sobre la prótesis.	X	X
3	Se elimina la ventana y se aumenta la masa térmica de agua.	Evaluar el aporte de la ventana y de la masa térmica.	X	X
4	Se aumenta el ancho de la Prótesis a 60 cms.	Evaluar el aporte de mayor volumen de aire en la prótesis.	X	X
5	Se aumenta el espesor de la aislación de la Prótesis en 25 mms.	Evaluar el aporte de la aislación térmica en la prótesis.	X	X
6	Se agrega sombreadero exterior de 1mt.	Evaluar el aporte de un sombreadero sobre la prótesis.		X
7	Se realiza apertura superior de la prótesis.	Evaluar el aporte de aperturas que permitan ventilar la prótesis.		X
8	Se mezclan las configuraciones 0+1+2+4+6	Evaluar el aporte de configuraciones mezcladas entre sí.		X

4.9.1 Mejoras Clima Norte Desértico; Diego de Almagro.

Para realizar las mejoras de la Prótesis en este clima, se analizó el comportamiento térmico de la Configuración 0 y basados en las características de esta zona climática, se opta por analizar dos periodos, uno para evaluar demanda de calefacción (en invierno) y otro para evaluar demanda de enfriamiento (en verano), que corresponden a las semanas 22 – 23 y semanas 4 – 5 respectivamente.

Demanda de Calefacción

Según la **Tabla 53, y los Gráficos 99 al 103** se observa que las configuraciones que presentan mejoras notables son las Config.0, 3, 4 y 5, que producen mejoras del porcentaje de lecturas dentro del rango de confort establecido, superiores al 10%, reducen las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C. Los mejores resultados son los presentados en la Config.5 (ver **Gráfico 63**).

Las configuraciones 1 y 2, correspondientes a la eliminación de las perforaciones entre la Celda y la Prótesis y el uso de postigos, tiende a generar mayor enfriamiento, que para este caso no es útil.

Tabla 53. Demanda de Calefacción para el periodo de invierno. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 22 y 23. Diego de Almagro.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	77,97%	22,02%	0%
Config. 0	49,70%	32,44%	17,85%
Config. 1	66,07%	33,03%	0,89%
Config. 2	68,45%	19,34%	12,20%
Config. 3	49,79%	32,44%	17,85%
Config. 4	53,27%	31,25%	15,47%
Config. 5	49,40%	32,73%	17,85%
Config. 8	49,40%	17,25%	17,85%

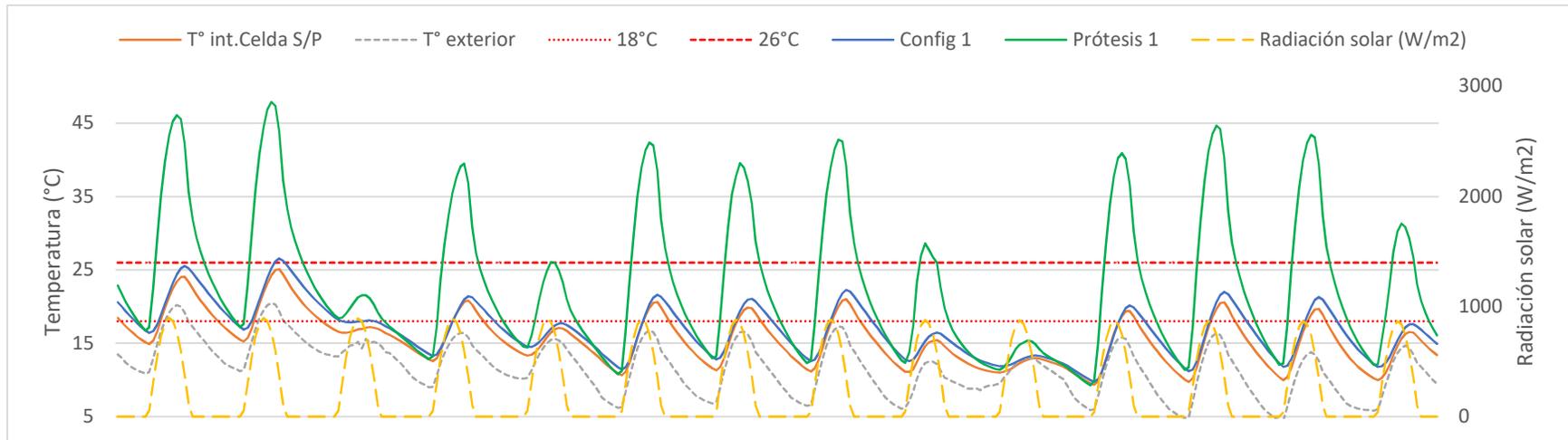


Gráfico 59. Demanda de Calefacción; Configuración 1. Semanas 22 y 23. Diego de Almagro.

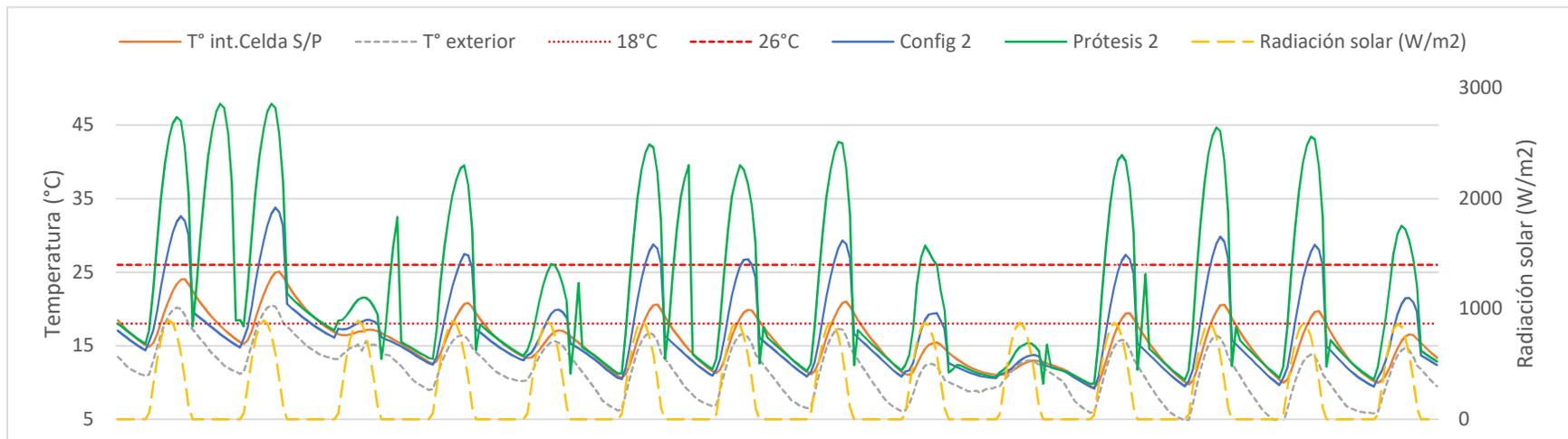


Gráfico 60. Demanda de Calefacción; Configuración 2. Semanas 22 y 23. Diego de Almagro.

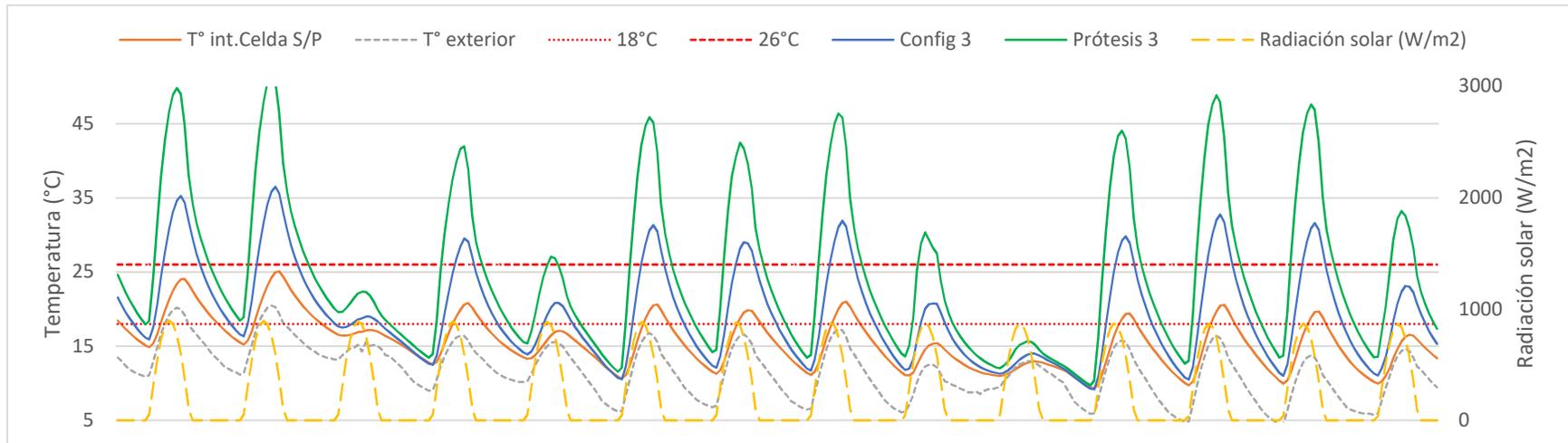


Gráfico 61. Demanda de Calefacción; Configuración 3. Semanas 22 y 23. Diego de Almagro.

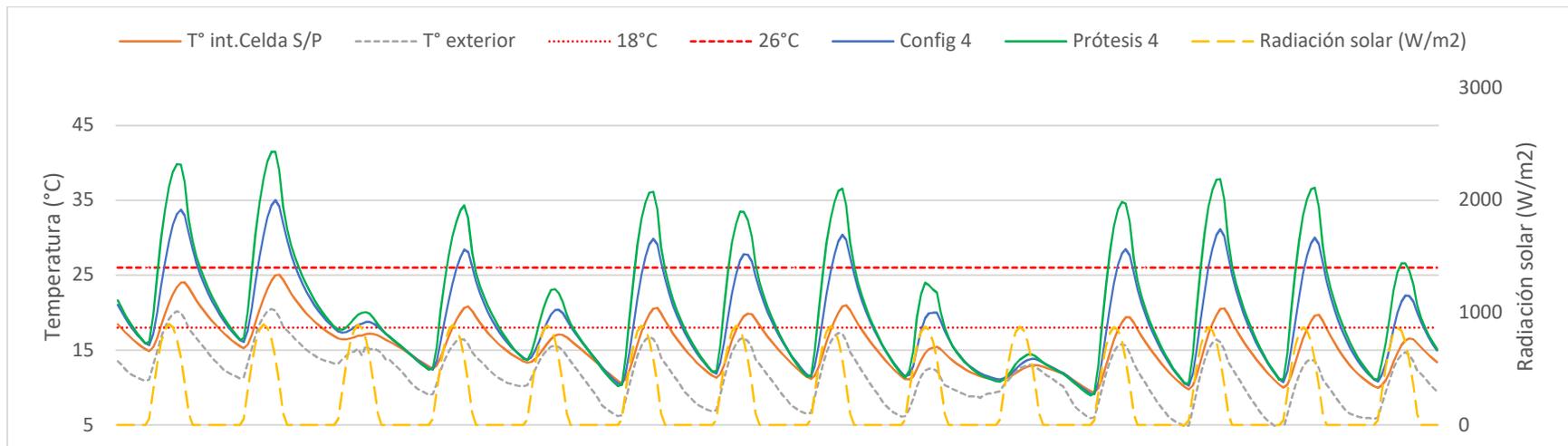


Gráfico 62. Demanda de Calefacción; Configuración 4. Semanas 22 y 23. Diego de Almagro.

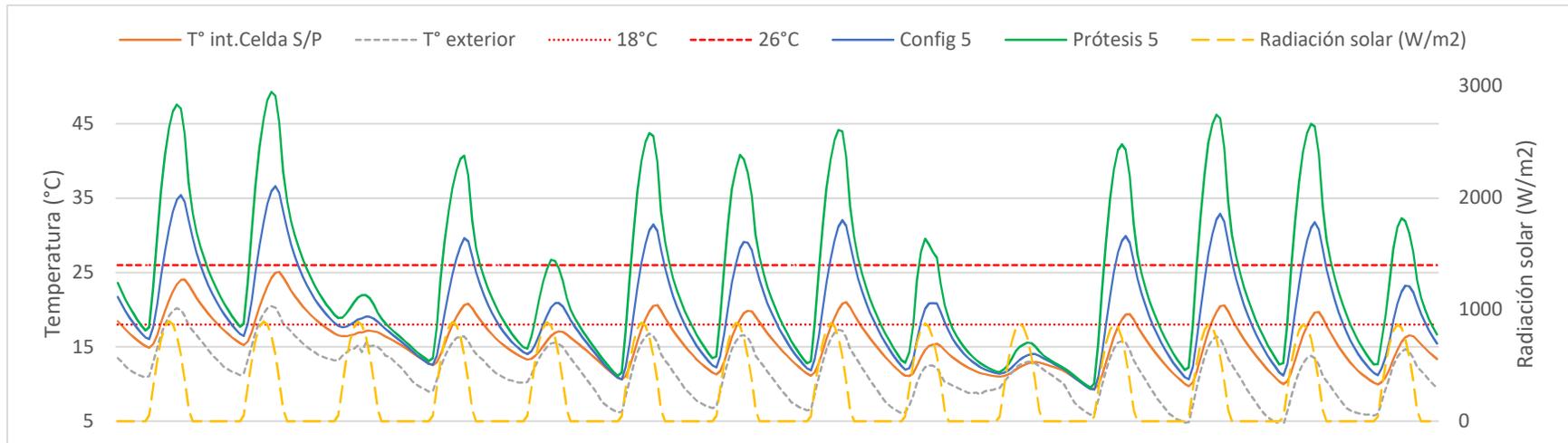


Gráfico 63. Demanda de Calefacción; Configuración 5. Semanas 22 y 23. Diego de Almagro.

Demanda de Enfriamiento

Según la **Tabla 54 y los Gráficos 104 al 111** es difícil poder identificar alguna estrategia que genere mejoras notables, ya que ninguna logra enfriar lo suficiente como para sumar lecturas bajo el límite de los 18°C, sin embargo y comparado con los resultados de la Celda S/P, la Configuración 8 (ver **Gráfico 71**) es la que presenta mejoras aumentando las lecturas dentro del rango en un 2% y disminuyendo las lecturas sobre el límite de los 26°C en un 2%. Ninguna configuración logra aumentar el confort en el 10% esperado.

Por el contrario, todas las configuraciones por separadas, aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C, produciendo sobrecalentamiento. Esto nos hace suponer que la prótesis no funcionaría para verano con la configuración presentada, debiendo considerar mejoras mayores que incluyan modificaciones de funciones, tal vez como una chimenea solar o simplemente un sombreadero para la estación de verano en Diego de Almagro.

Tabla 54. Demanda de enfriamiento para el periodo de verano. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 4 y 5. Diego de Almagro.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	0%	47,61%	52,38%
Config. 0	0%	34,22%	65,77%
Config. 1	0%	39,58%	60,41%
Config. 2	0%	41,36	58,63
Config. 3	0%	34,22	65,77
Config. 4	0%	32,44	67,55
Config. 5	0%	33,63	66,39
Config. 6	0%	36,60	63,39
Config. 7	0%	28,27	71,72
Config. 8	0%	49,10	50,89

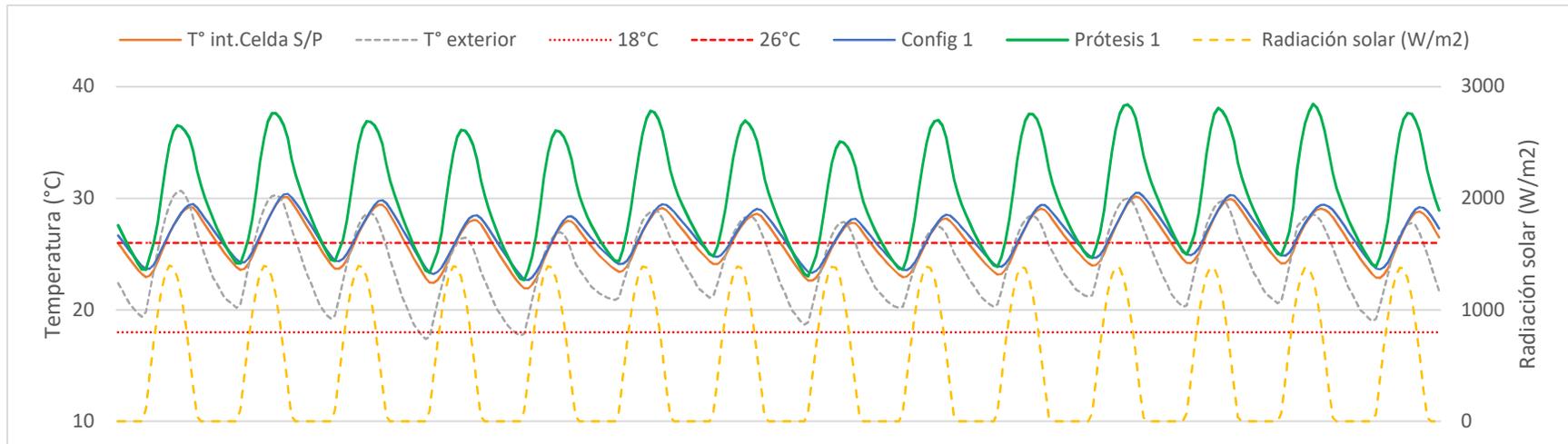


Gráfico 64. Demanda de Enfriamiento; Configuración 1. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

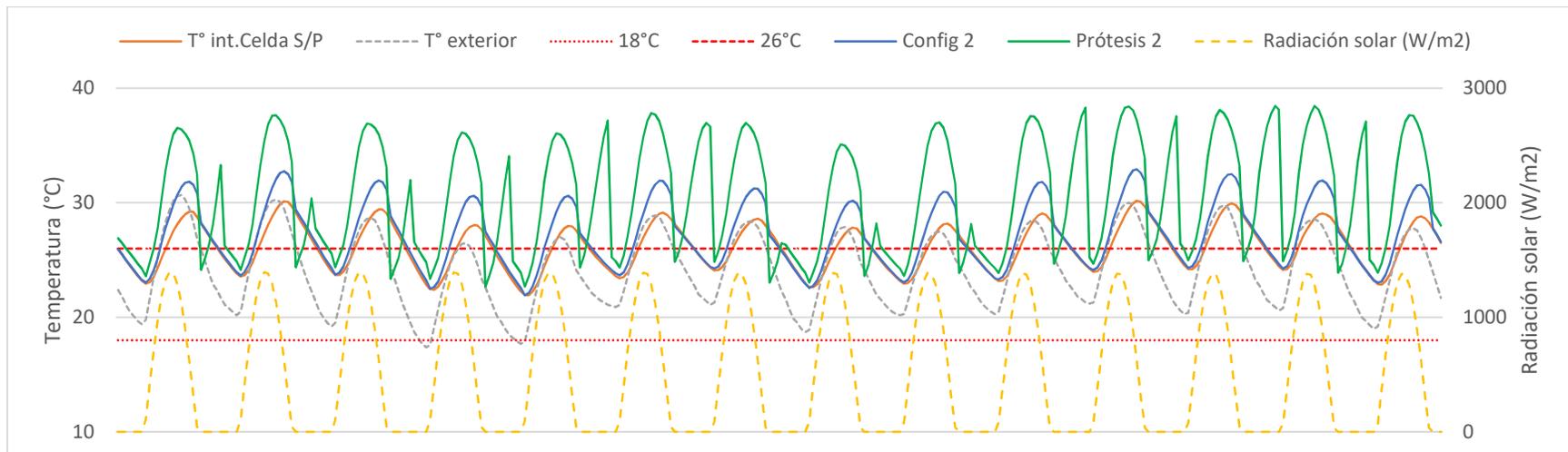


Gráfico 65. Demanda de Enfriamiento; Configuración 2. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

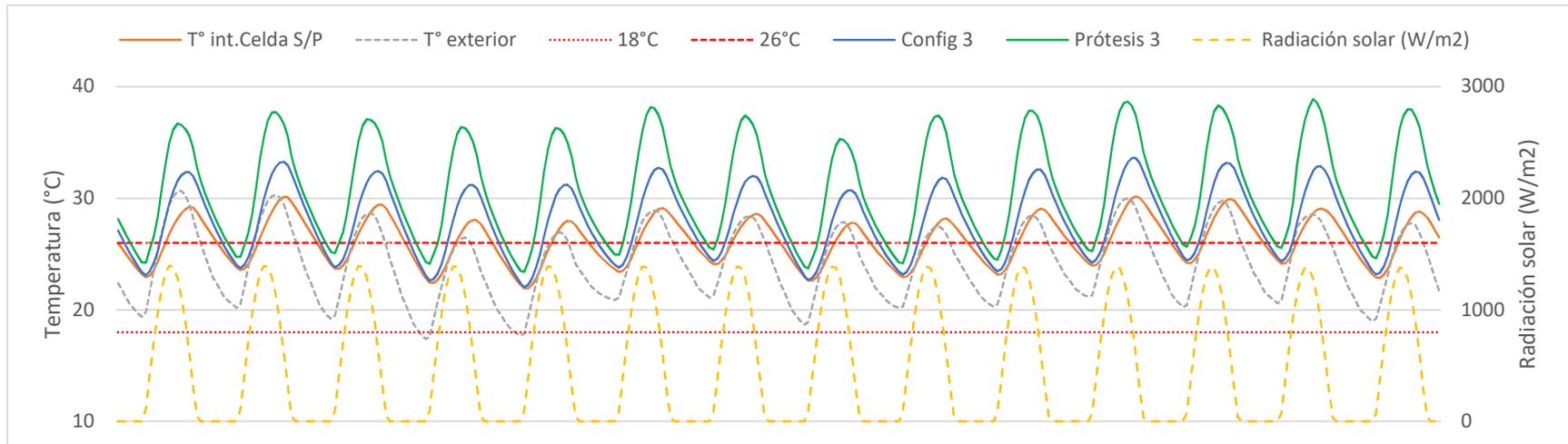


Gráfico 66. Demanda de Enfriamiento; Configuración 3. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

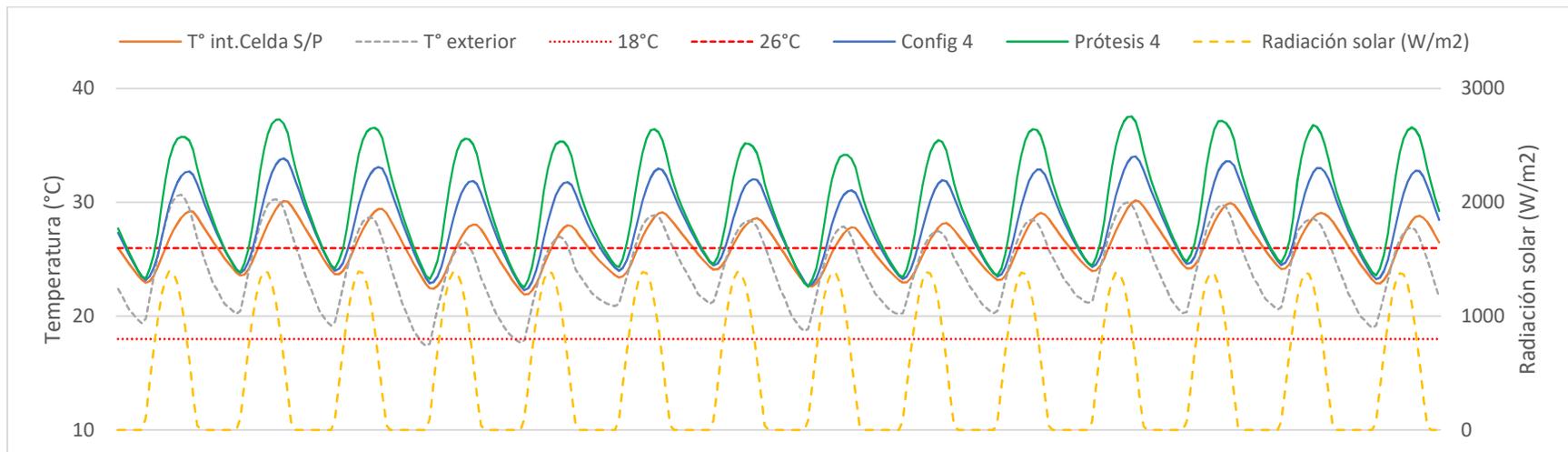


Gráfico 67. Demanda de Enfriamiento; Configuración 4. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

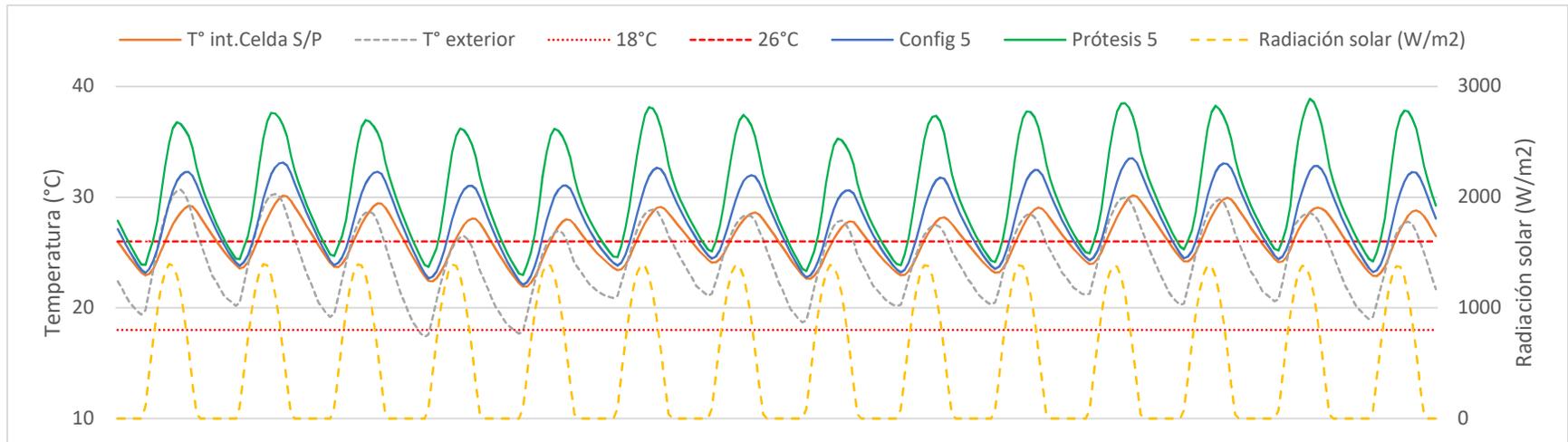


Gráfico 68. Demanda de Enfriamiento; Configuración 5. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

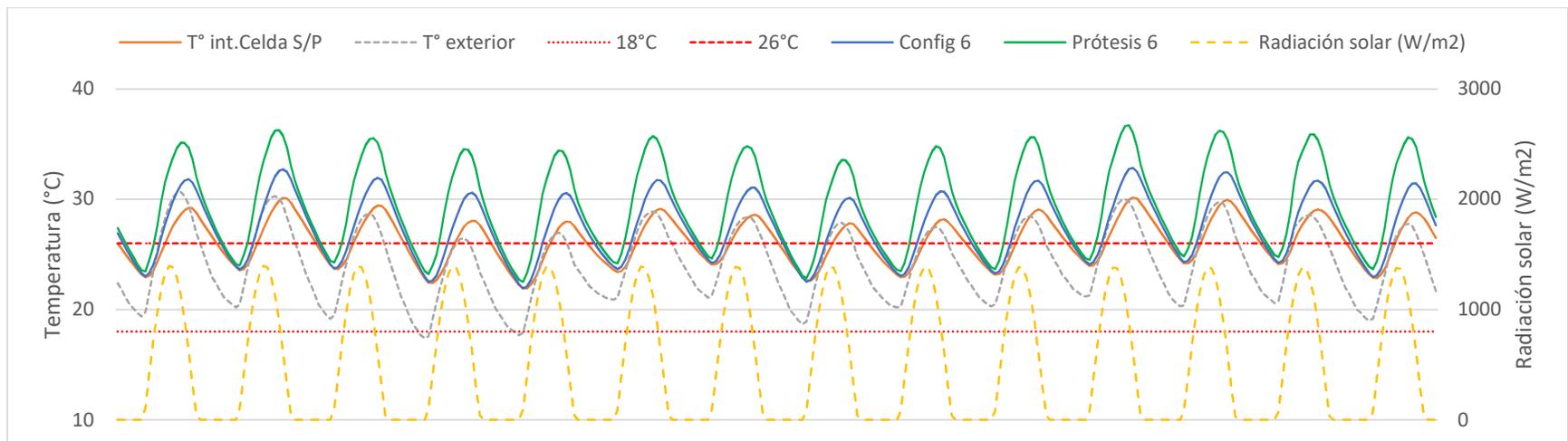


Gráfico 69. Demanda de Enfriamiento; Configuración 6. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

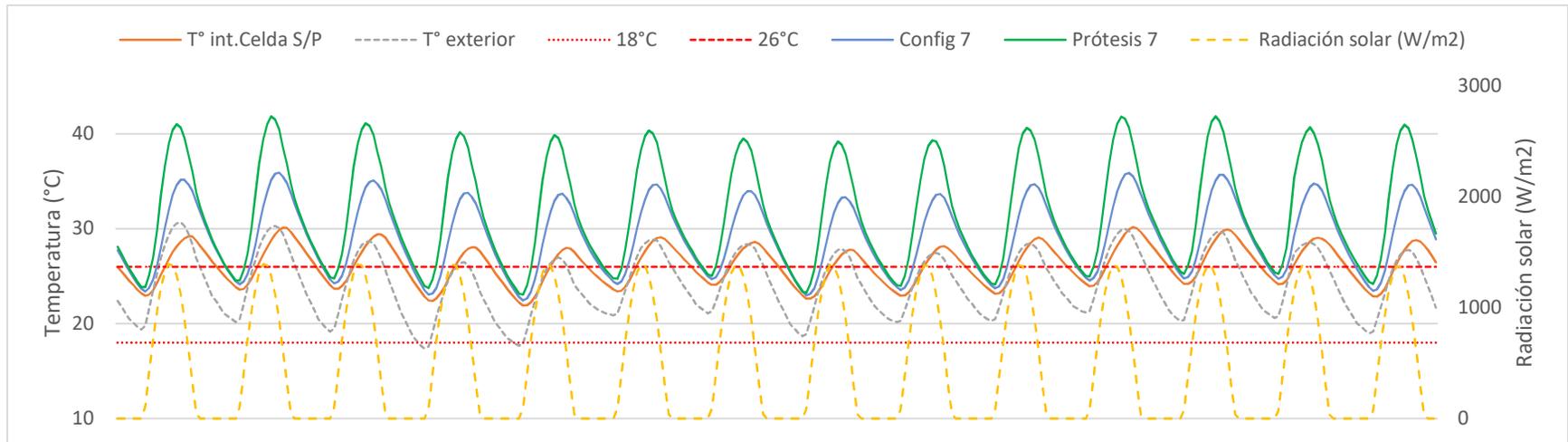


Gráfico 70. Demanda de Enfriamiento; Configuración 7. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

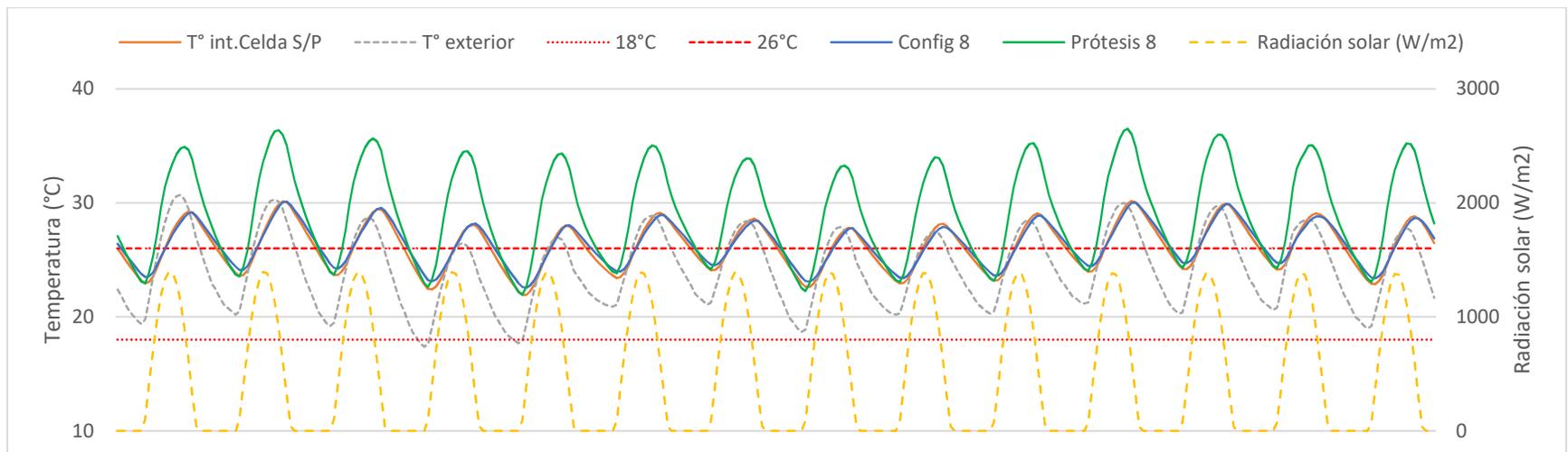


Gráfico 71. Demanda de Enfriamiento; Configuración 8. Semanas 4 y 5. Diego de Almagro.

4.9.2 Consumo energético Clima Norte Desértico; Diego de Almagro.

Consumo energético anual

Como se observa en la **Tabla 55**, las Configuraciones que representan un ahorro energético anual para la demanda de calefacción son las Config. 0, 1, 3 y 5, siendo la Config. 1 la única que cumple con producir un ahorro energético de al menos el 10% (ver **Gráfico 112**).

Tabla 55. Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5+8. Diego de Almagro.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	8
Consumo Calefacción (Kw)	419,2	405,9	297,6	466,2	405,9	451,5	390,6	486,8
Ahorro energético (%)	0	3,1	29,1	-11,2	3,15	-7,75	6,8	-16,1

Según la **Tabla 56**, la Configuración 8 es la única que representan un ahorro energético anual para la demanda de enfriamiento y además cumple con producir un ahorro energético de al menos un 10% (ver **Gráfico 112**).

Tabla 56. Consumo de enfriamiento para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Diego de Almagro.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Consumo Enfriamiento (Kw)	163,9	1196,7	215,1	1187,1	1196,7	1200,3	1188,2	613,7	1662,1	120,9
Ahorro energético (%)	0	-629,8	-31,18	-623,9	-629,8	-632,1	-624,6	-274,3	-913,6	26,23

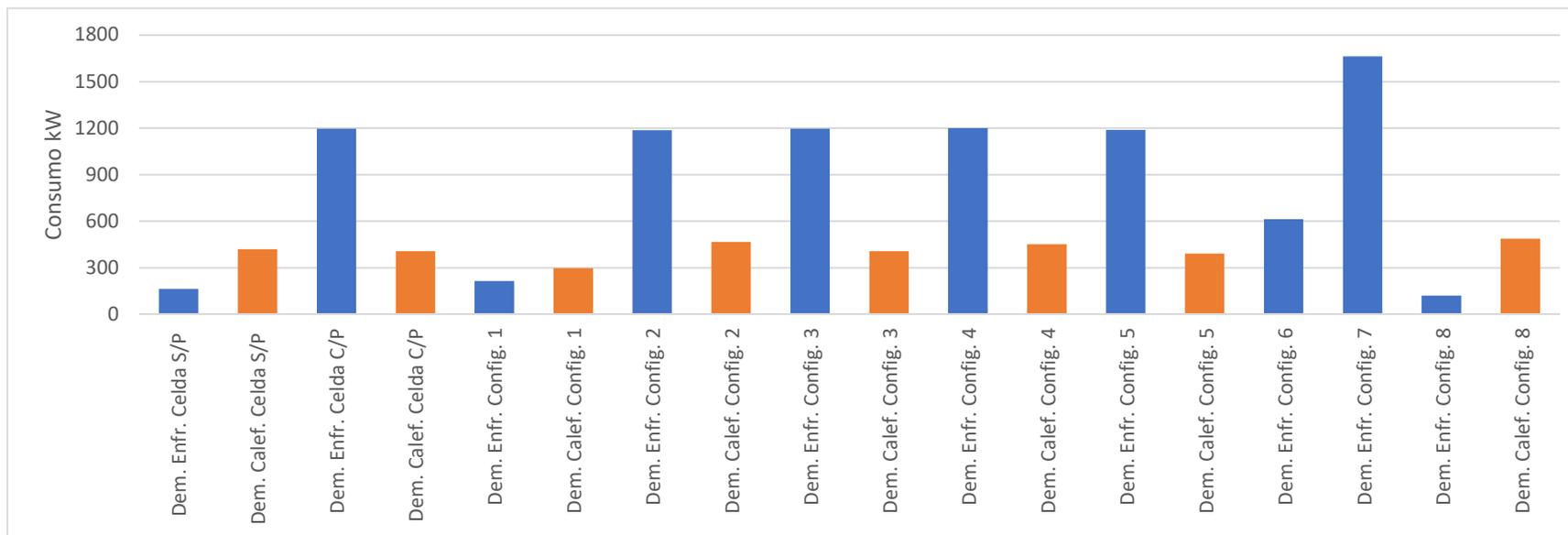


Gráfico 72. Consumo de enfriamiento y demanda de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración del 0 al 8 comparadas. Diego de Almagro.

Consumo energético mensual.

Según la **Tabla 57**, se pueden observar el ahorro energético mensual para la demanda de calefacción. Respecto a la Config.1, se observa que presenta un ahorro sostenido desde el mes de abril hasta noviembre mientras que desde diciembre a marzo no es posible determinar (ver **Gráficos 113 al 122**).

Tabla 57. Consumo de calefacción mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5 + 8. Diego de Almagro.

mes	Celda S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 8	
	Dem. Calef. Celda S/P	Dem. Calef. Config. 0	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 1	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 2	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 3	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 4	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 5	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 8	% Ahorro
ene	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
feb	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
mar	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
abr	9,3	8,4	9,6	2,6	71,6	11,7	-25,7	8,4	9,6	9,2	1,2	7,7	17,3	11,4	-22,7
may	66,5	62,6	5,9	45,8	31,2	74,2	-11,6	62,6	5,9	69,5	-4,5	60,2	9,6	78,0	-17,2
jun	112,7	110,4	2,1	85,6	24,1	124,4	-10,3	110,4	2,1	123,0	-9,1	106,8	5,3	131,3	-16,5
jul	120,1	118,5	1,3	90,1	25,0	133,7	-11,3	118,5	1,3	132,1	-10,0	114,6	4,6	140,4	-16,8
ago	73,7	71,2	3,5	50,8	31,1	82,3	-11,6	71,2	3,5	79,3	-7,6	68,3	7,3	85,9	-16,6
sept	34,9	33,2	4,9	22,2	36,5	37,9	-8,6	33,2	4,9	36,6	-4,9	31,6	9,5	38,3	-9,7
oct	1,6	1,3	15,9	0,6	61,8	1,7	-5,9	1,3	15,9	1,5	8,0	1,2	23,6	1,5	5,7
nov	0,3	0,3	-8,7	0,0	96,5	0,3	-5,6	0,3	-8,7	0,3	-16,9	0,3	4,2	0,1	71,6
dic	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
Total general	419,2	406,0	3,2	297,6	29,0	466,2	-11,2	406,0	3,2	451,6	-7,7	390,6	6,8	486,9	-16,1

Como se observa en la **Tabla 58**, la Config.8 es la que presenta mejores resultados respecto al ahorro energético para la demanda de enfriamiento, excepto el mes de junio en que no es posible determinar (ver **Gráficos 113 al 122**).

Tabla 58. Consumo de enfriamiento mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Diego de Almagro.

mes	Celda S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 6		Config. 7		Config. 8	
	Dem. Enfr. Celda S/P	Dem. Enfr. Config. 0	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 1	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 2	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 3	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 4	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 5	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 6	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 7	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 8	% Ahorro
ene	40,3	132,9	-230,0	50,9	-26,4	131,2	-225,9	132,9	-230,0	154,2	-282,9	129,6	-221,8	112,7	-179,9	187,3	-365,1	38,6	4,2
feb	33,3	128,3	-285,8	41,2	-24,0	127,2	-282,5	128,3	-285,8	143,1	-330,2	125,9	-278,5	87,1	-162,0	180,5	-442,7	25,6	23,0
mar	31,2	171,5	-450,5	41,2	-32,2	168,6	-440,9	171,5	-450,5	175,9	-464,5	170,3	-446,5	83,9	-169,3	221,5	-610,8	11,7	62,4
abr	4,4	106,1	-2337,1	6,8	-55,6	105,3	-2319,2	106,1	-2337,1	97,3	-2134,4	106,4	-2344,7	35,1	-705,3	138,6	-3083,6	0,3	92,5
may	1,9	90,0	-4690,6	4,2	-125,5	89,8	-4683,0	90,0	-4690,6	77,5	-4023,3	90,8	-4731,7	32,6	-1637,0	114,6	-6003,7	0,0	100
jun	0,0	67,7	-	0,3	-	67,7	-	67,7	-	53,6	-	68,8	-	20,2	-	87,0	-	0,0	-
jul	0,1	87,6	-96413,2	1,0	-1050,3	87,5	-96334,2	87,6	-96413,2	71,9	-79129,1	88,8	-97772,4	29,8	-32734,0	110,9	-122084,5	0,0	100
ago	0,2	88,6	-37423,5	0,9	-281,6	88,6	-37423,4	88,6	-37423,5	74,9	-31639,6	89,5	-37805,6	23,0	-9642,1	118,8	-50198,3	0,0	100
sept	2,1	70,5	-3203,9	3,5	-63,2	70,3	-3195,1	70,5	-3203,9	63,5	-2874,6	70,6	-3211,9	13,6	-537,4	106,5	-4891,6	0,1	96,4
oct	13,3	90,8	-581,1	16,2	-21,4	89,7	-572,8	90,8	-581,1	96,0	-620,3	89,6	-571,9	41,7	-212,8	140,5	-954,2	7,2	46,0
nov	12,3	65,9	-435,2	16,3	-32,5	65,2	-429,5	65,9	-435,2	77,5	-529,4	63,9	-419,0	49,0	-297,7	110,2	-794,9	11,5	6,4
dic	24,9	96,8	-288,2	32,6	-30,7	96,0	-284,9	96,8	-288,2	115,0	-361,2	94,0	-277,0	85,1	-241,2	145,8	-484,7	25,9	-3,9
Total general	164,0	1196,7	-629,8	215,1	-31,2	1187,2	-624,0	1196,7	-629,8	1200,4	-632,1	1188,2	-624,7	613,8	-274,3	1662,2	-913,7	121,0	26,2

Capítulo IV – Resultados.

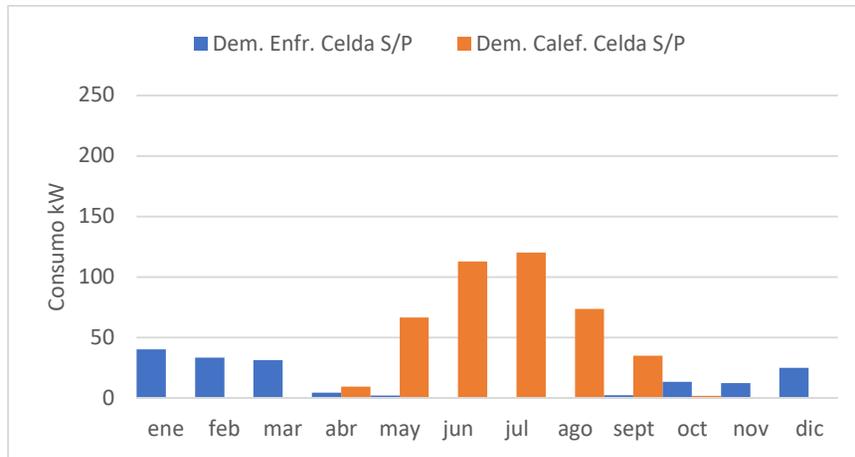


Gráfico 73. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda S/P. DA.

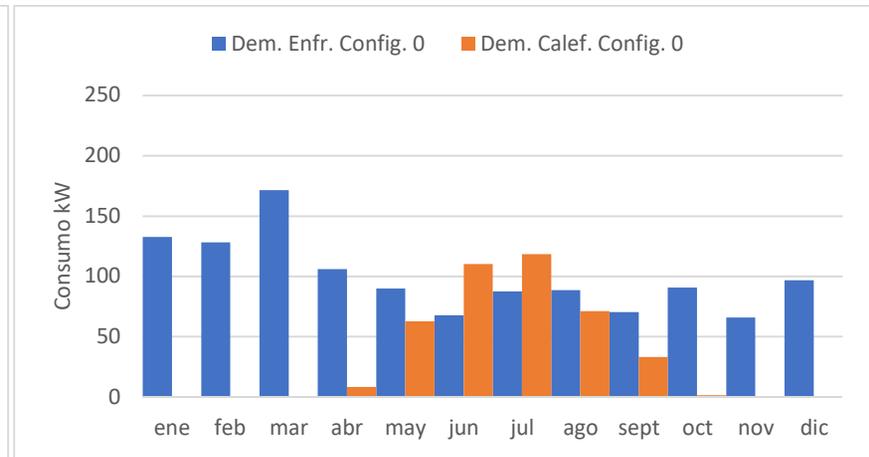


Gráfico 74. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 0. DA.

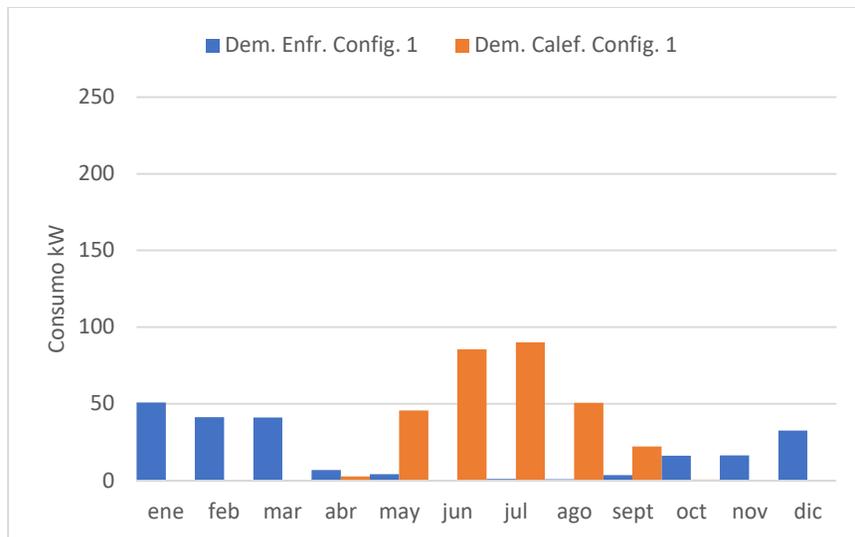


Gráfico 75. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 1. DA.

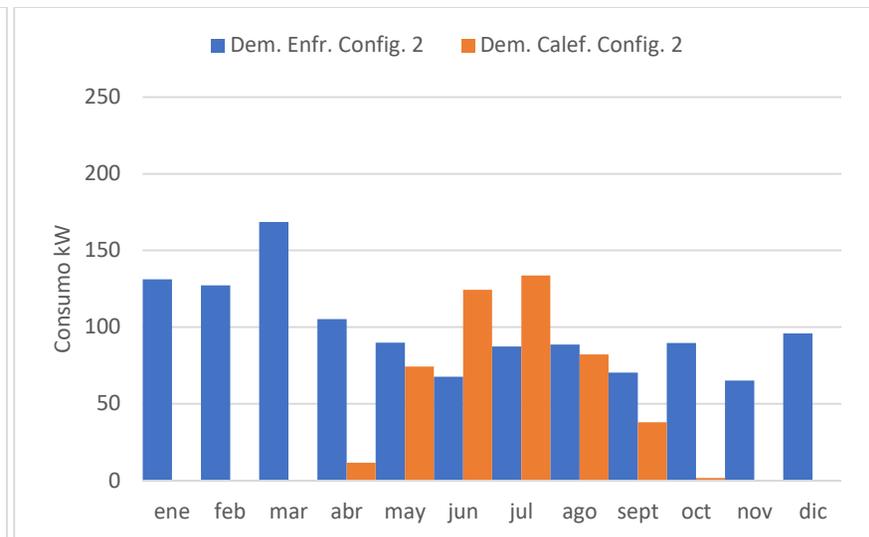


Gráfico 76. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 2. DA.

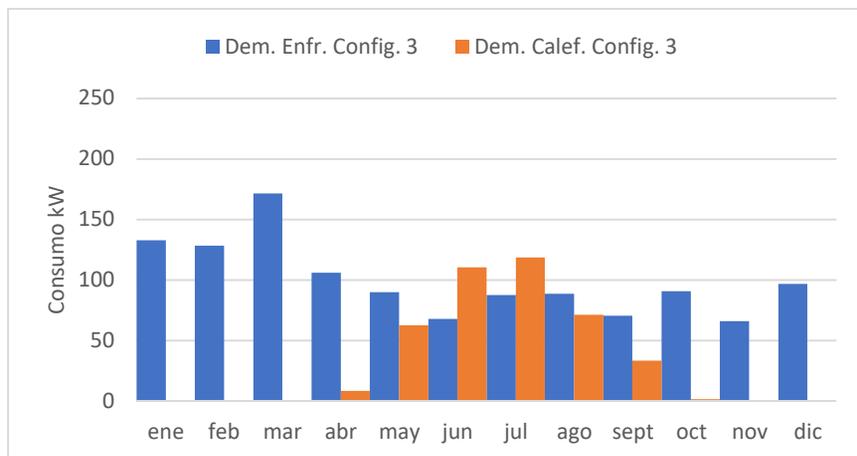


Gráfico 77. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 3. DA.

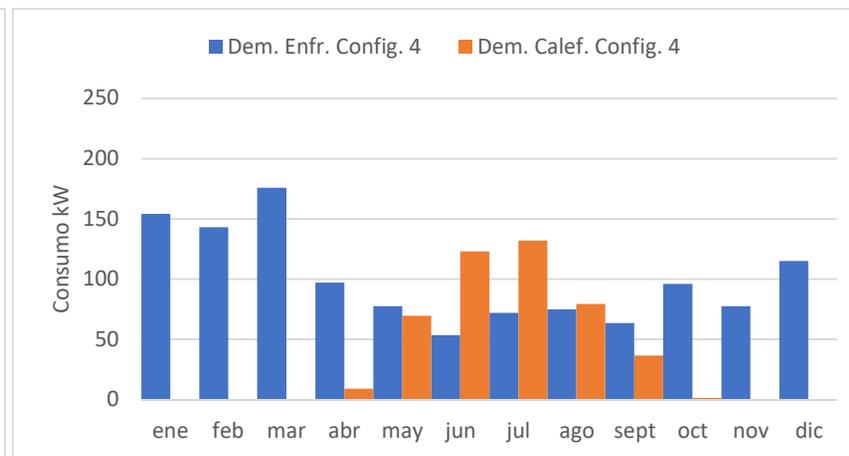


Gráfico 78. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 4. DA.

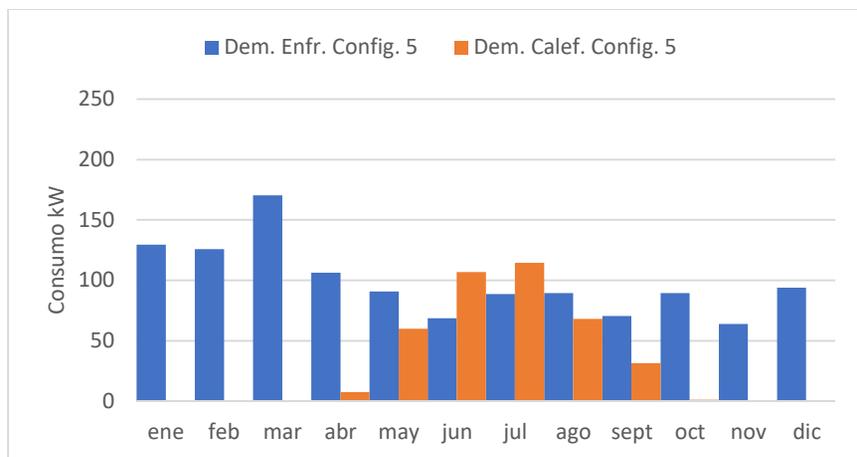


Gráfico 79. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 5. DA.

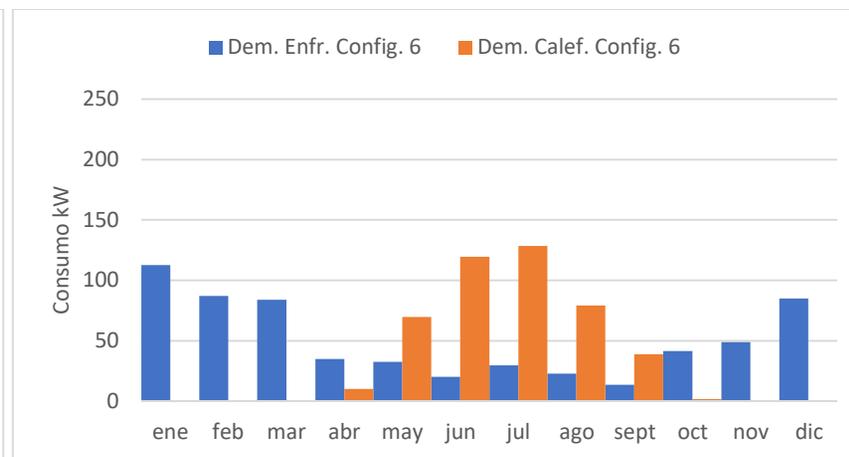


Gráfico 80. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 6. DA.

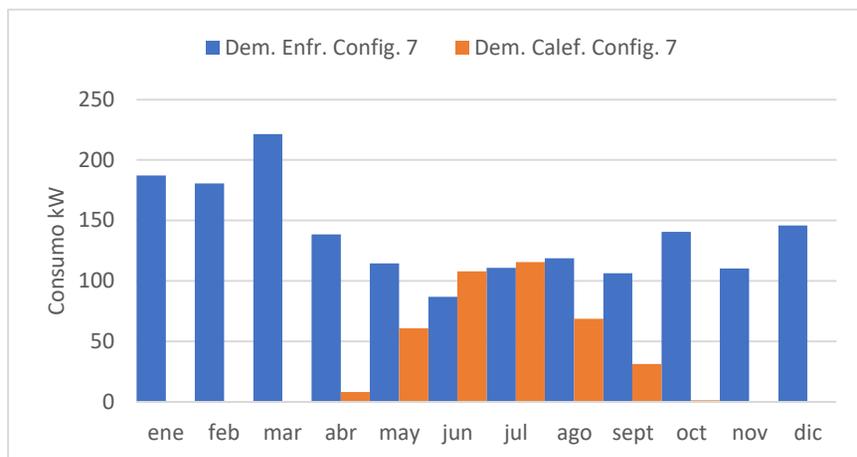


Gráfico 81. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 7. DA.

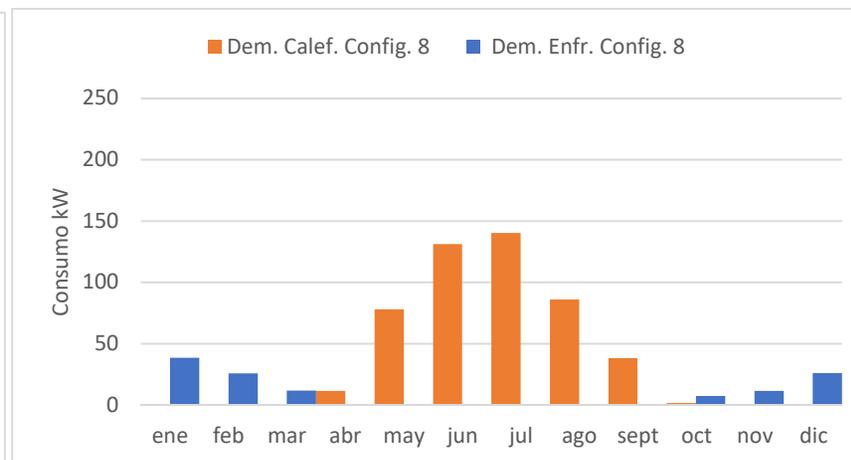


Gráfico 82. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 8. DA.

4.9.3 Mejoras Clima Central Interior; Pudahuel.

Para realizar las mejoras de la Prótesis en este clima, se analizó el comportamiento de la Configuración 0 y basados en las características de esta zona climática, se opta por analizar dos periodos, uno para evaluar demanda de calefacción (en invierno) y otro para evaluar demanda de enfriamiento (en verano), que corresponden a las semanas 22 – 23 y semanas 4 – 5 respectivamente.

Demanda de Calefacción

Según la **Tabla 59, y los Gráficos 123 al 127** se observa que las configuraciones que presentan mejoras notables son las Config.0, 3, 4 y 5, que producen mejoras del porcentaje de lecturas dentro del rango de confort establecido, superiores al 5%, reducen las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C. No obstante, ninguna Configuración logra superar el 10% de mejora esperado. Los mejores resultados son los presentados en la Config.4 (ver **Gráfico 86**).

La Configuración 1 y 2, correspondientes a la eliminación de las perforaciones entre la Celda y la Prótesis y el uso de postigos, tiende a generar mayor enfriamiento, que para este caso no es útil.

Tabla 59. Demanda de Calefacción para el periodo de invierno. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 22 y 23. Pudahuel.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	92,85%	7,14%	0%
Config. 0	80,65%	12,79%	6,54%
Config. 1	89,88%	10,11%	0%
Config. 2	83,92%	8,63%	7,44%
Config. 3	80,65%	12,79%	6,54%
Config. 4	81,25%	13,39%	5,35%
Config. 5	80,65%	12,79%	6,54%

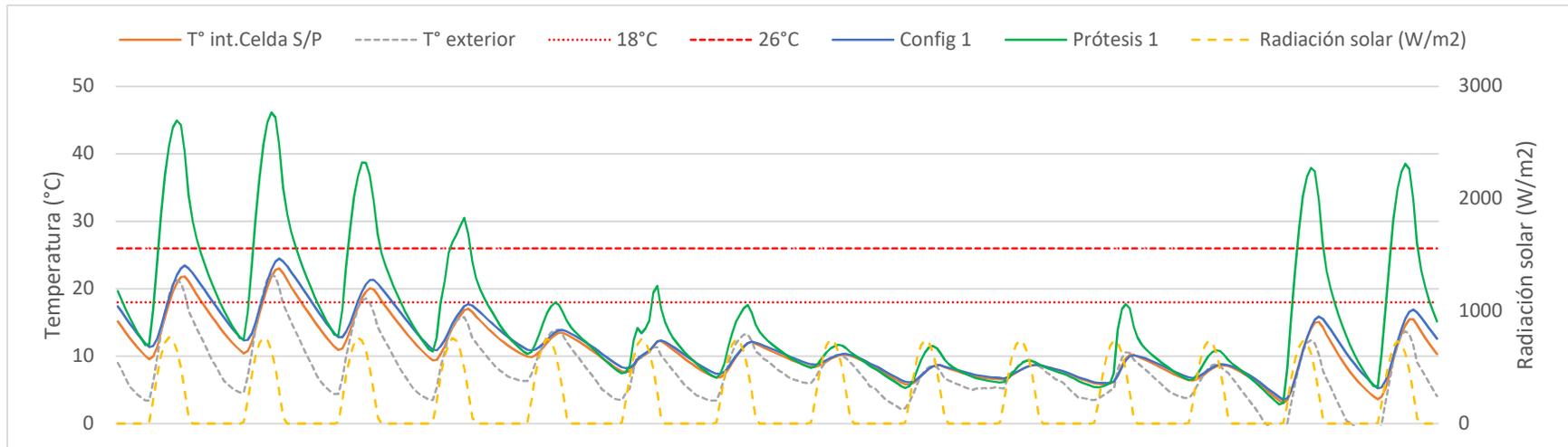


Gráfico 83. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 1. Semanas 22 y 23. Pudahuel.

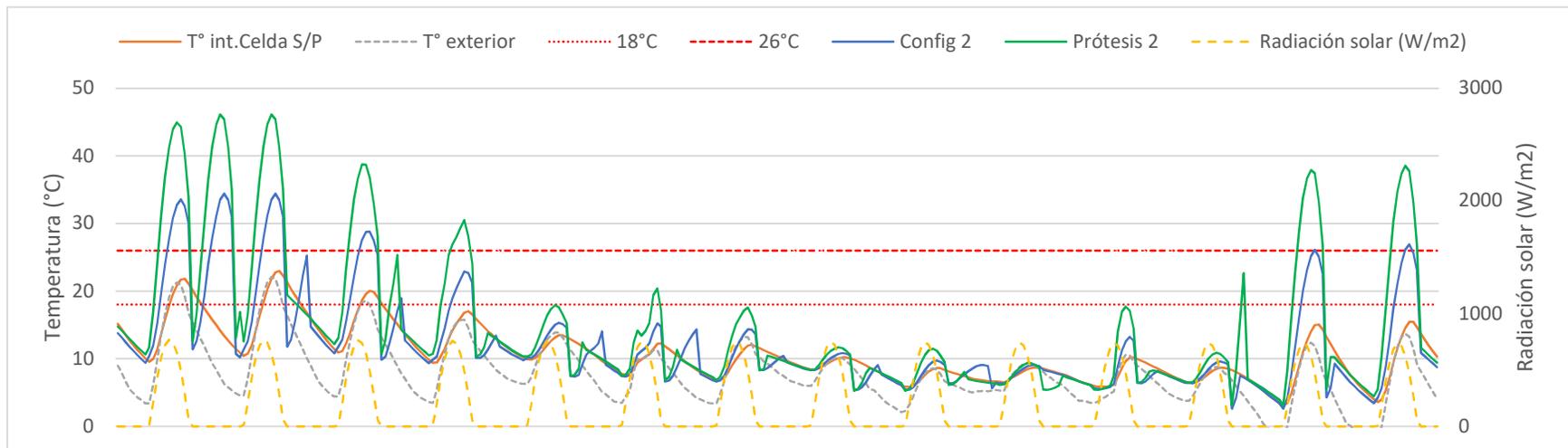


Gráfico 84. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 2. Semanas 22 y 23. Pudahuel.

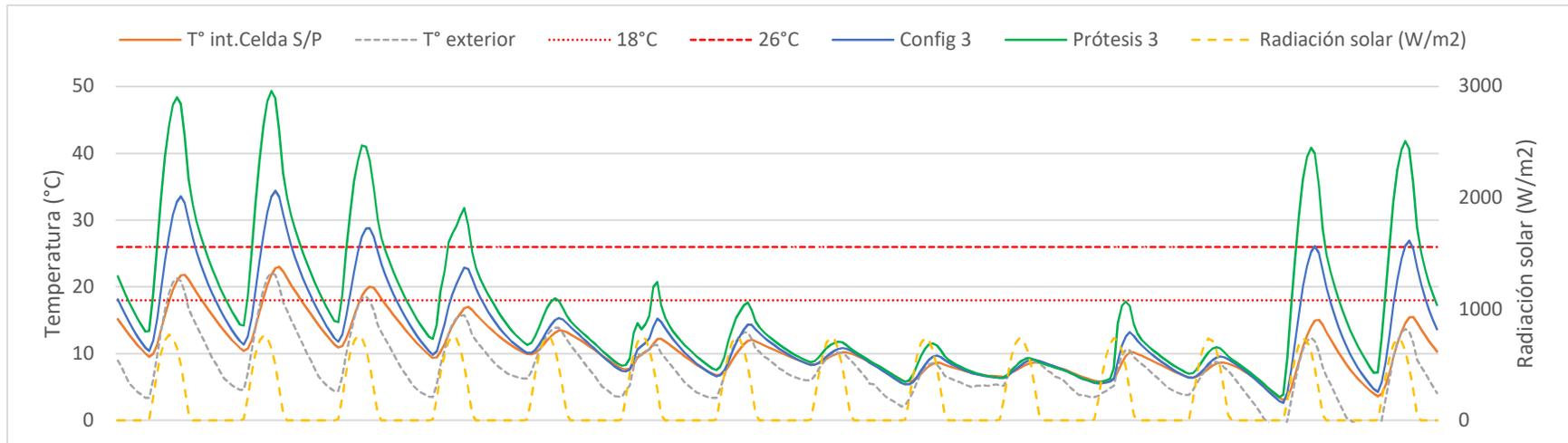


Gráfico 85. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 3. Semanas 22 y 23. Pudahuel.

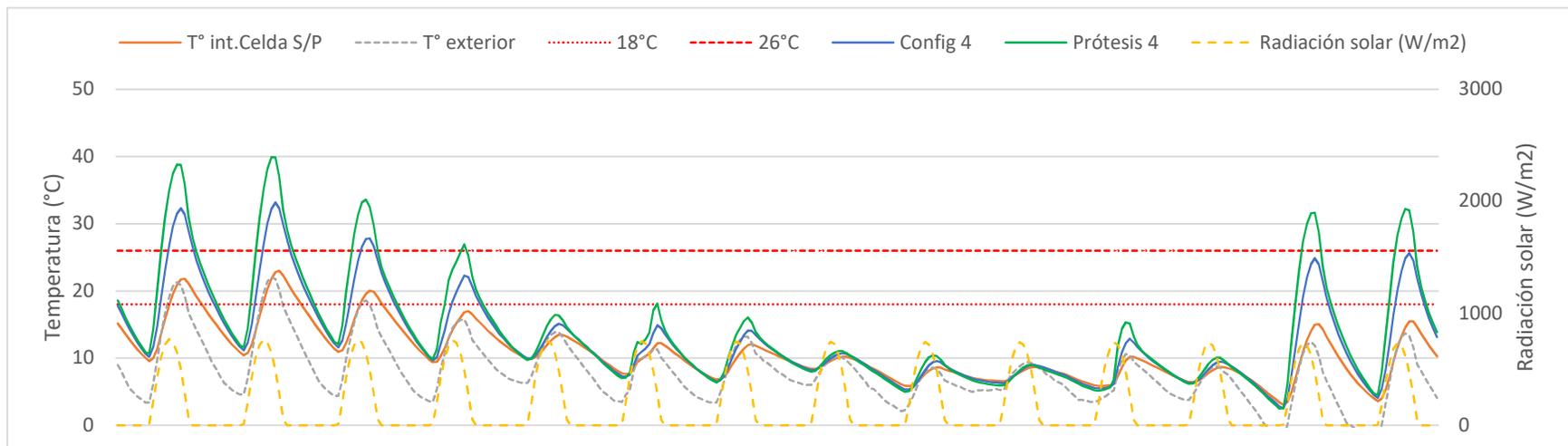


Gráfico 86. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 4. Semanas 22 y 23. Pudahuel.

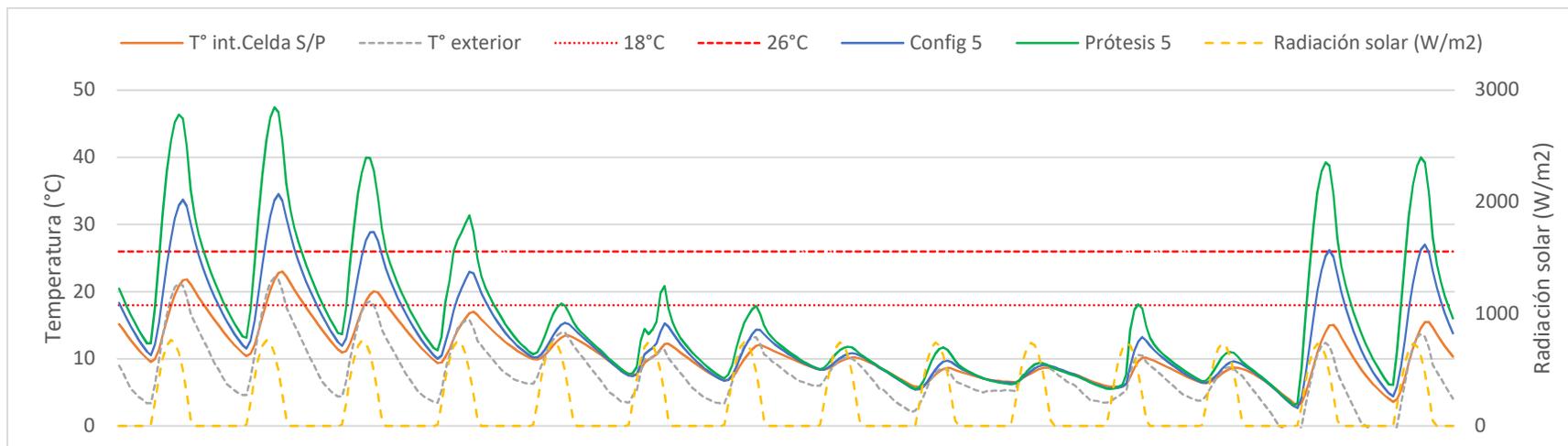


Gráfico 87. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 5. Semanas 22 y 23. Pudahuel.

Demanda de Enfriamiento

Según la **Tabla 60 y los Gráficos 128 al 135** es difícil poder identificar alguna estrategia que genere mejoras notables, ya que ninguna logra enfriar lo suficiente como para sumar lecturas bajo el límite de los 18°C, sin embargo y comparado con los resultados de la Celda S/P, la Configuración 8 es la que presenta mejoras aumentando las lecturas dentro del rango en un 10% y disminuyendo las lecturas sobre el límite de los 26°C en un 10% también (ver **Gráfico 95**).

Todas las demás configuraciones, por separada, aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C, produciendo sobrecalentamiento. Esto nos hace suponer que la prótesis no funcionaría para verano con la configuración presentada, debiendo considerar mejoras mayores que incluyan modificaciones de funciones, tal vez como una chimenea solar o simplemente un sombreadero para la estación de verano en Pudahuel.

Tabla 60. Demanda de enfriamiento para el periodo de verano. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 4 y 5. Pudahuel.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	0%	65,77%	34,22%
Config. 0	0%	49,40%	50,59%
Config. 1	0%	61,30%	38,69%
Config. 2	0%	59,82%	40,17%
Config. 3	0%	49,40%	50,59%
Config. 4	0%	47,91%	52,08%
Config. 5	0%	49,10%	50,89%
Config. 6	0%	55,05%	44,94%
Config. 7	0%	43,15%	56,84%
Config. 8	0%	75,29%	24,70%

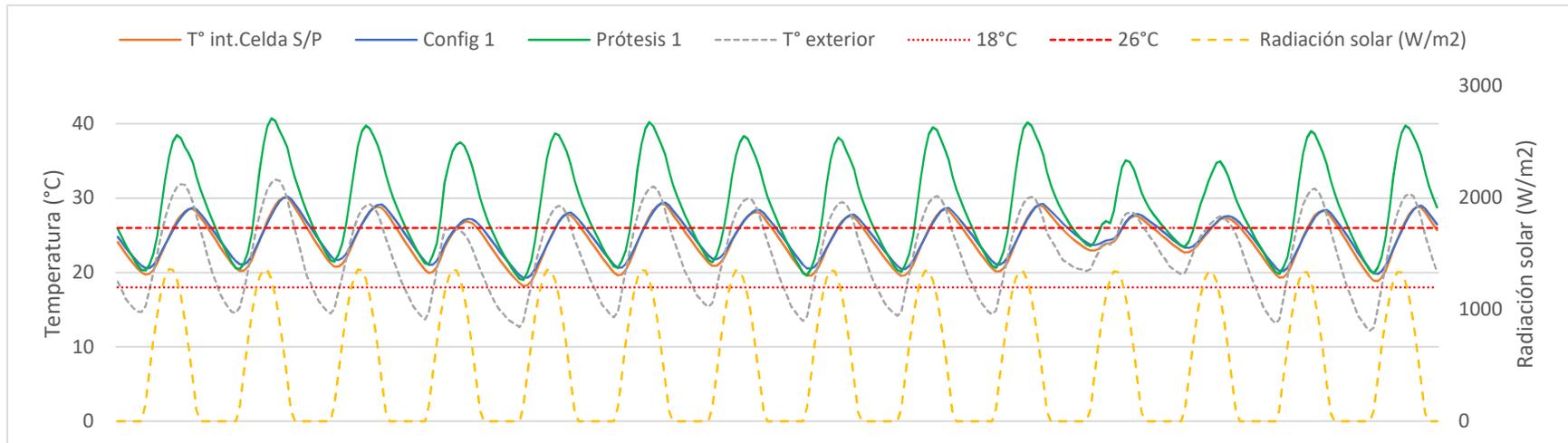


Gráfico 88. Demanda de Enfriamiento; Configuración 1. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

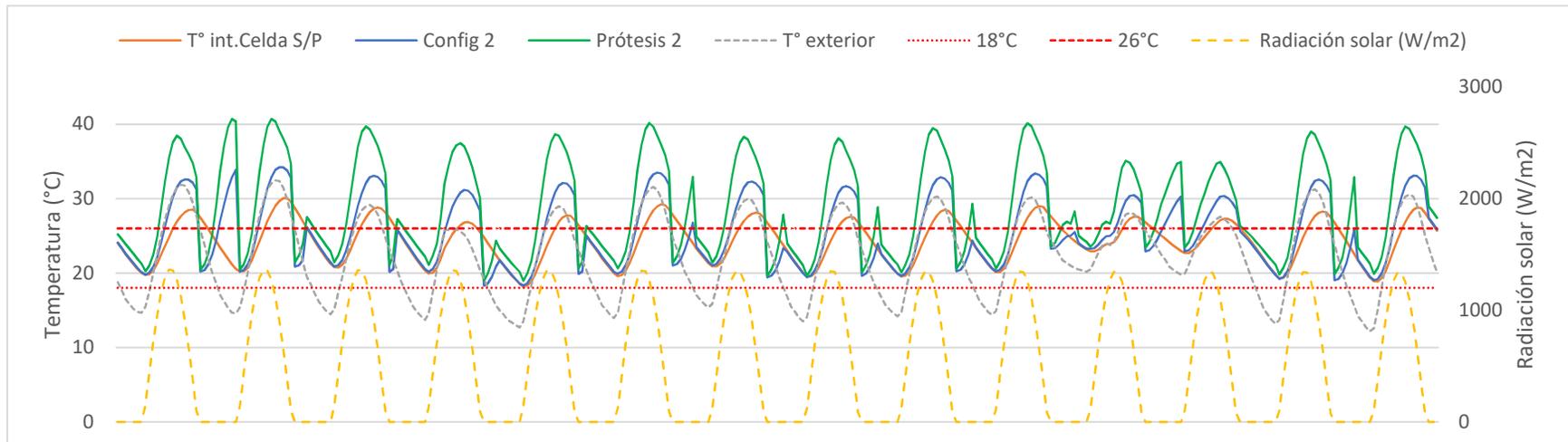


Gráfico 89. Demanda de Enfriamiento; Configuración 2. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

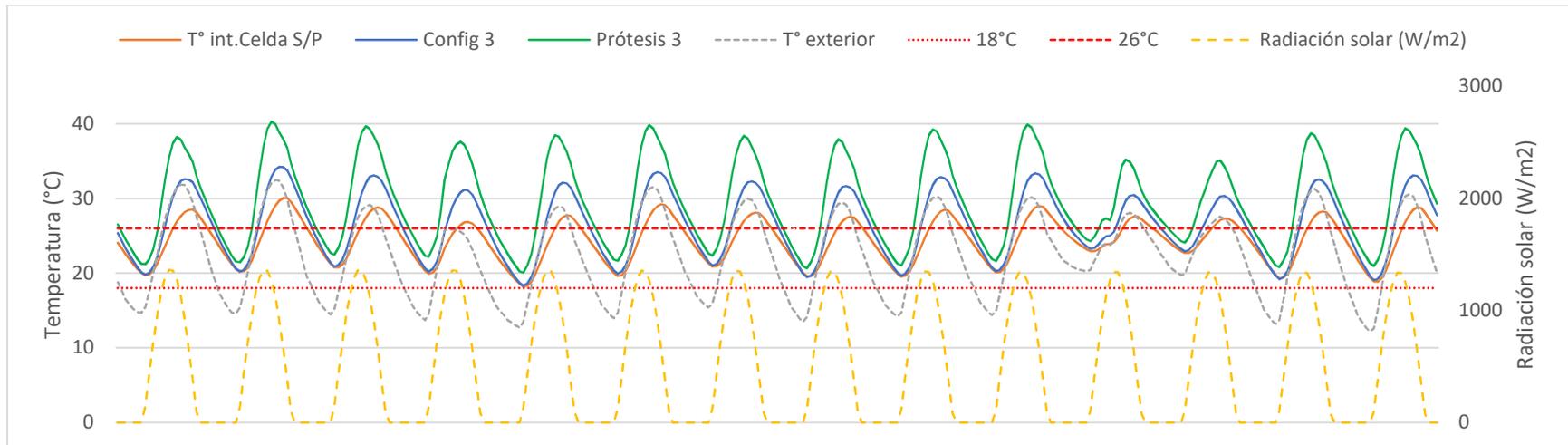


Gráfico 90. Demanda de Enfriamiento; Configuración 3. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

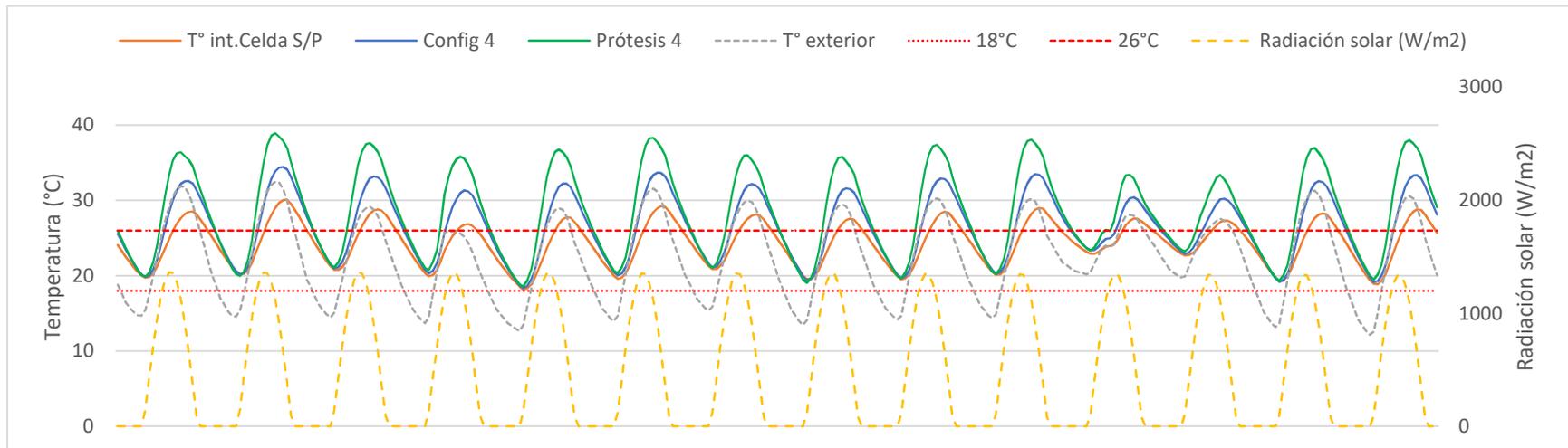


Gráfico 91. Demanda de Enfriamiento; Configuración 4. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

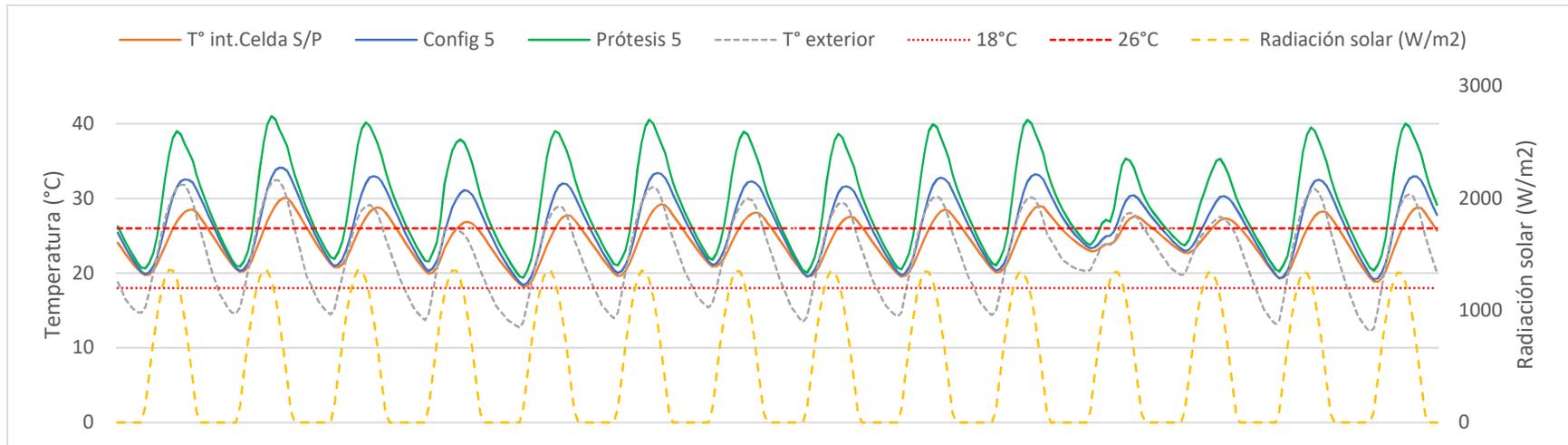


Gráfico 92. Demanda de Enfriamiento; Configuración 5. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

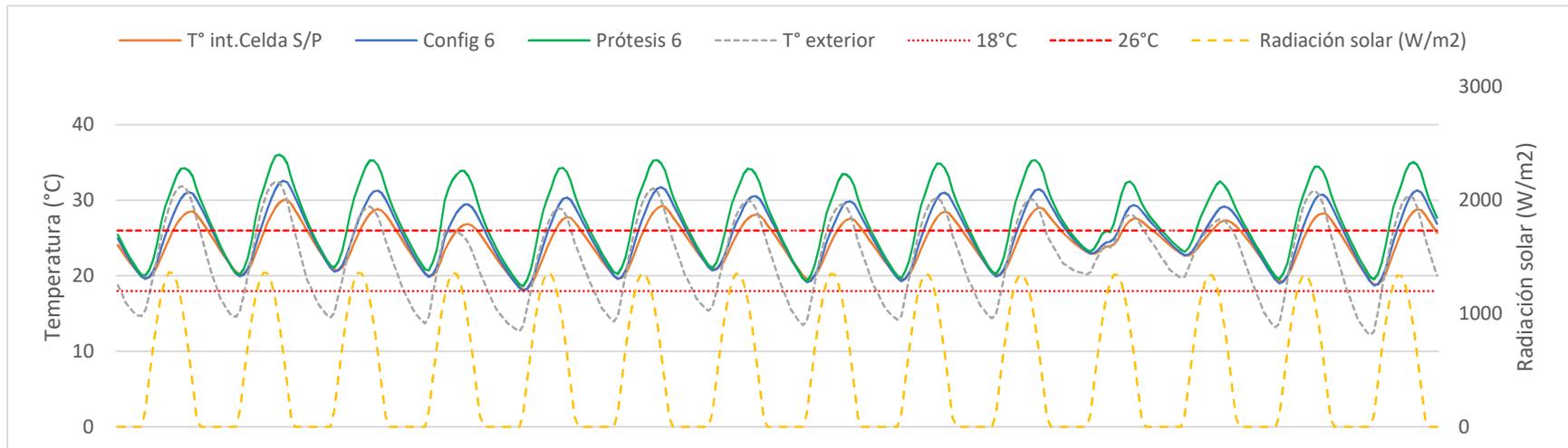


Gráfico 93. Demanda de Enfriamiento; Configuración 6. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

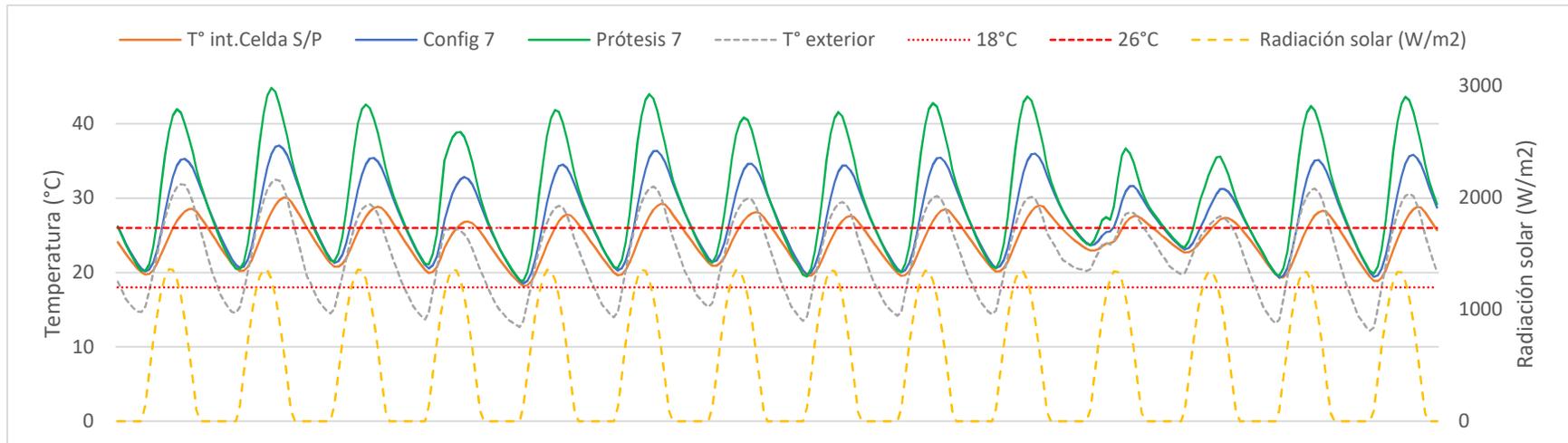


Gráfico 94. Demanda de Enfriamiento; Configuración 7. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

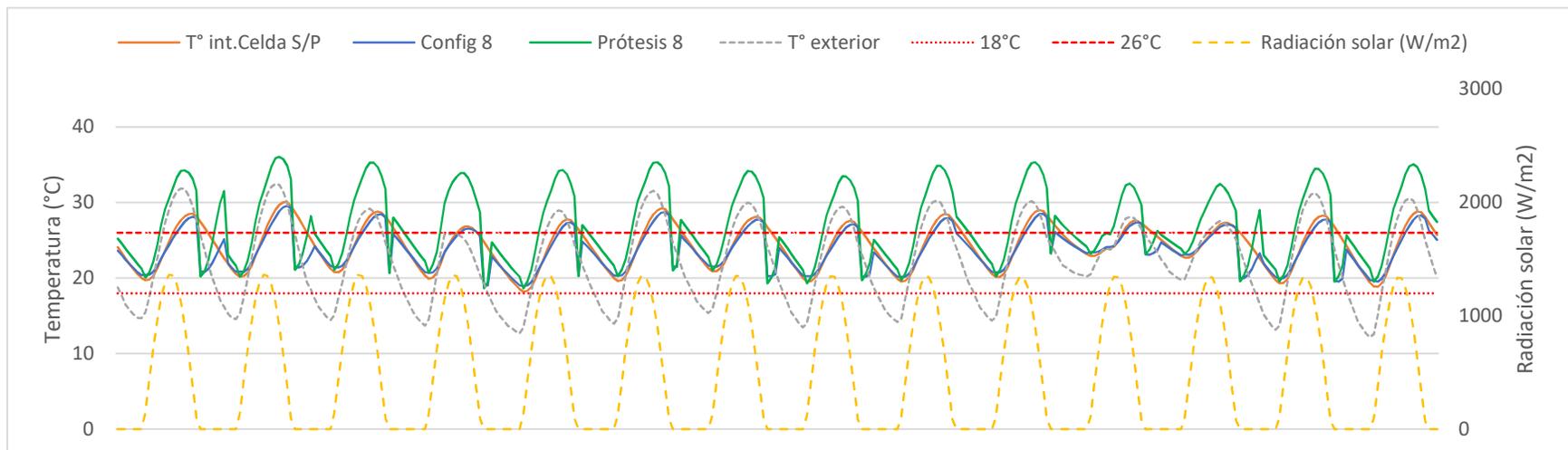


Gráfico 95. Demanda de Enfriamiento; Configuración 8. Semanas 4 y 5. Pudahuel.

4.9.4 Consumo energético Clima Central Interior; Pudahuel.

Consumo energético anual

Como se observa en la **Tabla 61**, la Configuración 1 es la única que representan un ahorro energético anual para la demanda de calefacción además de cumplir con producir un ahorro energético de al menos el 10% (ver **Gráfico 136**).

Tabla 61. Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5+8. Pudahuel.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	8
Consumo Calefacción (Kw)	1282,5	1377,1	1100,7	1371,2	1377,1	1485,7	1339,5	1325,6
Ahorro energético (%)	0	-7,3	14,1	-6,29	-7,3	-15,8	-4,4	-3,3

Según la **Tabla 62**, la Configuración 8 es la única que representan un ahorro energético anual para la demanda de enfriamiento y además cumple con producir un ahorro energético de al menos un 10% (ver **Gráfico 136**).

Tabla 62. Consumo de enfriamiento para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Pudahuel.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Consumo Enfriamiento (Kw)	60,6	750,8	75,1	746,81	750,8	725,1	745,2	316,7	1099,8	35,4
Ahorro energético (%)	0	-1138,6	-23,8	-1131,9	-1138,6	-1096,1	-1129,2	-422,5	-1714,3	41,6

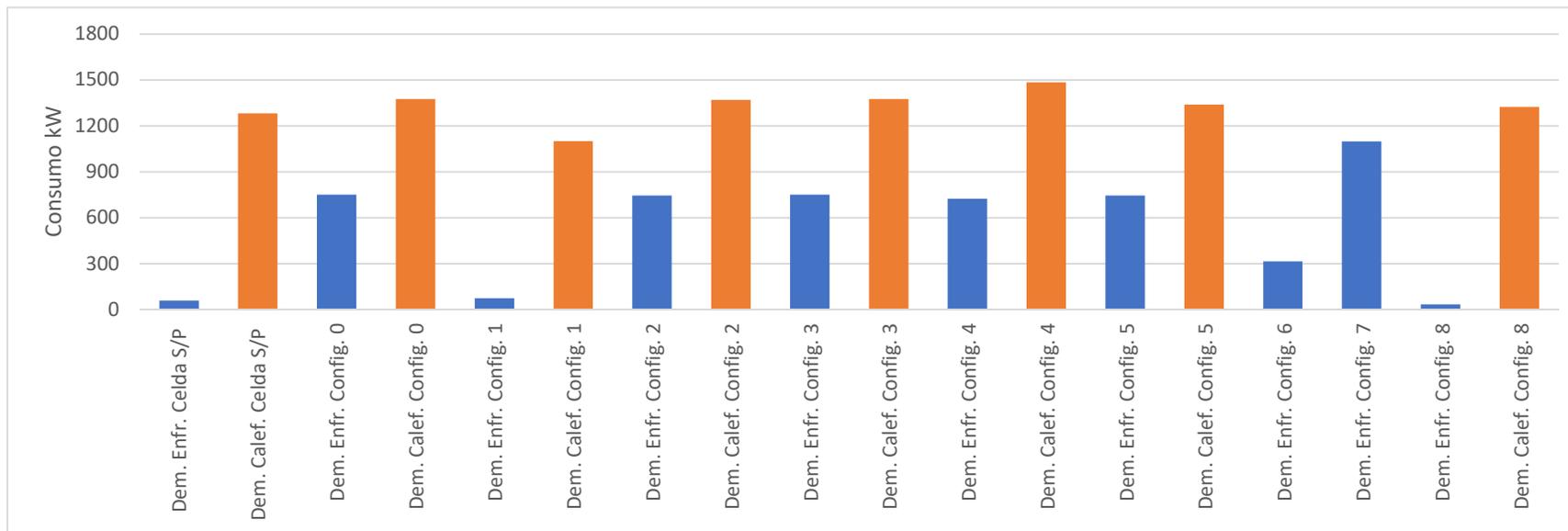


Gráfico 96. Consumo de enfriamiento y demanda de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración del 0 al 8 comparadas. Pudahuel.

Consumo energético mensual

Según la **Tabla 63**, se pueden observar el ahorro energético mensual para la demanda de calefacción. Respecto a la Config.1, se observa que presenta un ahorro sostenido durante todo el año (ver **Gráficos 137 al 146**).

Tabla 63. Consumo de calefacción mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5 + 8. Pudahuel.

mes	Celda S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 8	
	Dem. Calef. Celda S/P	Dem. Calef. Config. 0	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 1	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 2	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 3	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 4	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 5	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 8	% Ahorro
ene	2,0	3,4	-68,7	0,4	78,2	3,0	-49,9	3,4	-68,7	3,3	-65,1	3,0	-49,8	0,7	65,3
feb	3,9	5,3	-34,5	1,1	72,7	4,9	-25,9	5,3	-34,5	5,2	-34,5	4,7	-21,6	2,3	40,7
mar	19,0	22,9	-21,0	9,3	51,1	21,5	-13,3	22,9	-21,0	23,4	-23,6	21,7	-14,3	16,1	15,3
abr	85,4	90,0	-5,3	64,2	24,9	93,2	-9,1	90,0	-5,3	96,1	-12,6	87,0	-1,9	89,1	-4,3
may	186,7	200,3	-7,3	162,5	13,0	202,5	-8,5	200,3	-7,3	217,1	-16,3	195,2	-4,6	196,8	-5,4
jun	246,5	275,3	-11,7	227,6	7,7	267,7	-8,6	275,3	-11,7	299,6	-21,5	269,2	-9,2	256,9	-4,2
jul	262,5	284,2	-8,3	238,2	9,3	276,7	-5,4	284,2	-8,3	309,9	-18,1	277,6	-5,8	274,1	-4,4
ago	204,8	214,5	-4,8	180,7	11,8	217,0	-6,0	214,5	-4,8	233,3	-13,9	209,1	-2,1	216,4	-5,7
sept	147,5	151,2	-2,5	126,1	14,5	154,1	-4,5	151,2	-2,5	162,9	-10,4	147,1	0,3	155,8	-5,6
oct	77,5	78,7	-1,6	60,3	22,2	81,4	-5,1	78,7	-1,6	82,7	-6,8	76,2	1,6	78,3	-1,1
nov	38,9	41,7	-7,3	26,7	31,4	40,4	-3,9	41,7	-7,3	42,8	-10,0	40,0	-2,8	34,1	12,4
dic	7,9	9,5	-20,4	3,8	51,7	8,9	-12,2	9,5	-20,4	9,4	-18,7	8,8	-11,4	5,1	35,3
Total	1282,5	1377,0	-193,4	1100,8	388,5	1371,3	-152,3	1377,0	-193,4	1485,7	-251,5	1339,6	-121,5	1325,7	138,2

Como se observa en la **Tabla 64**, la Config.8 es la que presenta mejores resultados respecto al ahorro energético para la demanda de enfriamiento, excepto el periodo de mayo a agosto en que no es posible determinar (ver **Gráficos 137 al 146**).

Tabla 64. Consumo de enfriamiento mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Pudahuel.

mes	Celda S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 6		Config. 7		Config. 8	
	Dem. Enf. Celda S/P	Dem. Enf. Config. 0	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 1	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 2	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 3	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 4	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 5	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 6	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 7	% Ahorro	Dem. Enf. Config. 8	% Ahorro
ene	18,6	98,9	-431,0	22,5	-20,7	97,6	-424,1	98,9	-431,0	108,9	-484,8	96,4	-417,7	65,7	-252,7	153,2	-722,3	14,9	20,1
feb	17,2	109,2	-533,5	20,5	-19,2	108,4	-528,9	109,2	-533,5	113,9	-560,7	107,5	-523,6	51,9	-201,3	157,0	-810,9	8,9	48,6
mar	13,2	142,5	-977,3	17,7	-34,0	141,2	-967,3	142,5	-977,3	138,8	-949,5	141,7	-971,1	56,4	-326,3	185,7	-1303,7	4,4	66,5
abr	3,0	83,4	-2646,6	4,0	-30,8	83,2	-2642,2	83,4	-2646,6	75,4	-2382,9	83,5	-2652,0	29,8	-881,3	107,1	-3429,5	0,1	97,8
may	0,0	45,9	-	0,0	-	45,9	-	45,9	-	37,4	-	46,5	-	17,5	-	57,6	-	0,0	-
jun	0,0	35,3	-	0,0	-	35,3	-	35,3	-	27,4	-	36,0	-	12,9	-	44,4	-	0,0	-
jul	0,0	39,6	-	0,0	-	39,6	-	39,6	-	32,4	-	40,3	-	15,4	-	49,3	-	0,0	-
ago	0,0	30,7	-	0,0	-	30,7	-	30,7	-	24,0	-	31,3	-	6,4	-	42,8	-	0,0	-
sept	0,1	36,7	-35631,1	0,2	-52,9	36,7	-35631,1	36,7	-35631,1	30,7	-29751,3	37,0	-35861,9	5,5	-5281,8	55,8	-54197,3	0,0	100,0
oct	0,1	36,9	-25421,6	0,1	21,0	36,9	-25416,9	36,9	-25421,6	33,6	-23133,5	36,6	-25192,7	4,0	-2658,4	67,4	-46519,2	0,0	100,0
nov	0,5	31,6	-6865,7	0,5	-3,8	31,6	-6856,2	31,6	-6865,7	34,2	-7436,0	30,4	-6593,9	11,2	-2361,0	71,3	-15613,2	0,2	46,6
dic	7,8	60,2	-672,4	9,6	-23,4	59,7	-665,9	60,2	-672,4	68,2	-775,5	58,0	-645,3	40,1	-415,0	108,2	-1288,6	6,9	11,2
Total	60,6	750,9	-73179,2	75,1	-163,8	746,8	-73132,5	750,9	-73179,2	725,0	-65474,2	745,2	-72858,2	316,8	-12377,8	1099,9	-123884,7	35,4	490,8

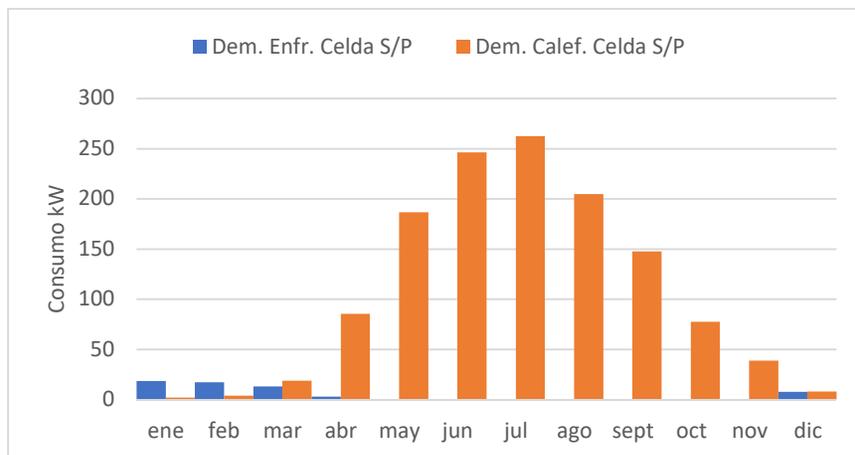


Gráfico 97. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda S/P. PU.

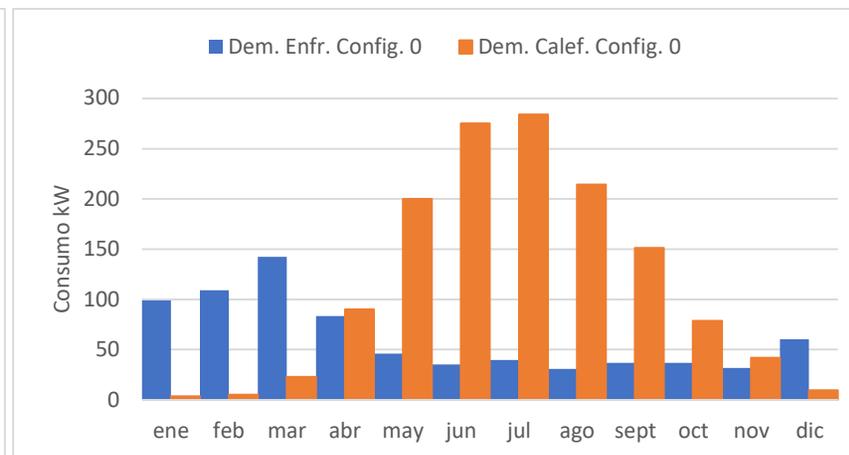


Gráfico 98. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 0. PU.

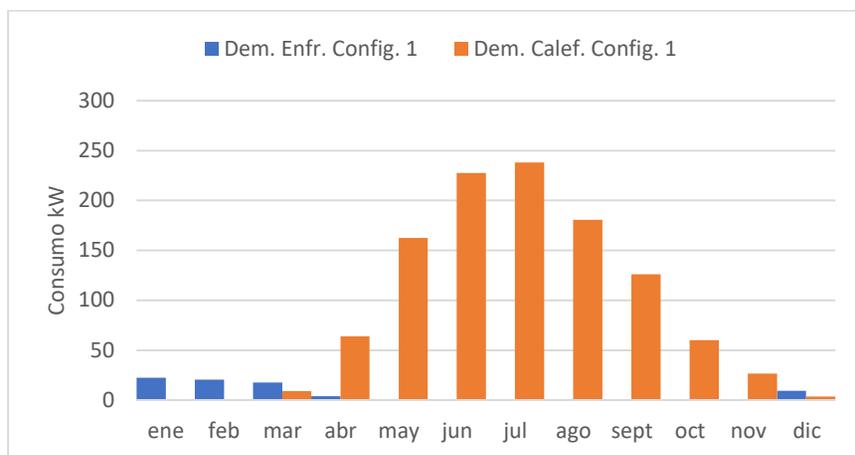


Gráfico 99. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config 1. PU.

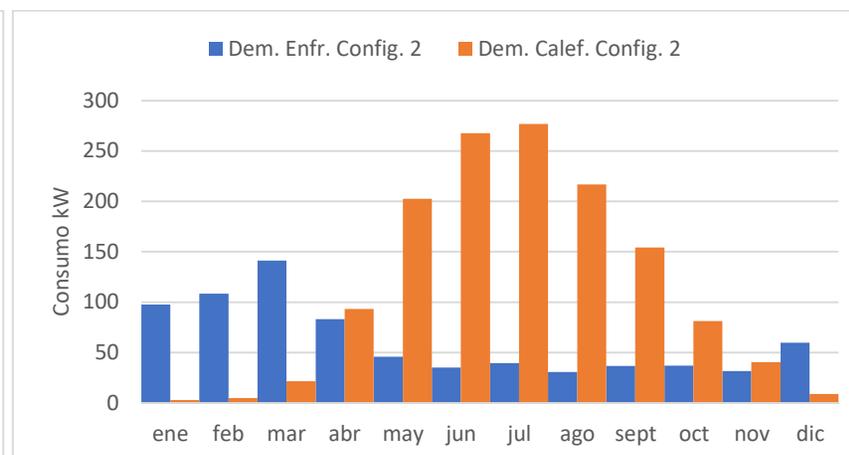


Gráfico 100. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 2. PU.

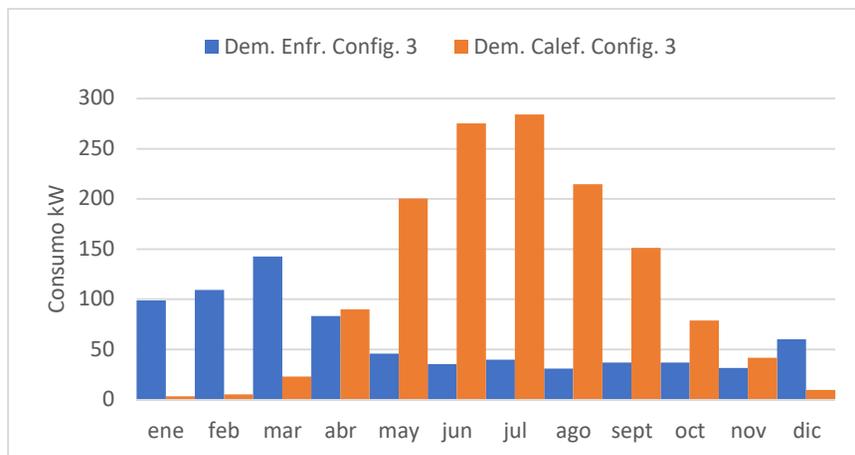


Gráfico 101. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config 3. PU.

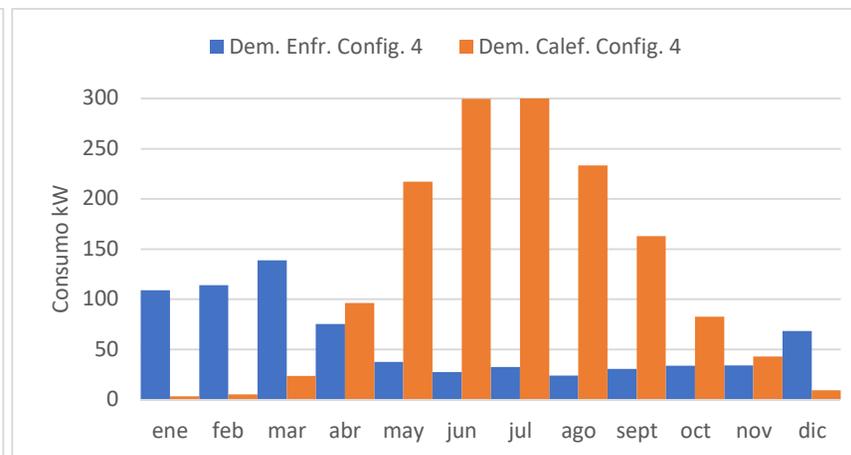


Gráfico 102. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 4. PU.

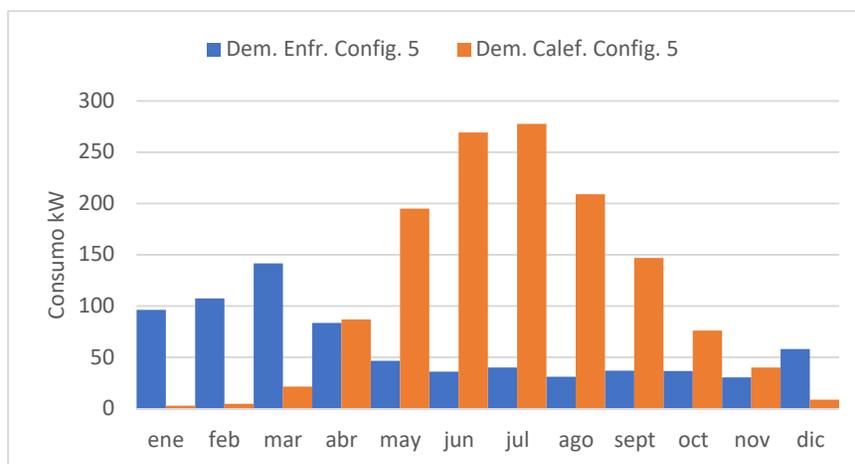


Gráfico 103. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config 5. PU.

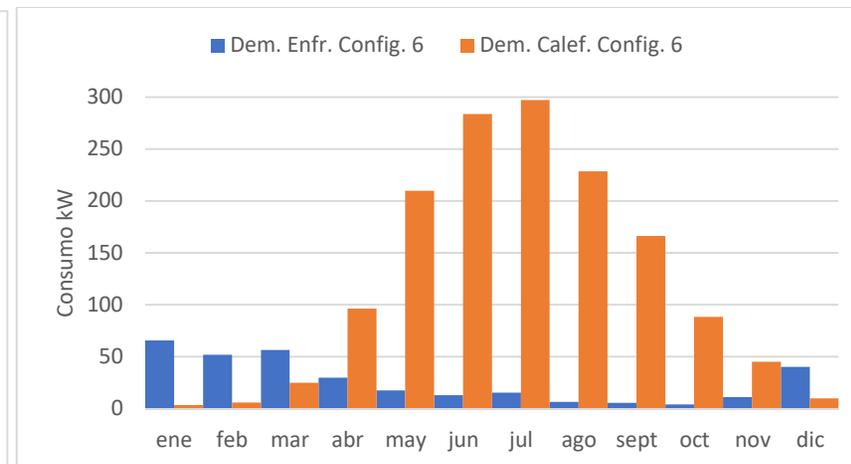


Gráfico 104. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 6. PU.

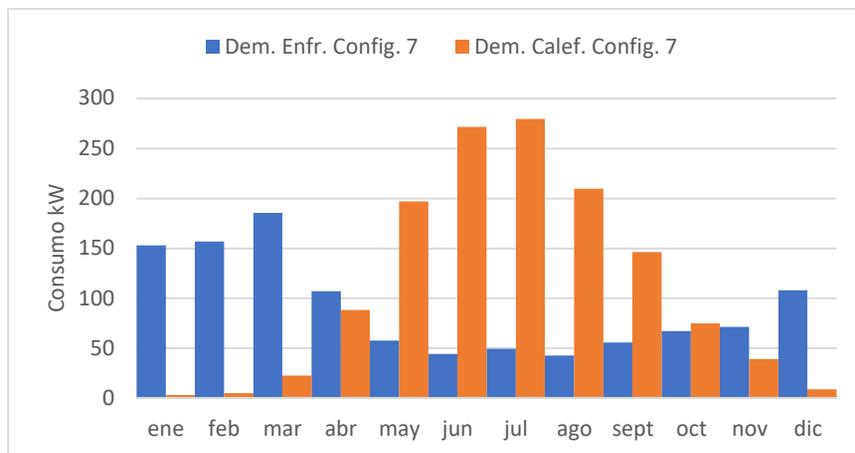


Gráfico 105. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config 7. PU.

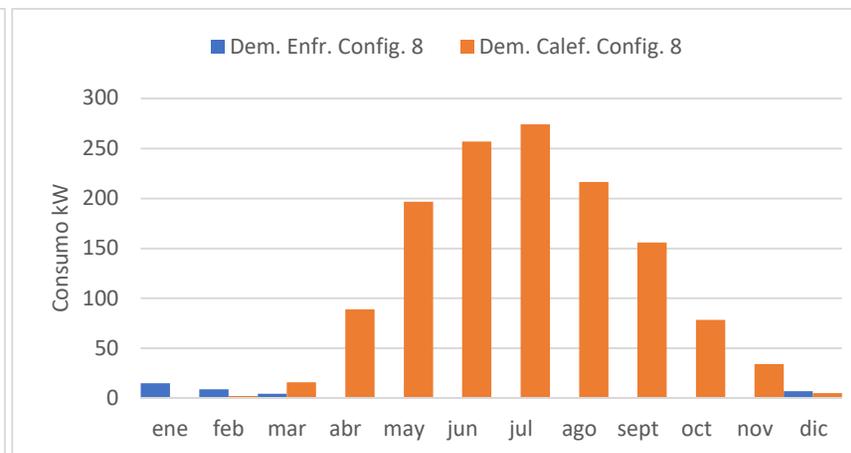


Gráfico 106. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 8. PU.

4.9.5 Mejoras Clima Sur Extremo; Punta Arenas.

Para realizar las mejoras de la Prótesis en este clima, se analizó el comportamiento de la Configuración 0 y basados en las características de esta zona climática, se opta por analizar tres periodos para evaluar solo demanda de calefacción en invierno, otoño y verano. No se establece considerar demanda de enfriamiento en verano debido a que las temperaturas exteriores son sobrepasan el rango de confort determinado, por lo que no aplica enfriar. Los periodos semanales de análisis son 22 – 23, 12 – 13 y 4 – 5, respectivamente.

Demanda de Calefacción invierno.

Según la **Tabla 65, y los Gráficos 147 al 151** se observa que ninguna configuración permite aumentar la temperatura al interior de la Celda para lograr el rango de confort definido a pesar de que la Prótesis eleva su temperatura interior (ver Gráficos **147 al 151**). Esto sugiere una mejora no tan solo de la prótesis, sino que de la transmisión del calor captado por la prótesis y también una mejora en la aislación de la Celda, lo que no es objeto de este estudio. Es por esta razón que se propone analizar un periodo otoñal.

Tabla 65. Demanda de Calefacción para el periodo de invierno. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 22 y 23. Punta Arenas.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	100%	0%	0%
Config. 0	100%	0%	0%
Config. 1	100%	0%	0%
Config. 2	100%	0%	0%
Config. 3	100%	0%	0%
Config. 4	100%	0%	0%
Config. 5	100%	0%	0%

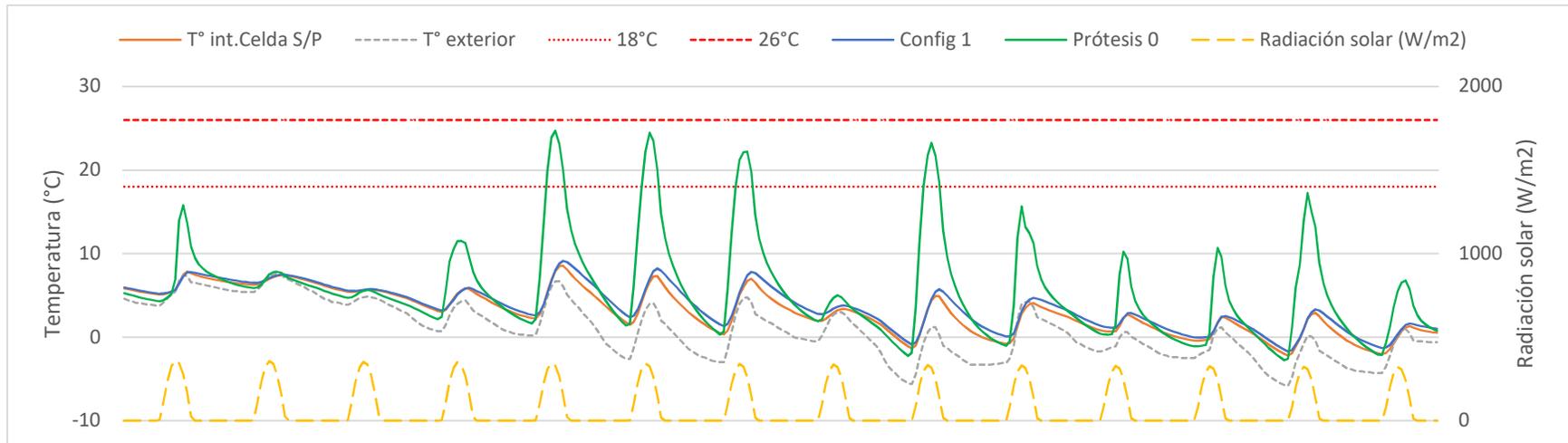


Gráfico 107. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 1. Semanas 22 y 23. Punta Arenas.

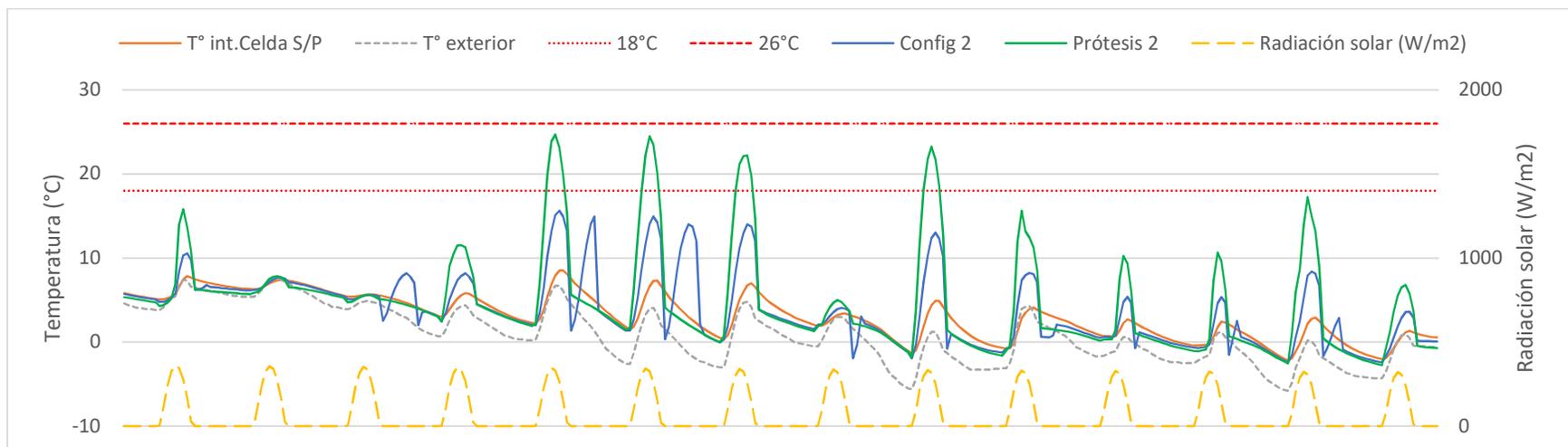


Gráfico 108. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 2. Semanas 22 y 23. Punta Arenas.

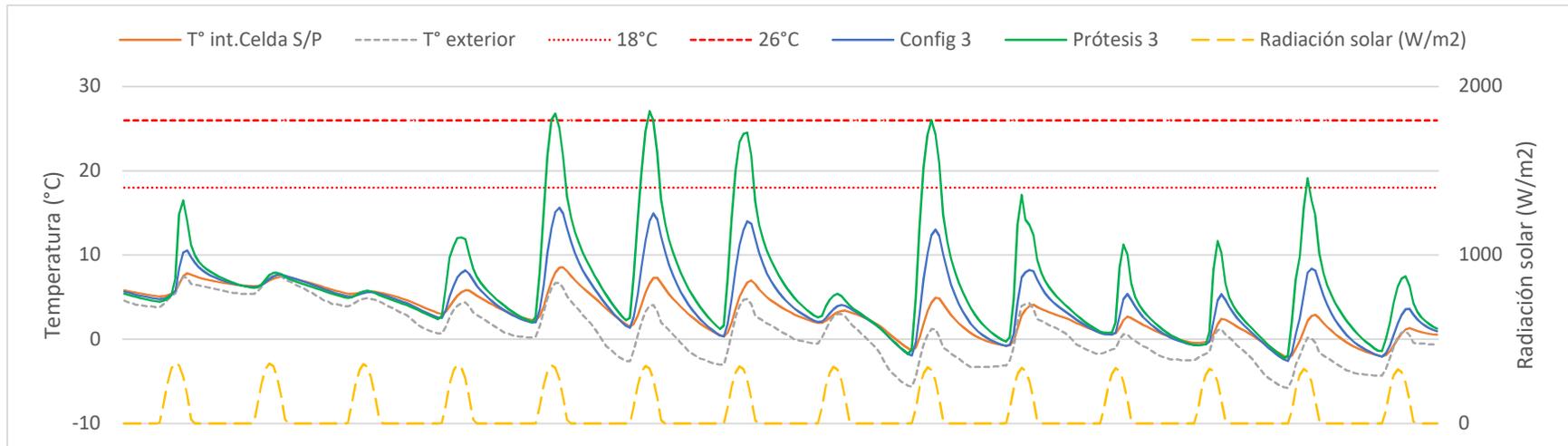


Gráfico 109. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 3. Semanas 22 y 23. Punta Arenas.

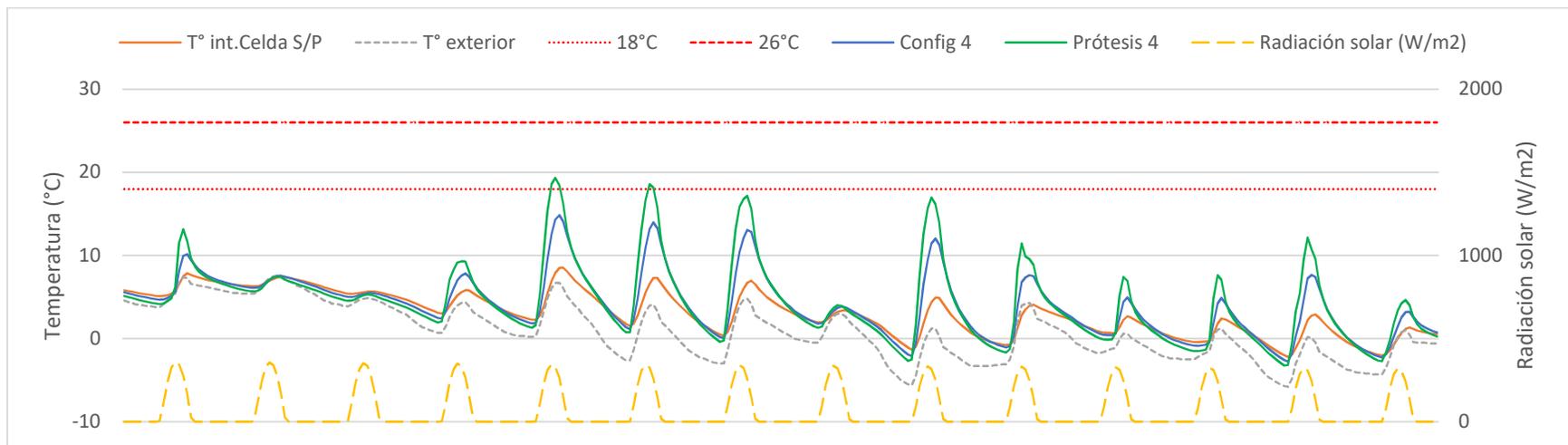


Gráfico 110. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 4. Semanas 22 y 23. Punta Arenas.

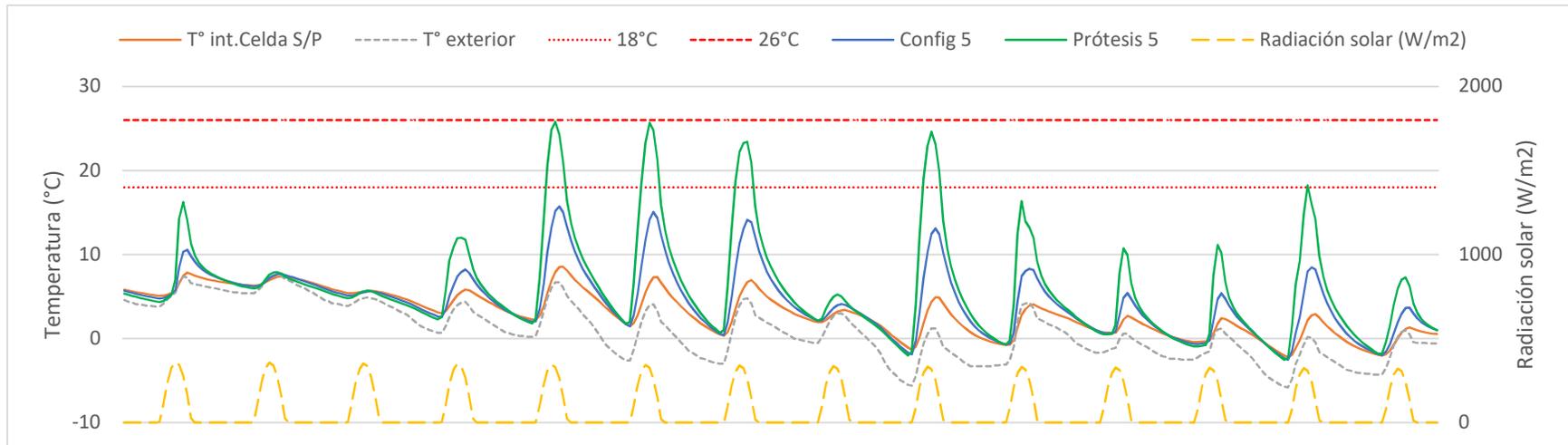


Gráfico 111. Demanda de Calefacción Invierno; Configuración 5. Semanas 22 y 23. Punta Arenas.

Demanda de Calefacción otoño.

Según la **Tabla 66**, y los **Gráficos 152 al 156** se puede observar que todas las configuraciones producen aumentos de las lecturas de temperatura dentro del rango de confort establecido, sobre todo las configuraciones 0,2,3,4 y 5 que producen alzas sobre un 10%. No obstante, es evidente la tendencia al frío a pesar de que la Prótesis muestra temperaturas mayores. Estos puntos confirman que es necesario aplicar mejoras en el traspaso de calor entre Prótesis y Celda y mejorar la aislación térmica de la Celda, razones que no son parte de este estudio. Los mejores resultados son los presentados en la Config.5 (ver **Gráfico 156**).

Tabla 66. Demanda de Calefacción para el periodo de otoño. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 12 y 13. Punta Arenas.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	98,51%	1,48%	0%
Config. 0	83,03%	14,20%	2,67%
Config. 1	96,72%	3,27%	0%
Config. 2	84,52%	12,79%	2,79%
Config. 3	83,03%	14,28%	2,67%
Config. 4	84,52%	13,09%	2,38%
Config. 5	82,44%	14,88%	2,67%

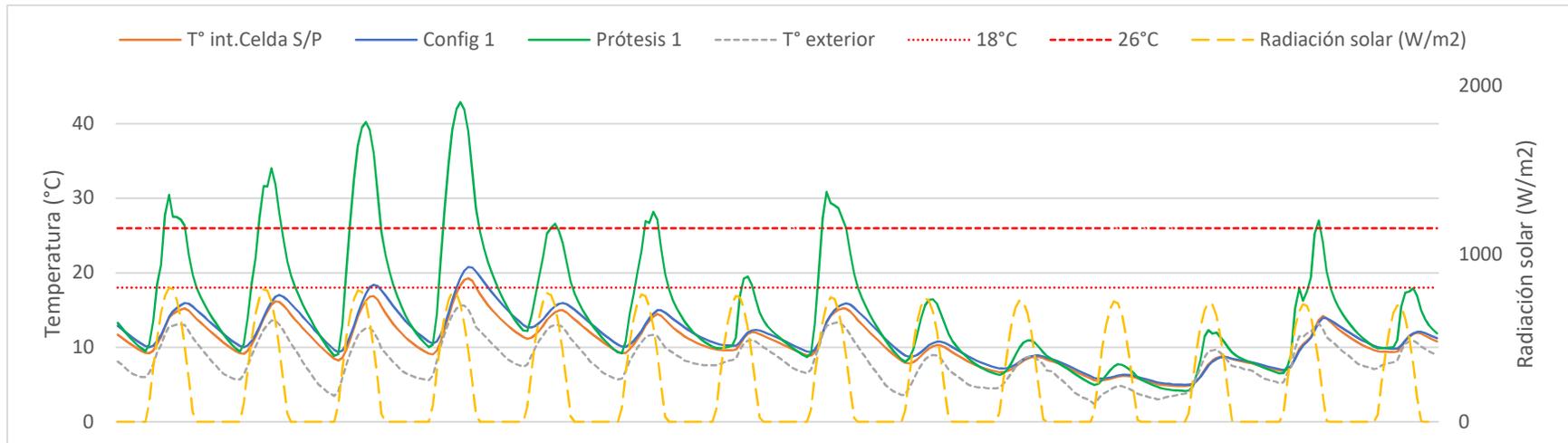


Gráfico 112. Demanda de Calefacción Otoño; Configuración 1. Semanas 12 y 13. Punta Arenas.

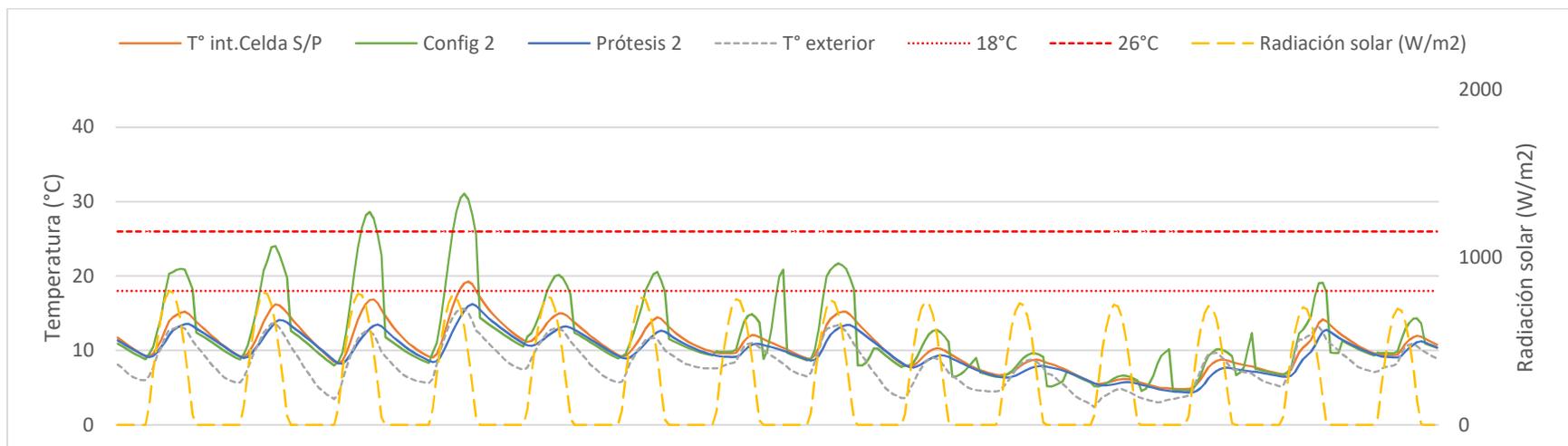


Gráfico 113. Demanda de Calefacción Otoño; Configuración 2. Semanas 12 y 13. Punta Arenas.

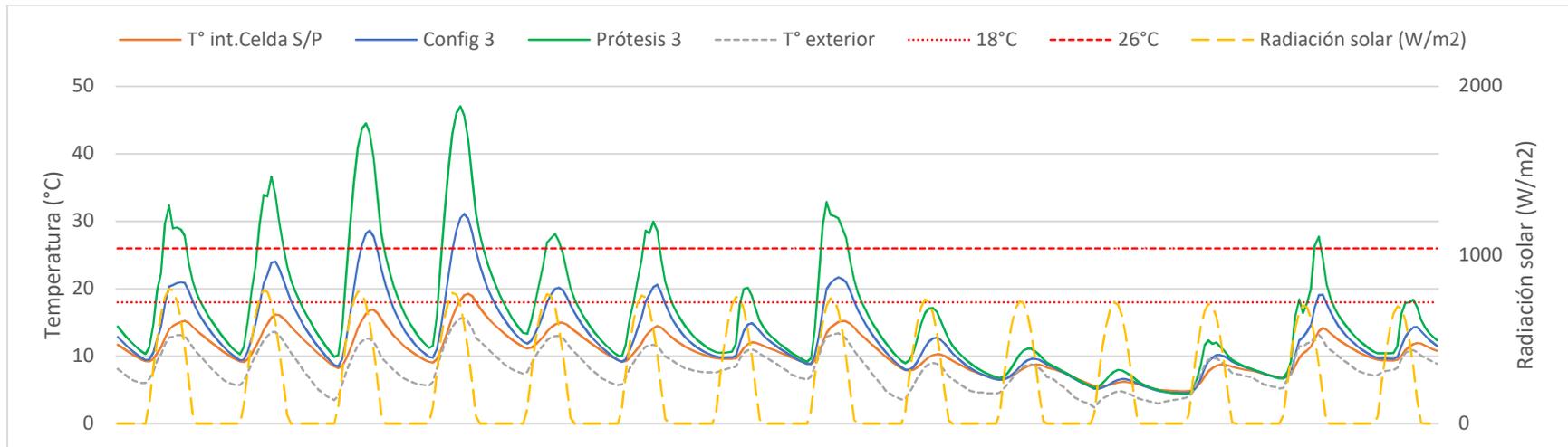


Gráfico 114. Demanda de Calefacción Otoño; Configuración 3. Semanas 12 y 13. Punta Arenas.

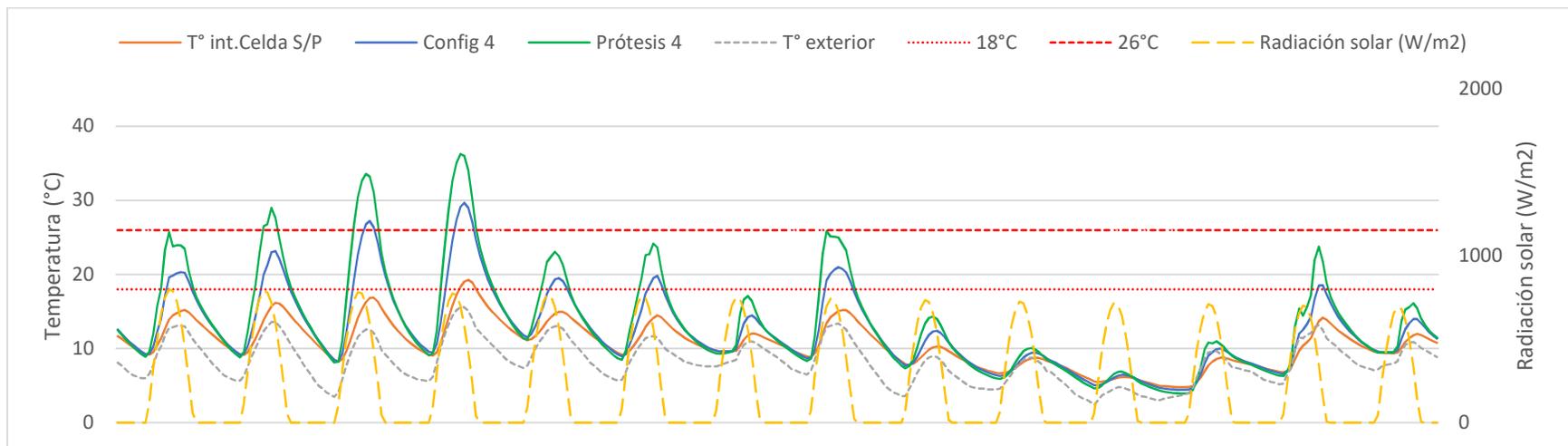


Gráfico 115. Demanda de Calefacción Otoño; Configuración 4. Semanas 12 y 13. Punta Arenas.



Gráfico 116. Demanda de Calefacción Otoño; Configuración 5. Semanas 12 y 13. Punta Arenas.

Demanda de Calefacción verano.

Según la **Tabla 67 y los Gráficos 157 al 161** En este caso, se puede observar que todas las configuraciones producen aumentos de las lecturas de temperatura dentro del rango de confort establecido, sobre todo las configuraciones 0,3, 4 y 5 que producen alzas sobre un 20%. No obstante, es evidente la tendencia al frío debido a que muy pocas lecturas sobrepasan el límite de los 26°C, a pesar de que la prótesis muestra temperaturas mayores. Estos puntos confirman que es necesario aplicar mejoras en el traspaso de calor de la prótesis a la Celda y mejorar la aislación térmica de la celda, razones que no son parte de este estudio. Los mejores resultados son los presentados en la Config 3 (ver **Gráfico 159**).

Tabla 67. Demanda de Calefacción para el periodo de verano. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 4 y 5. Punta Arenas.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	95,53%	4,46%	0%
Config. 0	71,42%	26,19%	2,38%
Config. 1	92,55%	7,44%	0%
Config. 2	98,80%	1,19%	0%
Config. 3	71,42%	26,19%	2,38%
Config. 4	73,21%	25,29%	1,48%
Config. 5	71,42%	25,89%	2,67%

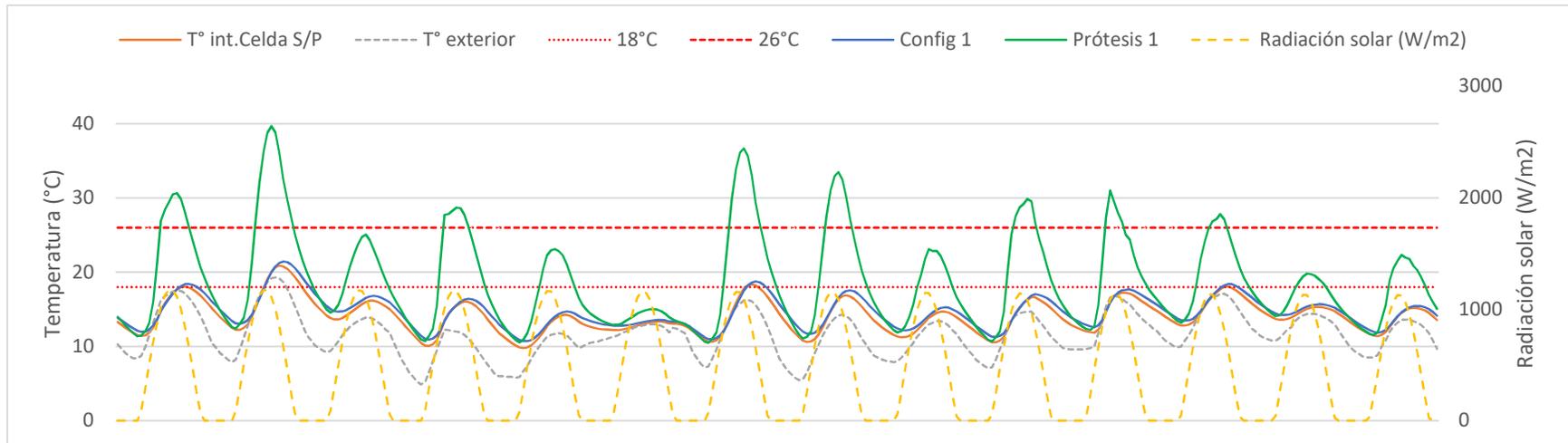


Gráfico 117. Demanda de Calefacción Verano; Configuración 1. Semanas 4 y 5. Punta Arenas.

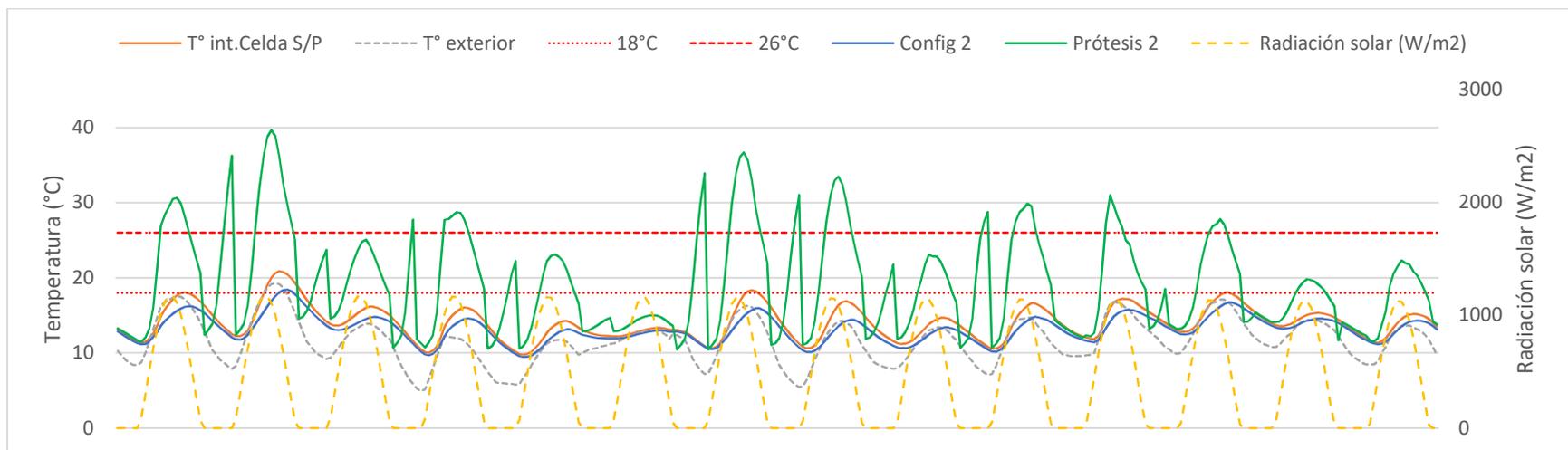


Gráfico 118. Demanda de Calefacción Verano; Configuración 2. Semanas 4 y 5. Punta Arenas.

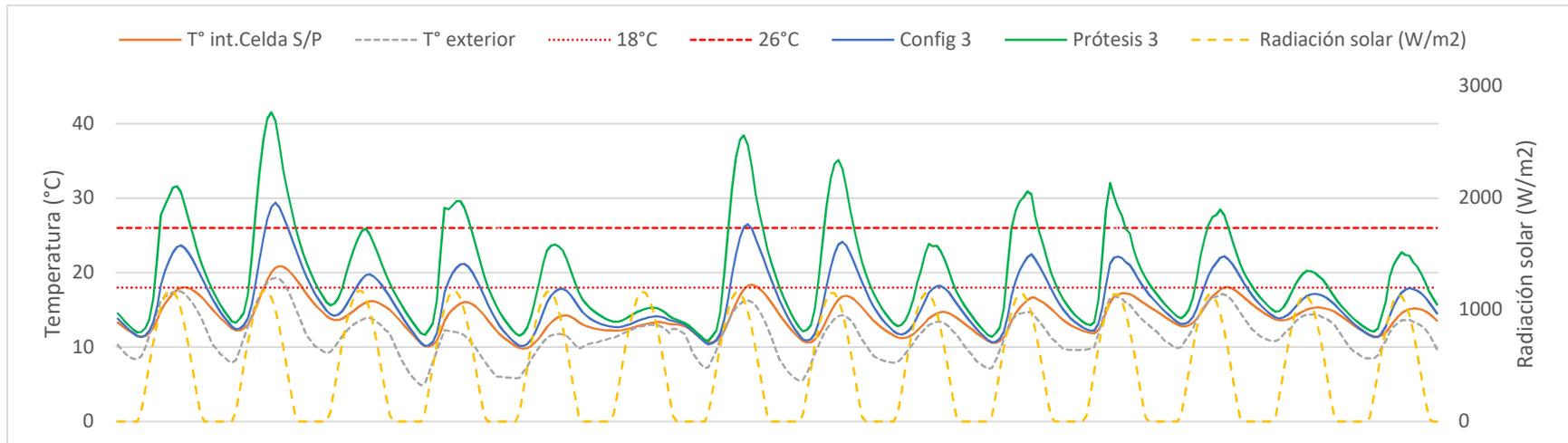


Gráfico 119. Demanda de Calefacción Verano; Configuración 3. Semanas 4 y 5. Punta Arenas.

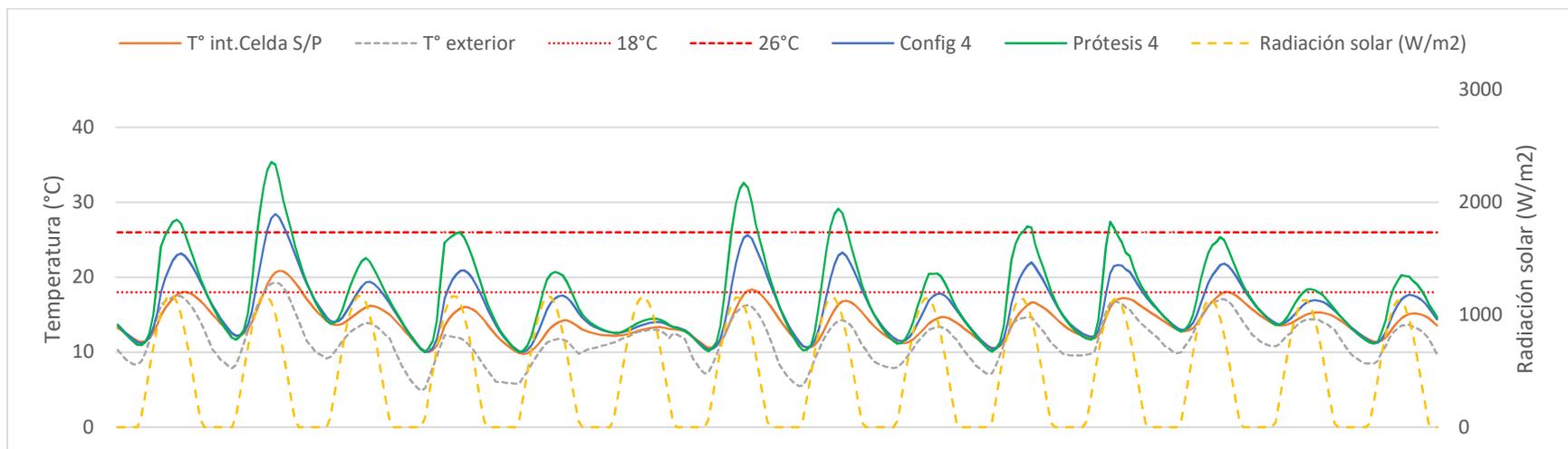


Gráfico 120. Demanda de Calefacción Verano; Configuración 4. Semanas 4 y 5. Punta Arenas.

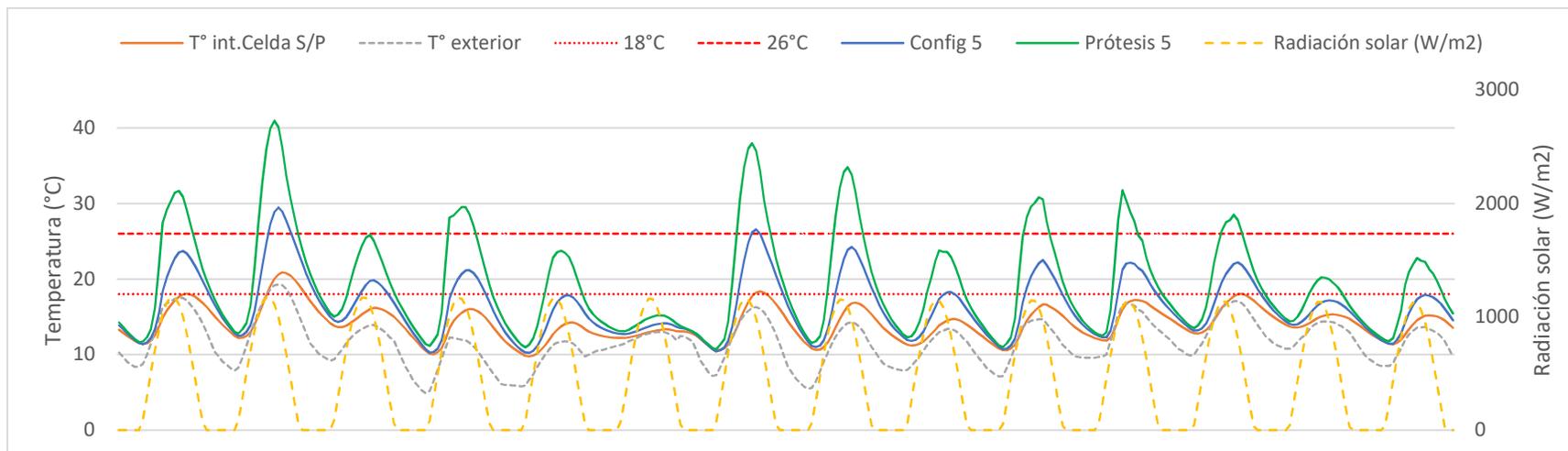


Gráfico 121. Demanda de Calefacción Verano; Configuración 5. Semanas 4 y 5. Punta Arenas.

4.9.6 Consumo energético Clima Sur Extremo; Punta Arenas.

Consumo energético anual

Como se observa en la **Tabla 68**, la Configuración 1 representan un ahorro energético anual para la demanda de calefacción, sin embargo, no cumple con el ahorro energético de al menos 10% (ver **Gráfico 162**).

Tabla 68. Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Punta Arenas.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5
Consumo Calefacción (Kw)	4025,1	4502,4	3777,2	4186,8	4502,4	4966,8	4396,3
Ahorro energético (%)	0	-11,8	6,15	-4,1	-11,85	-23,3	-9,22

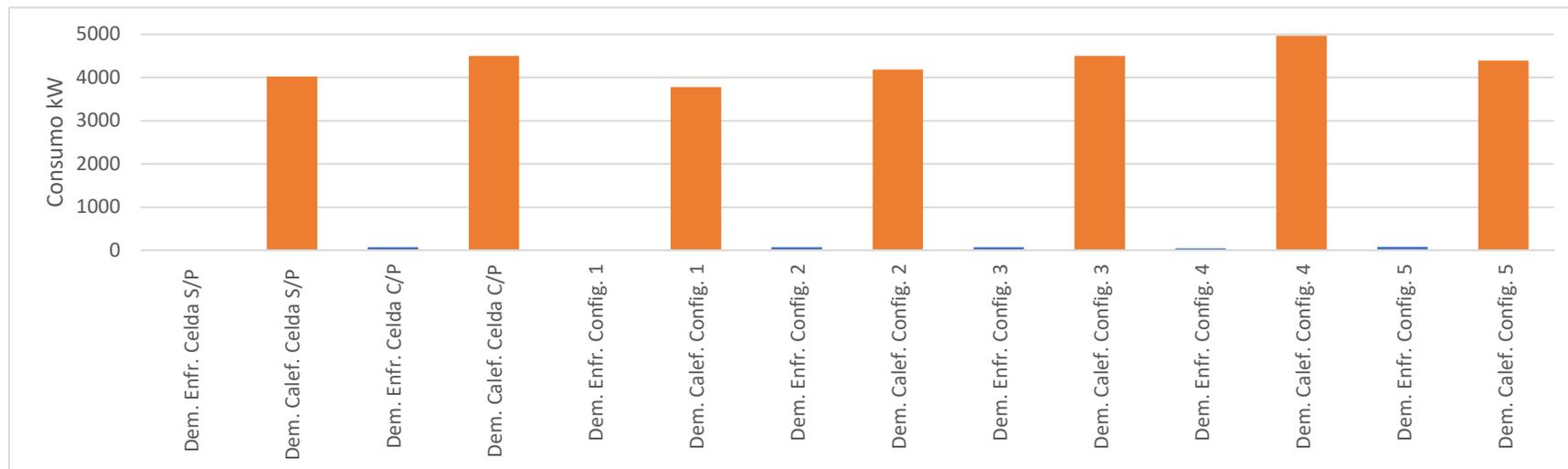


Gráfico 122. Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración del 0 al 5 comparadas. Punta Arenas.

Consumo energético mensual

Según la **Tabla 69**, se pueden observar el ahorro energético mensual para la demanda de calefacción. Respecto a la Config.1, se observa que presenta un ahorro sostenido durante todo el año (ver **Gráficos 163 al 172**).

Tabla 69. Consumo de calefacción mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5 + 8. Punta Arenas.

mes	Celda S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 8	
	Dem. Calef. Celda S/P	Dem. Calef. Config. 0	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 1	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 2	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 3	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 4	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 5	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 8	% Ahorro
ene	181,1	180,4	0,4	159,7	11,8	179,9	0,7	180,4	0,4	198,2	-9,4	175,3	3,2	195,0	-7,7
feb	166,8	171,1	-2,6	147,7	11,5	169,6	-1,7	171,1	-2,6	188,0	-12,7	166,5	0,2	178,6	-7,1
mar	244,2	258,6	-5,9	219,1	10,3	251,1	-2,8	258,6	-5,9	285,0	-16,7	252,0	-3,2	262,6	-7,6
abr	326,3	368,8	-13,0	304,9	6,6	348,2	-6,7	368,8	-13,0	407,4	-24,8	360,1	-10,4	343,6	-5,3
may	446,8	538,4	-20,5	433,5	3,0	488,5	-9,3	538,4	-20,5	592,3	-32,6	526,9	-17,9	461,5	-3,3
jun	517,6	619,6	-19,7	507,7	1,9	547,7	-5,8	619,6	-19,7	684,1	-32,2	606,4	-17,2	532,3	-2,8
jul	528,6	624,7	-18,2	513,7	2,8	559,6	-5,9	624,7	-18,2	690,2	-30,6	611,0	-15,6	546,0	-3,3
ago	470,6	537,1	-14,1	448,4	4,7	490,2	-4,2	537,1	-14,1	594,8	-26,4	524,8	-11,5	491,4	-4,4
sept	365,6	392,8	-7,4	337,1	7,8	369,0	-0,9	392,8	-7,4	435,3	-19,0	383,0	-4,7	389,6	-6,6
oct	313,7	329,6	-5,1	285,1	9,1	315,8	-0,7	329,6	-5,1	363,4	-15,8	321,3	-2,4	339,6	-8,3
nov	264,9	281,9	-6,4	243,0	8,3	270,8	-2,2	281,9	-6,4	309,6	-16,9	274,9	-3,8	282,7	-6,7
dic	199,0	199,6	-0,3	177,4	10,8	196,6	1,2	199,6	-0,3	218,5	-9,8	194,2	2,4	213,1	-7,1
Total	4025,1	4502,5	-11,9	3777,2	6,2	4186,8	-4,0	4502,5	-11,9	4966,8	-23,4	4396,3	-9,2	4236,1	-5,2

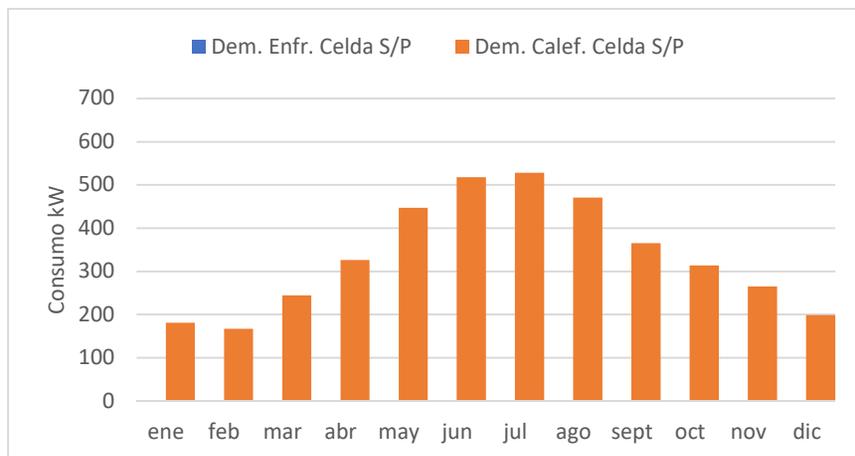


Gráfico 123. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda S/P. PA.

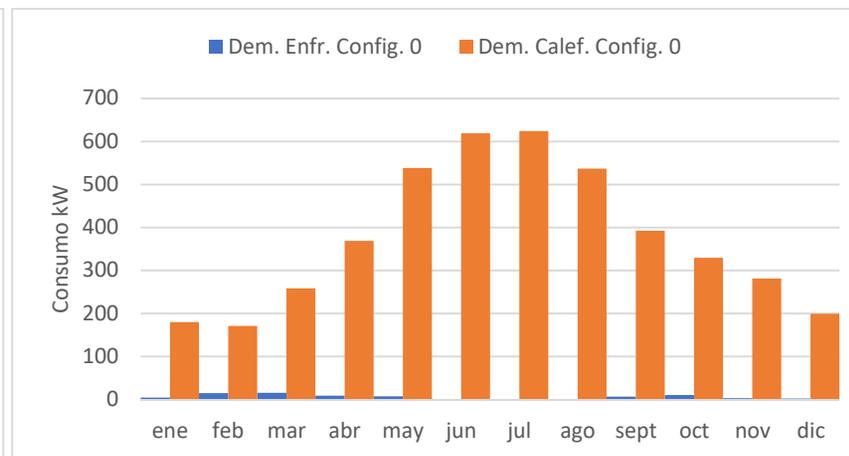


Gráfico 124. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 0. PA.

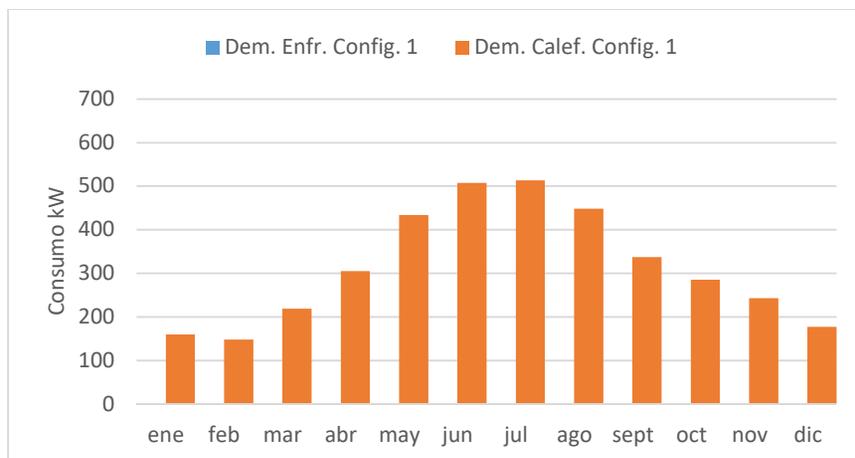


Gráfico 125. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 1. PA.

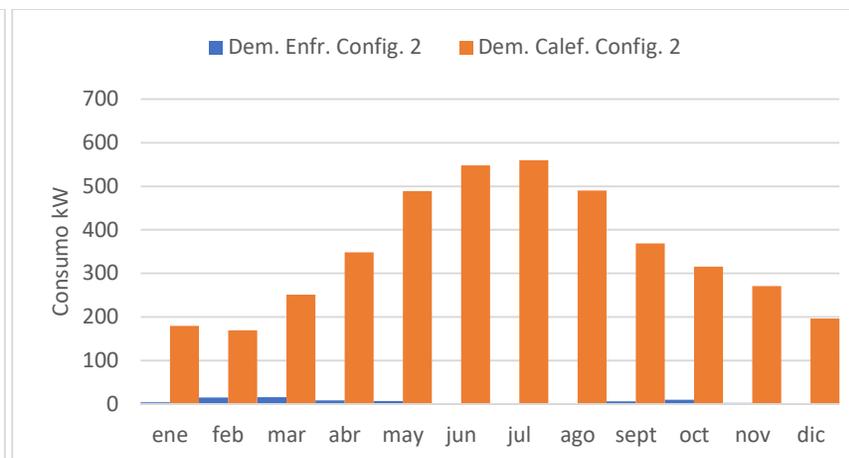


Gráfico 126. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 2. PA.

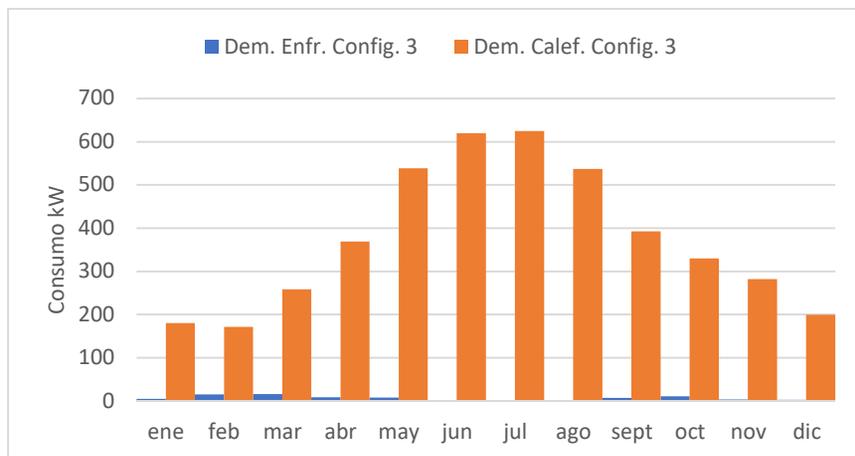


Gráfico 127. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 3. PA.

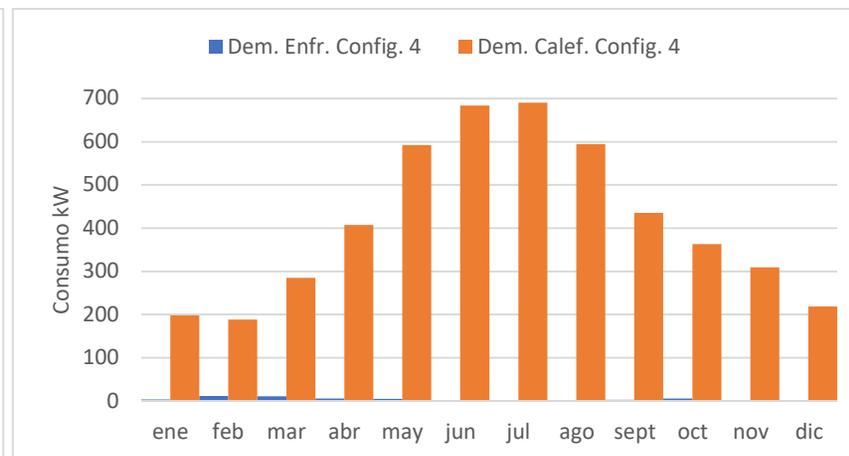


Gráfico 128. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 4. PA.

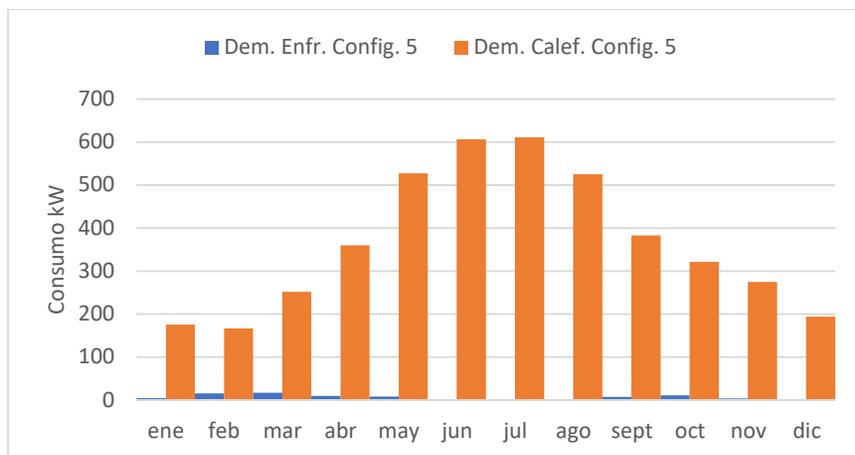


Gráfico 129. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 5. PA.

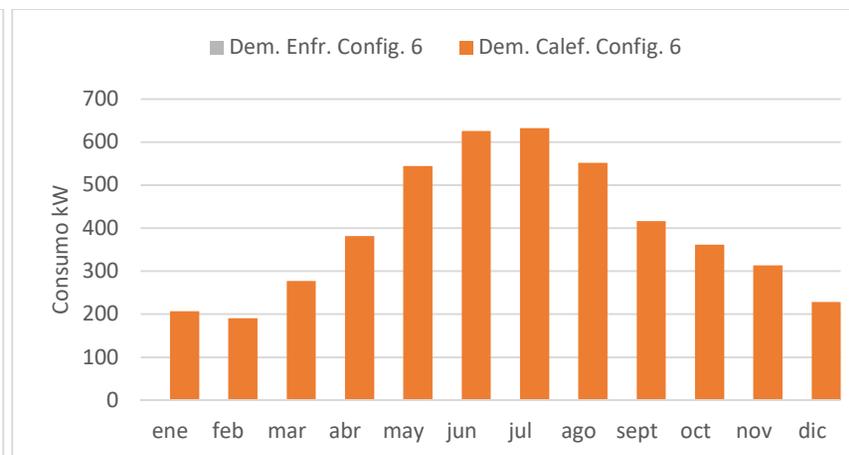


Gráfico 130. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 6. PA.

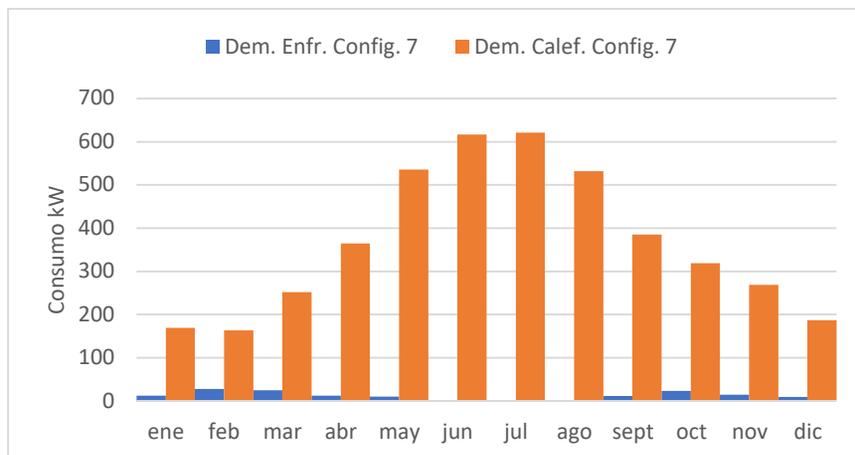


Gráfico 131. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 7. PA.

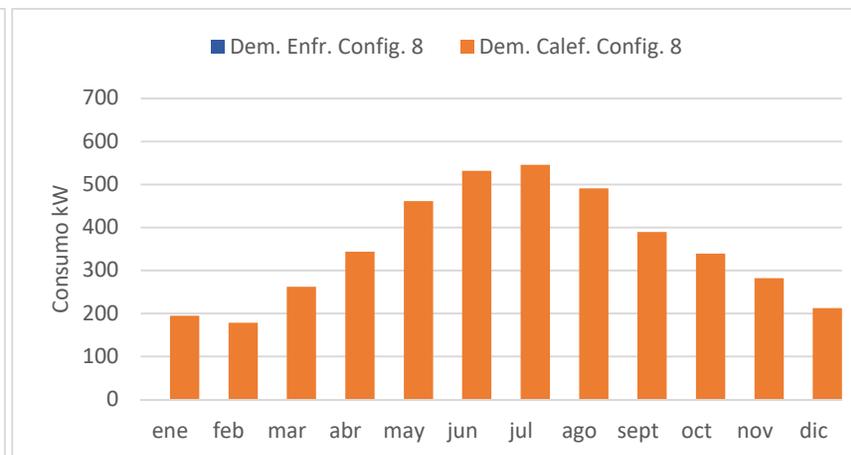


Gráfico 132. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 8. PA.

4.9.7 Mejoras Clima Andino; Lonquimay.

Para realizar las mejoras de la Prótesis en este clima, se analizó el comportamiento de la Configuración 0 y basados en las características de esta zona climática, se opta por analizar dos periodos, uno para evaluar demanda de calefacción (en invierno) y otro para evaluar demanda de enfriamiento (en verano), que corresponden a las semanas 22 – 23 y semanas 4 – 5 respectivamente.

Demanda de Calefacción

Según la **Tabla 70, y los Gráficos 173 al 177** se observa que las configuraciones que presentan mejoras notables son las Config.0, 2, 3, 4 y 5, que producen mejoras del porcentaje de lecturas dentro del rango de confort establecido, superiores al 10%, reducen las lecturas bajo el límite de los 18°C y aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C. Los mejores resultados son los presentados en la Config.5 (ver **Gráfico 177**).

La Configuración 1 correspondientes a la eliminación de las perforaciones entre la Celda y la Prótesis, tiende a generar mayor enfriamiento, que para este caso no es útil.

Tabla 70. Demanda de Calefacción para el periodo de invierno. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 22 y 23. Lonquimay.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	98,80%	1,19%	0%
Config. 0	85,11%	11,60%	3,27%
Config. 1	97,32%	2,67%	0%
Config. 2	84,82%	11,30%	3,86%
Config. 3	85,11%	11,60%	3,27%
Config. 4	86,30%	12,50%	1,19%
Config. 5	84,82%	11,90%	3,27%

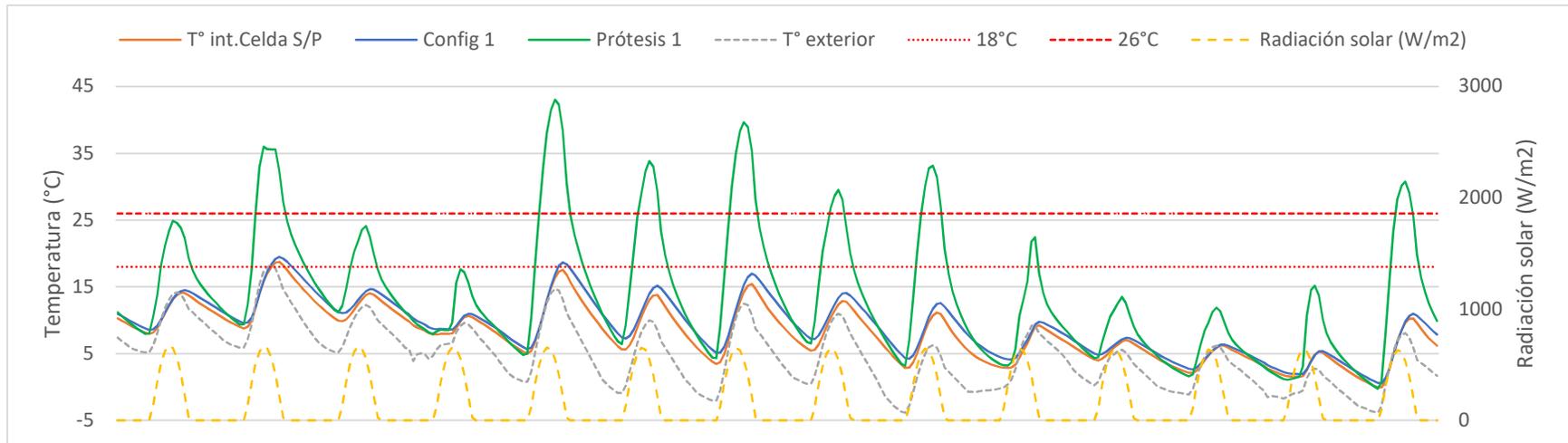


Gráfico 133. Demanda de Calefacción; Configuración 1. Semanas 22 y 23. Lonquimay.

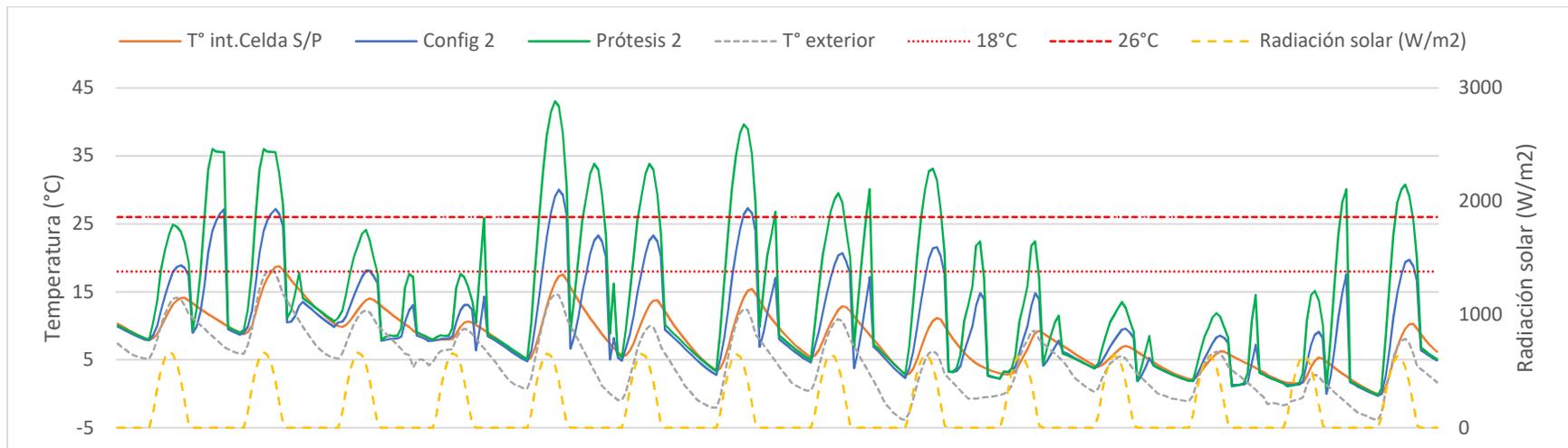


Gráfico 134. Demanda de Calefacción; Configuración 2. Semanas 22 y 23. Lonquimay.

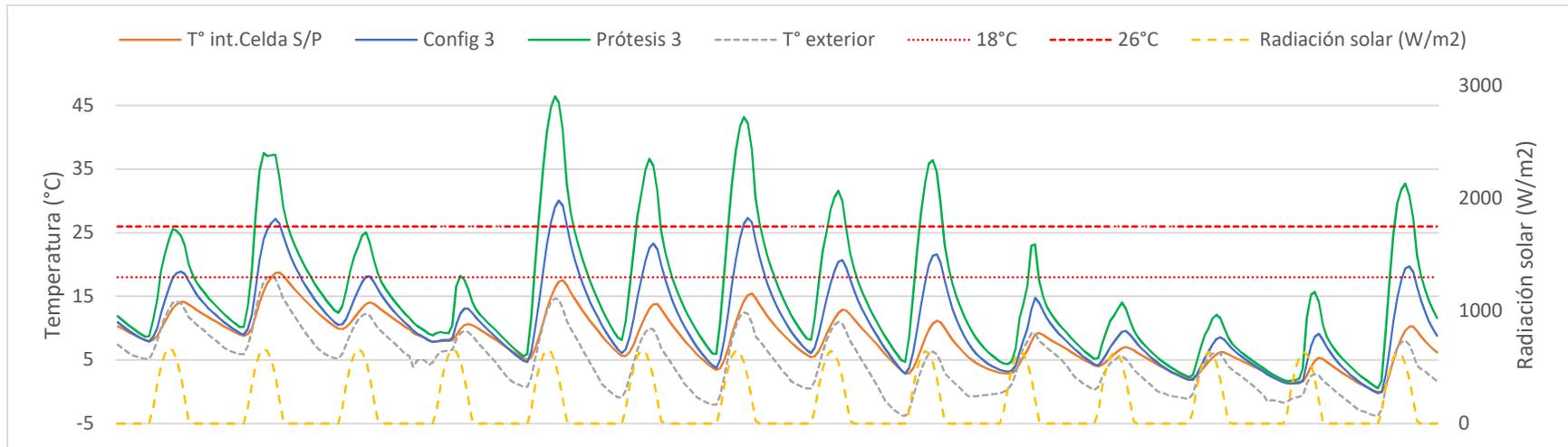


Gráfico 135. Demanda de Calefacción; Configuración 3. Semanas 22 y 23. Lonquimay.

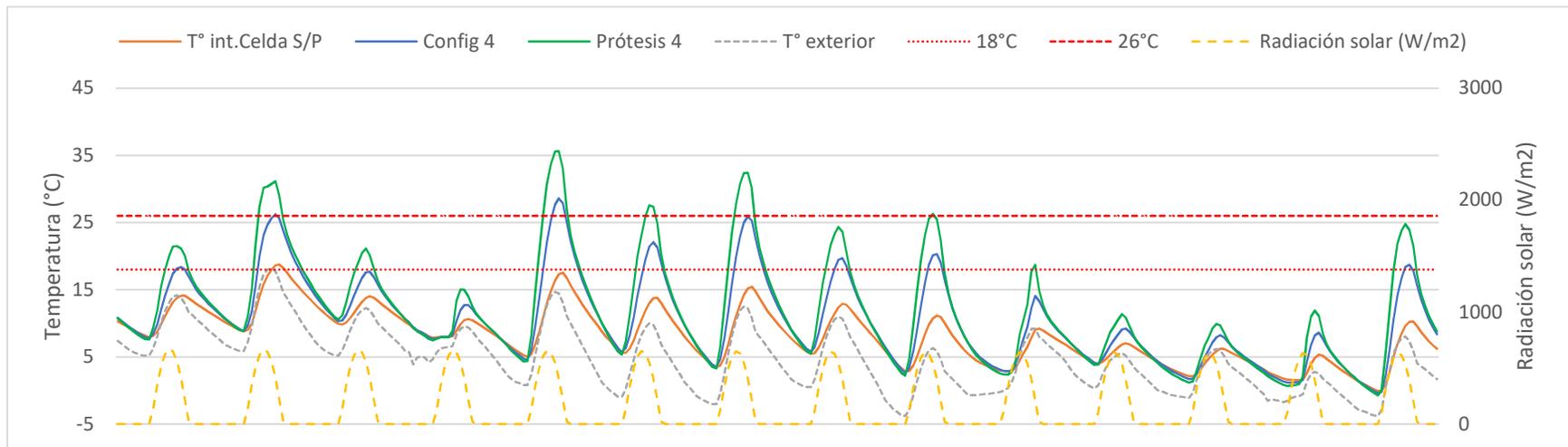


Gráfico 136. Demanda de Calefacción; Configuración 4. Semanas 22 y 23. Lonquimay.

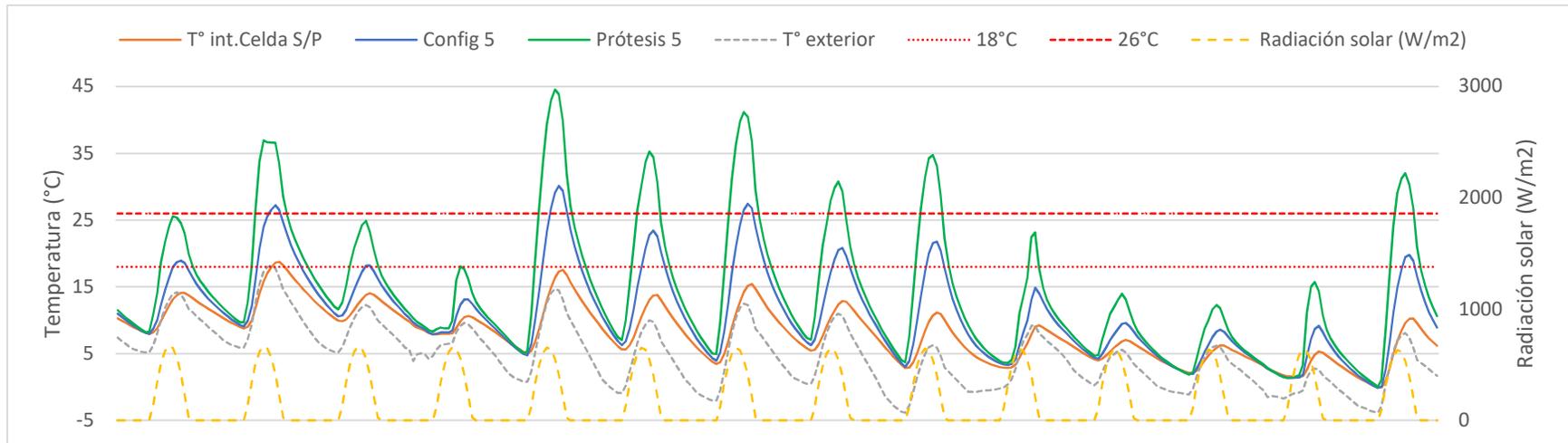


Gráfico 137. Demanda de Calefacción; Configuración 5. Semanas 22 y 23. Lonquimay.

Demanda de Enfriamiento

Según la **Tabla 71 y los Gráficos 178 al 185** la Prótesis genera mejoras notables, especialmente la Configuración 8 que es la que presenta mejoras aumentando las lecturas dentro del rango en un 6% y disminuyendo las lecturas sobre el límite de los 26°C en un 5% y disminuyendo las lecturas bajo el límite de los 18°C en 1% (ver **Gráfico 185**).

Todas las configuraciones, por separada, aumentan las lecturas sobre el límite de los 26°C, produciendo sobrecalentamiento. Esto nos hace suponer que la prótesis no funcionaría para verano con la configuración presentada, debiendo considerar mejoras mayores que incluyan modificaciones de funciones, tal vez como una chimenea solar o simplemente un sombreadero para la estación de verano en Lonquimay.

Tabla 71. Demanda de enfriamiento para el periodo de verano. Porcentaje de lecturas de temperatura interior de la Celda. Semana 22 y 23. Lonquimay.

	Bajo el rango	En el rango	Sobre el rango
Celda S/P	11,01%	78,27%	10,71%
Config. 0	8,03%	60,11%	31,84%
Config. 1	5,35%	82,14%	12,5%
Config. 2	10,71%	62,02%	27,08%
Config. 3	8,03%	60,11%	31,84%
Config. 4	8,03%	60,11%	31,84%
Config. 5	8,03%	60,11%	31,84%
Config. 6	10,41%	70,23%	19,34%
Config. 7	6,25%	54,46%	39,28%
Config. 8	10,71%	84,22%	5,05%

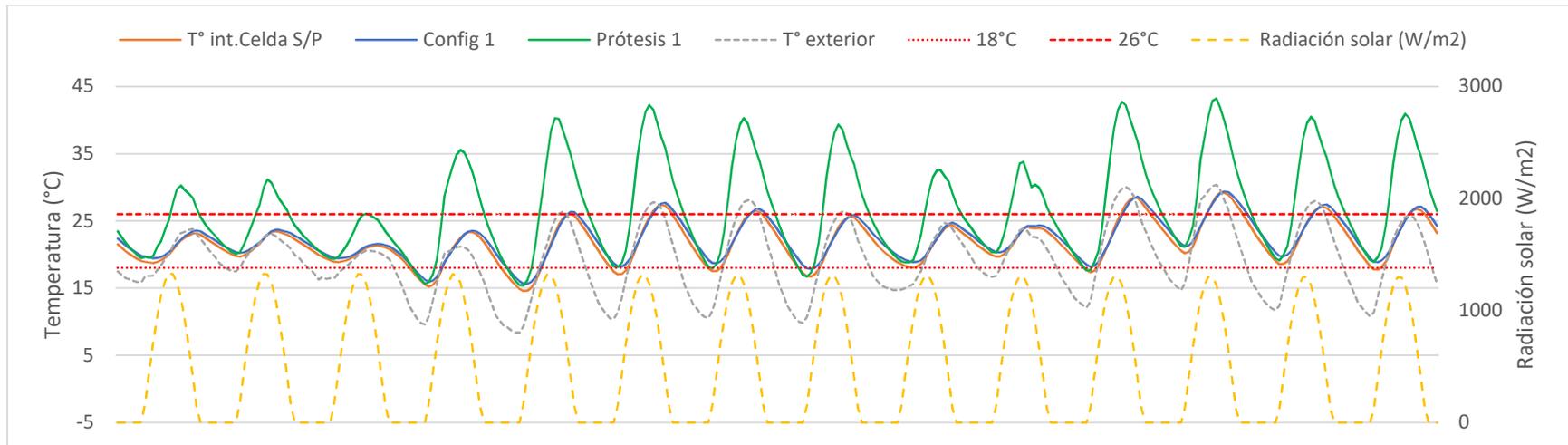


Gráfico 138. Demanda de Enfriamiento; Configuración 1. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

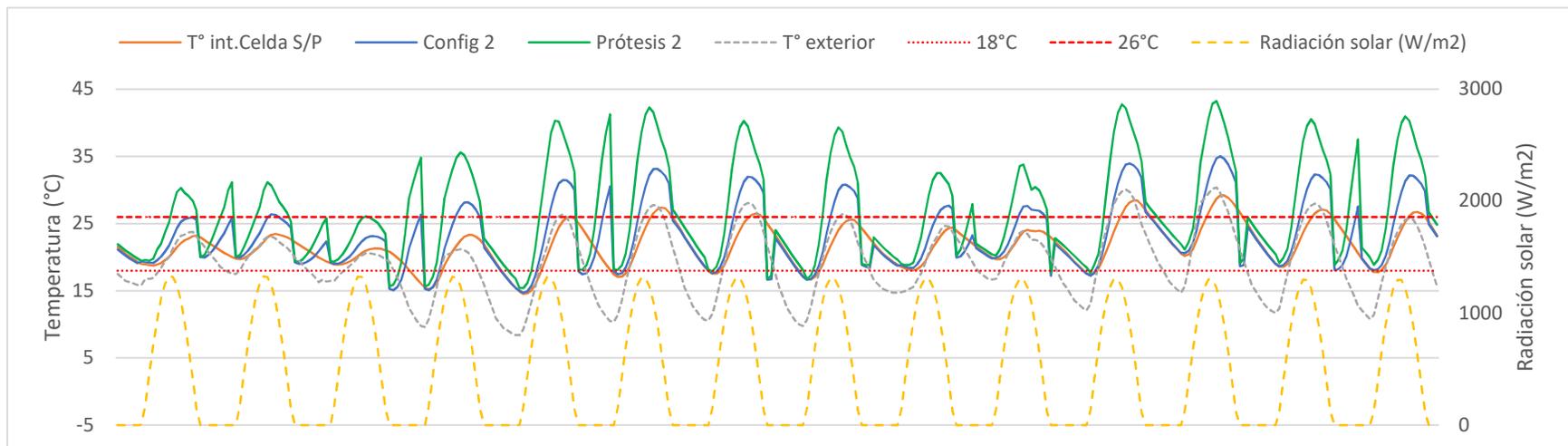


Gráfico 139. Demanda de Enfriamiento; Configuración 2. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

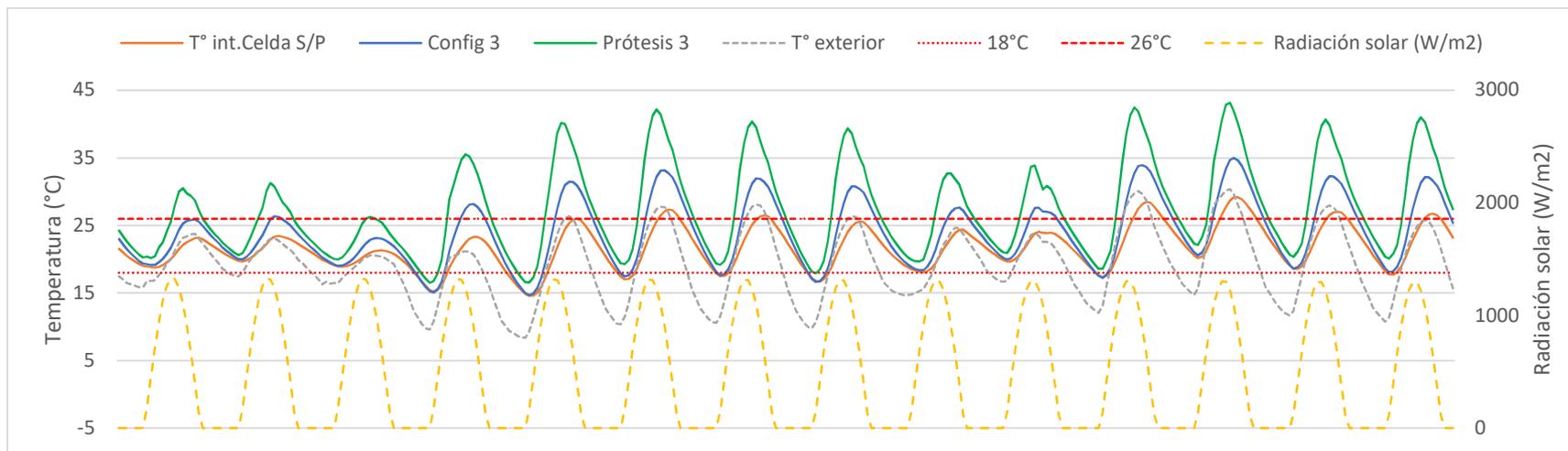


Gráfico 140. Demanda de Enfriamiento; Configuración 3. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

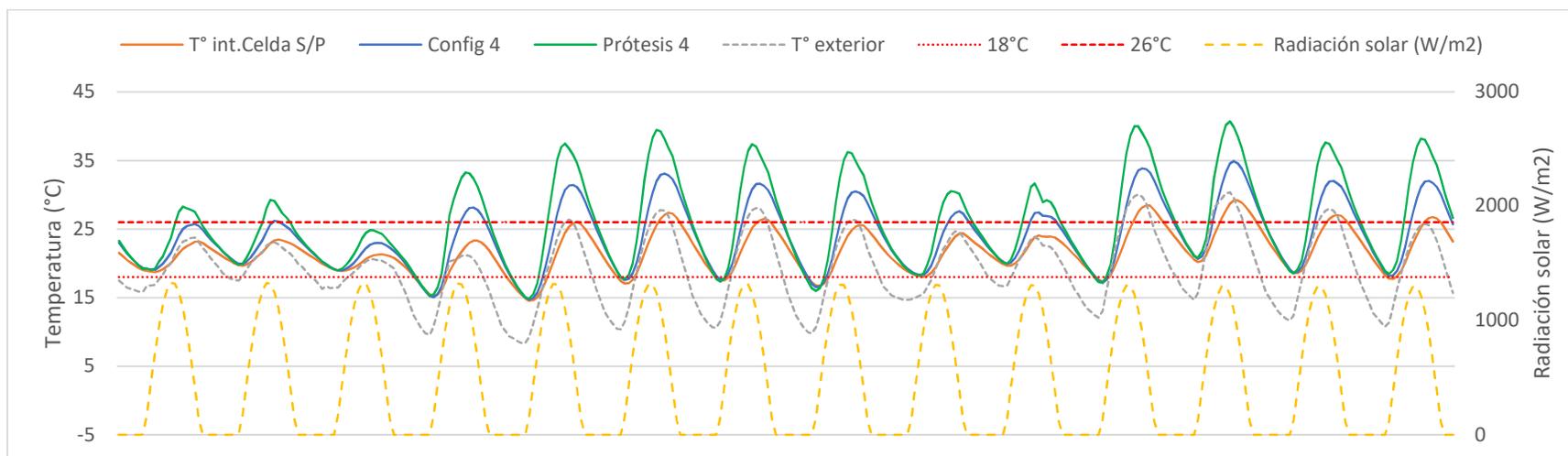


Gráfico 141. Demanda de Enfriamiento; Configuración 4. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

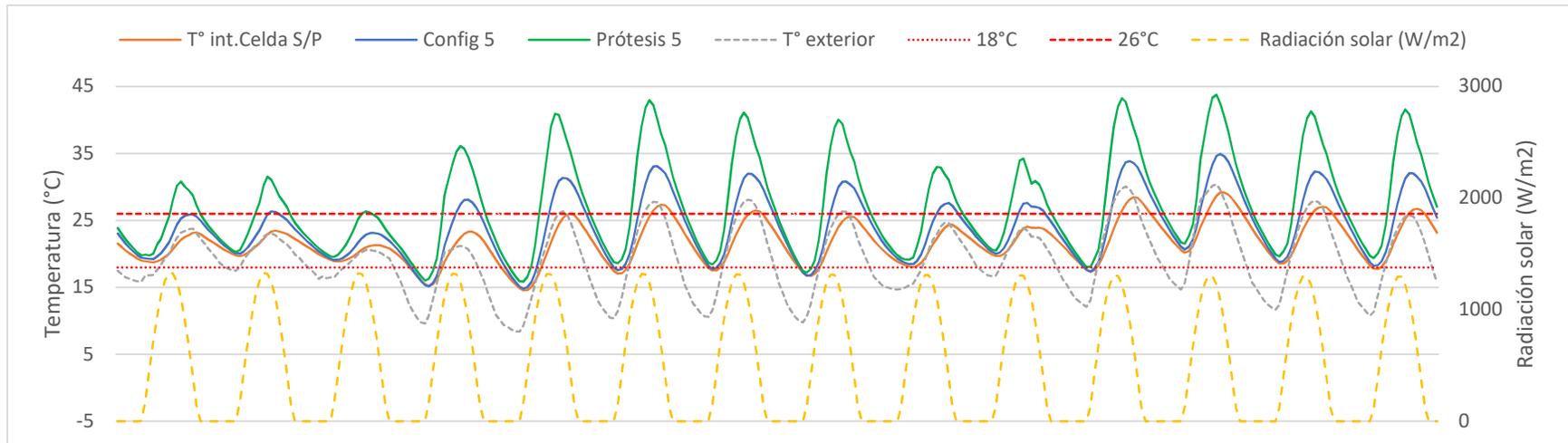


Gráfico 142. Demanda de Enfriamiento; Configuración 5. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

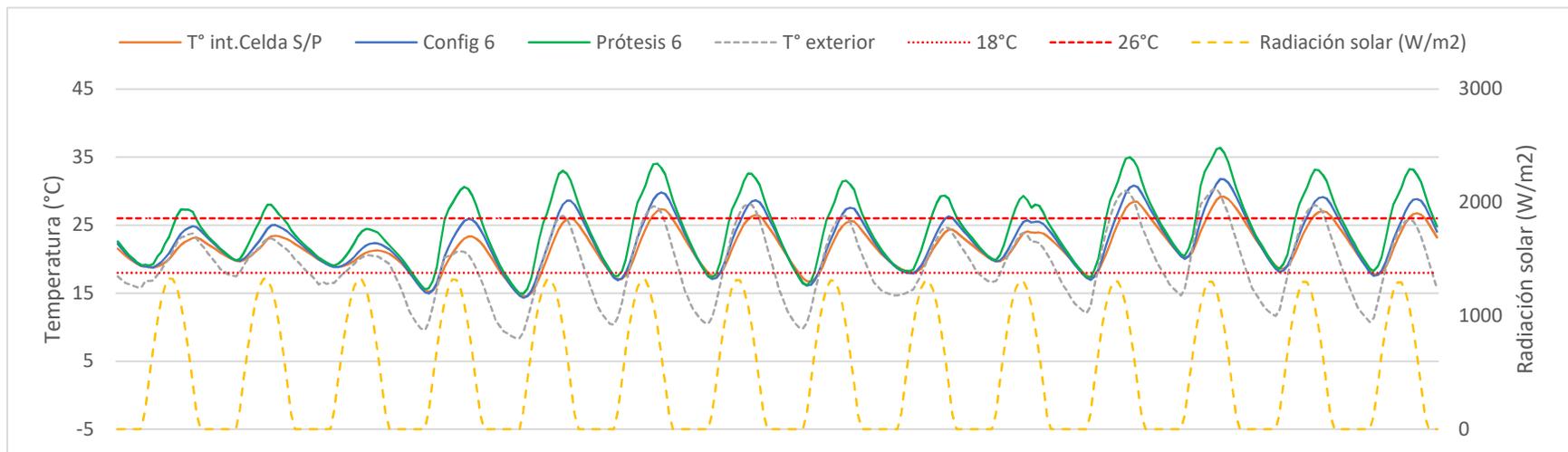


Gráfico 143. Demanda de Enfriamiento; Configuración 6. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

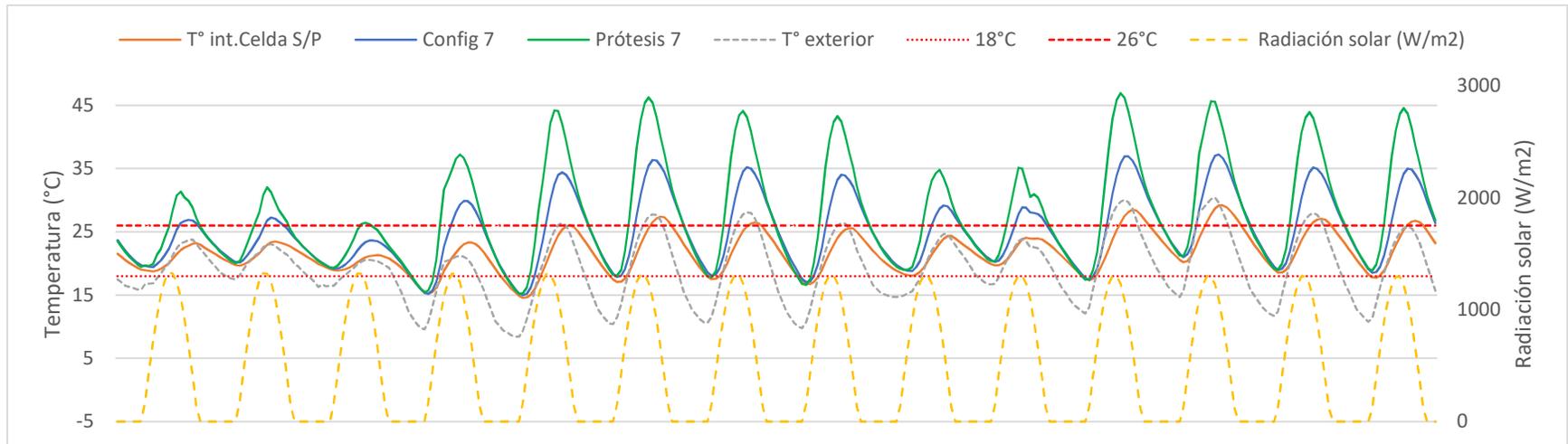


Gráfico 144. Demanda de Enfriamiento; Configuración 7. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

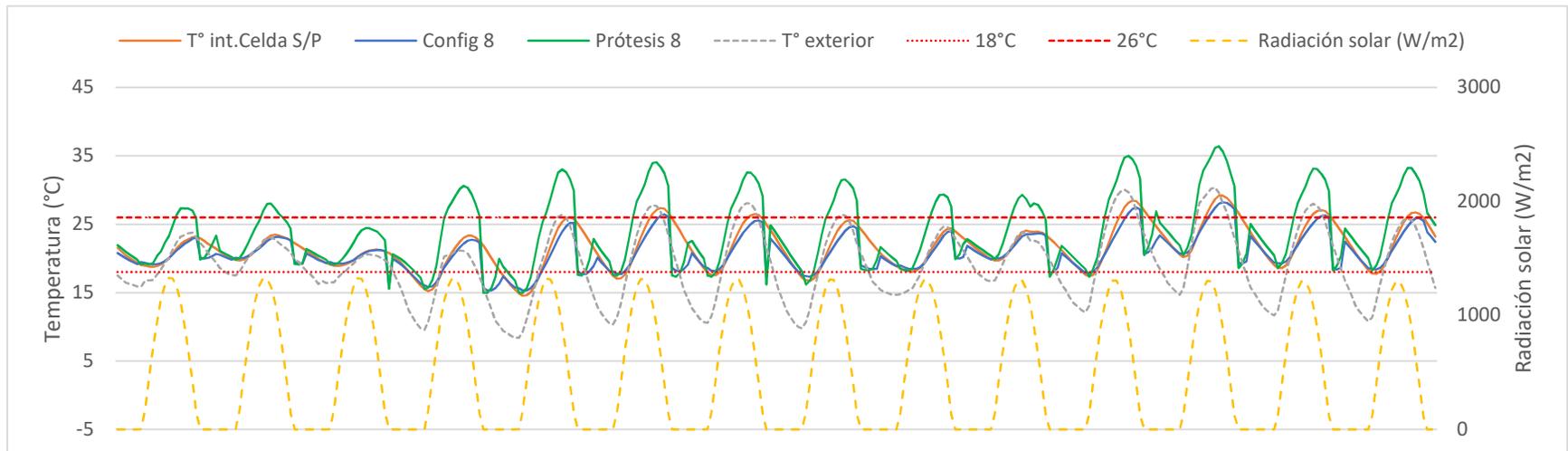


Gráfico 145. Demanda de Enfriamiento; Configuración 8. Semanas 4 y 5. Lonquimay.

4.9.8 Consumo energético Clima Andino; Lonquimay.

Consumo energético anual

Como se observa en la **Tabla 72**, las Configuración 1 es la que representan un ahorro energético anual para la demanda de calefacción, además cumple con producir un ahorro energético de al menos el 10% (ver **Gráfico 186**).

Tabla 72. Consumo de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5+8. Lonquimay.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	8
Consumo Calefacción (Kw)	2110,3	2326,8	1890,6	2237,7	2326,7	2540,4	2266,2	2228,1
Ahorro energético (%)	0	-10,2	10,4	-6,1	-10,2	-20,3	-7,3	-5,5

Según la **Tabla 73**, la Configuración 6 y 8 representan un ahorro energético anual para la demanda de enfriamiento y además cumplen con producir un ahorro energético de al menos un 10% (ver **Gráfico 186**).

Tabla 73. Consumo de enfriamiento para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Lonquimay.

Configuración	Celda S/P	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Consumo Enfriamiento (Kw)	11,73	439,2	16,5	438,5	439,2	394,6	439,4	2,59	30,56	2,1
Ahorro energético (%)	0	-3642,6	-40,6	-3637,2	-3642,6	-3262,9	-3644,7	77,9	-160,4	82,2

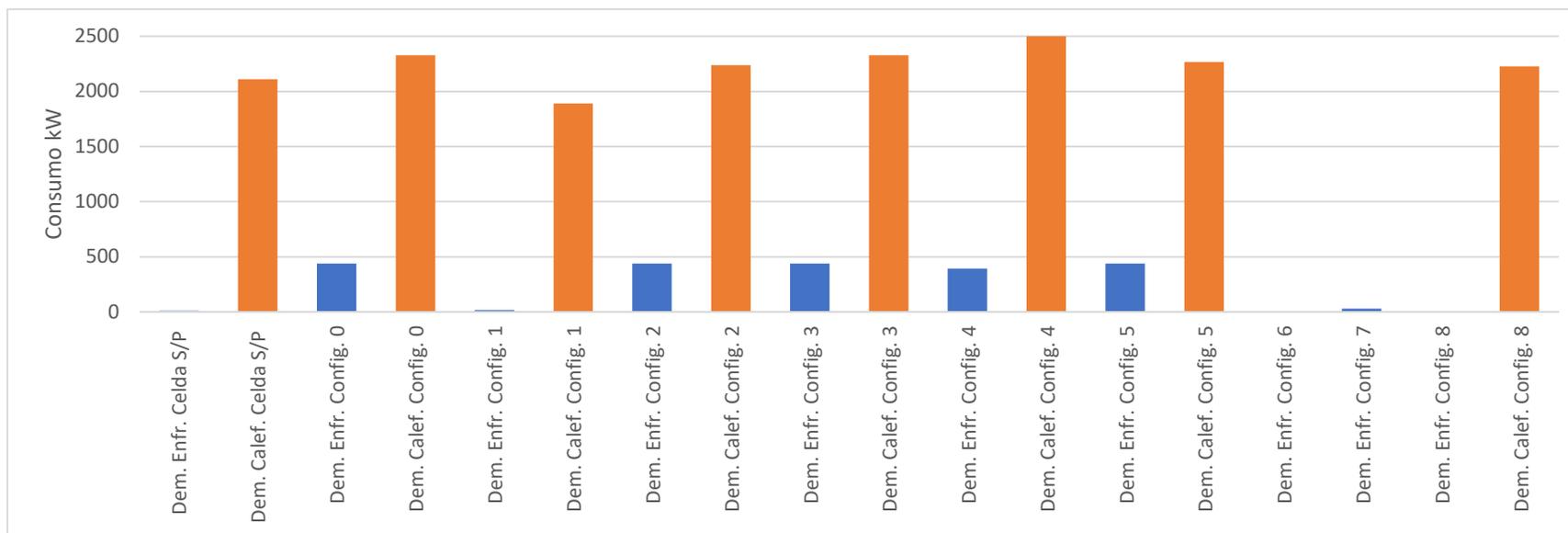


Gráfico 146. Consumo de enfriamiento y demanda de calefacción para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuración del 0 al 8 comparadas. Lonquimay.

Consumo energético mensual

Según la **Tabla 74**, se pueden observar el ahorro energético mensual para la demanda de calefacción. Respecto a la Config.1, se observa que presenta un ahorro sostenido durante todo el año (ver **Gráficos 187 al 196**).

Tabla 74. Consumo de calefacción mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 5 + 8. Lonquimay.

Mes	Celda															
	S/P	Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 8		
	Dem. Calef. Celda S/P (kW)	Dem. Calef. Config. 0 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 1 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 2 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 3 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 4 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 5 (kW)	% Ahorro	Dem. Calef. Config. 5 (kW)	% Ahorro	
ene	28,0	32,2	-14,8	18,1	35,6	30,5	-8,7	32,2	-14,8	33,3	-18,9	30,6	-9,2	23,2	17,2	
feb	26,0	28,7	-10,2	14,9	42,6	28,2	-8,5	28,7	-10,2	29,3	-12,7	27,2	-4,6	23,9	8,2	
mar	70,6	74,9	-6,1	48,8	30,8	76,6	-8,6	74,9	-6,1	79,3	-12,4	72,1	-2,1	74,5	-5,5	
abr	161,1	168,4	-4,5	132,4	17,8	173,3	-7,5	168,4	-4,5	183,4	-13,8	163,5	-1,5	178,4	-10,7	
may	270,9	295,7	-9,1	249,3	8,0	284,2	-4,9	295,7	-9,1	325,0	-20,0	288,5	-6,5	290,4	-7,2	
jun	326,6	370,4	-13,4	307,2	5,9	347,2	-6,3	370,4	-13,4	408,8	-25,2	361,6	-10,7	345,1	-5,7	
jul	356,7	412,8	-15,7	338,7	5,1	385,6	-8,1	412,8	-15,7	453,8	-27,2	403,5	-13,1	376,8	-5,6	
ago	308,0	344,5	-11,8	289,0	6,2	324,7	-5,4	344,5	-11,8	379,2	-23,1	336,3	-9,2	328,3	-6,6	
sept	248,4	277,1	-11,5	231,7	6,7	260,9	-5,0	277,1	-11,5	303,2	-22,0	270,5	-8,9	264,5	-6,5	
oct	155,9	159,3	-2,2	132,5	15,0	162,2	-4,1	159,3	-2,2	172,0	-10,4	154,8	0,7	167,2	-7,3	
nov	106,1	109,9	-3,6	89,3	15,8	110,9	-4,5	109,9	-3,6	117,5	-10,8	106,7	-0,5	107,5	-1,4	
dic	51,9	53,1	-2,2	38,7	25,5	53,6	-3,2	53,1	-2,2	55,7	-7,3	51,0	1,7	48,3	6,9	
Total	2110,4	2326,8	-105,2	1890,7	215,0	2237,8	-74,8	2326,8	-10,2	2540,5	-203,7	2266,3	-63,9	2281,1	-24,1	

Como se observa en la **Tabla 75**, la Config.6 y 8 son las que presentan mejores resultados respecto al ahorro energético para la demanda de enfriamiento de diciembre a abril, el resto de los meses no es posible determinar (ver **Gráficos 187 al 196**).

Tabla 75. Consumo de enfriamiento mensual para la Celda sin Prótesis y con Prótesis en Configuraciones del 0 al 8. Lonquimay.

Mes	Celda S/P		Config. 0		Config. 1		Config. 2		Config. 3		Config. 4		Config. 5		Config. 6		Config. 7		Config. 8	
	Dem. Enfr. Celda S/P (kW)		Dem. Enfr. Config. 0 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 1 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 2 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 3 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 4 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 5 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 6 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 7 (kW)	% Ahorro	Dem. Enfr. Config. 8 (kW)	% Ahorro
ene	1,9		43,4	-2154,7	2,3	-19,9	43,2	-2145,6	43,4	-2154,7	45,4	-2260,4	42,1	-2090,4	0,6	68,1	5,3	-178,1	0,5	74,0
feb	5,9		95,6	-1506,6	7,9	-32,8	95,4	-1504,0	95,6	-1506,6	94,5	-1487,7	94,6	-1490,0	1,9	67,4	14,0	-135,3	1,6	73,4
mar	3,2		106,9	-3238,9	5,0	-57,2	106,6	-3229,7	106,9	-3238,9	97,9	-2956,7	106,9	-3238,9	0,0	98,8	9,0	-180,1	0,0	100,0
abr	0,7		73,3	-11005,3	1,3	-91,9	73,3	-11005,3	73,3	-11005,3	63,1	-9453,5	74,0	-11118,8	0,0	100,0	2,2	-233,2	0,0	100,0
may	0,0		21,2	-	0,0	-	21,2	-	21,2	-	15,1	-	21,8	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
jun	0,0		3,9	-	0,0	-	3,9	-	3,9	-	2,0	-	4,3	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
jul	0,0		19,8	-	0,0	-	19,8	-	19,8	-	14,0	-	20,4	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
ago	0,0		11,1	-	0,0	-	11,1	-	11,1	-	7,7	-	11,4	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
sept	0,0		24,7	-	0,0	-	24,7	-	24,7	-	20,2	-	24,9	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
oct	0,0		21,5	-	0,0	-	21,5	-	21,5	-	16,6	-	21,8	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
nov	0,0		6,0	-	0,0	-	6,0	-	6,0	-	5,7	-	5,7	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
dic	0,0		11,9	-	0,0	-	11,9	-	11,9	-	12,6	-	11,4	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-
Total	11,7		439,2	-17905,6	16,5	-201,8	438,6	-17884,6	439,2	-17905,6	394,7	-16158,4	439,5	-17938,1	2,6	334,3	30,6	-726,7	2,1	347,4

Capítulo IV – Resultados.

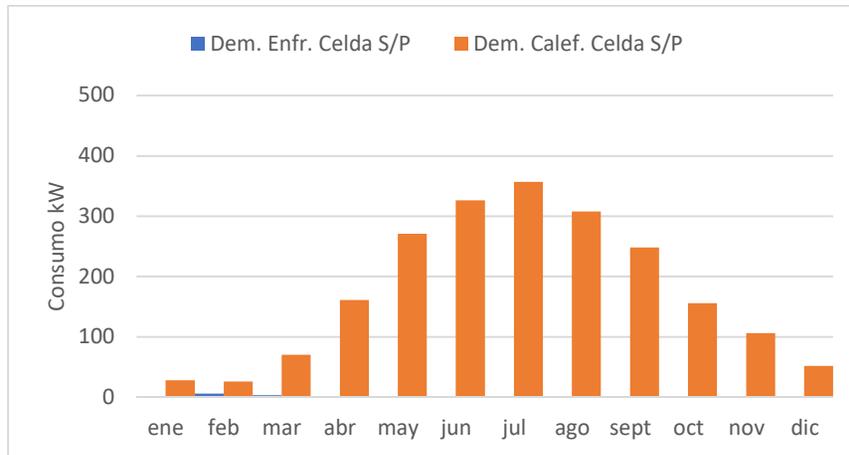


Gráfico 147. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda S/P. LO.

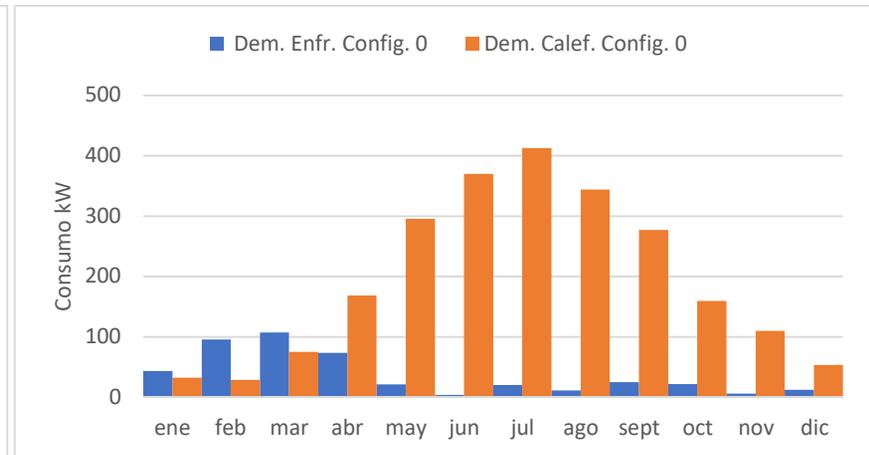


Gráfico 148. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 0. LO.

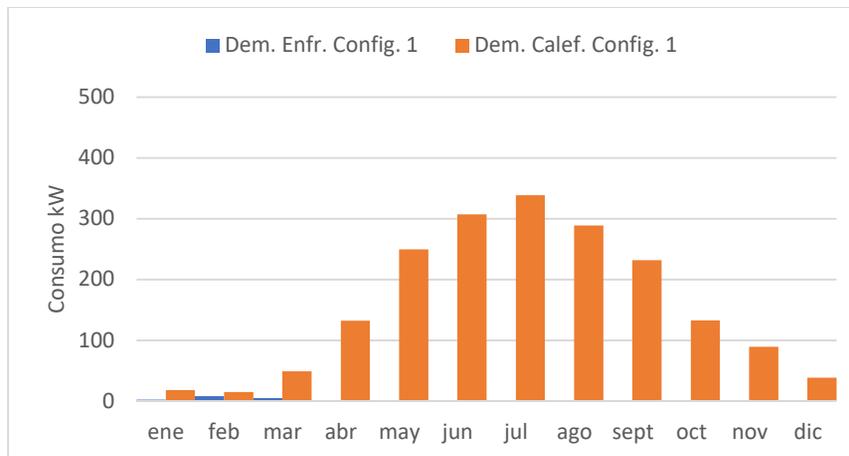


Gráfico 149. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 1. LO.

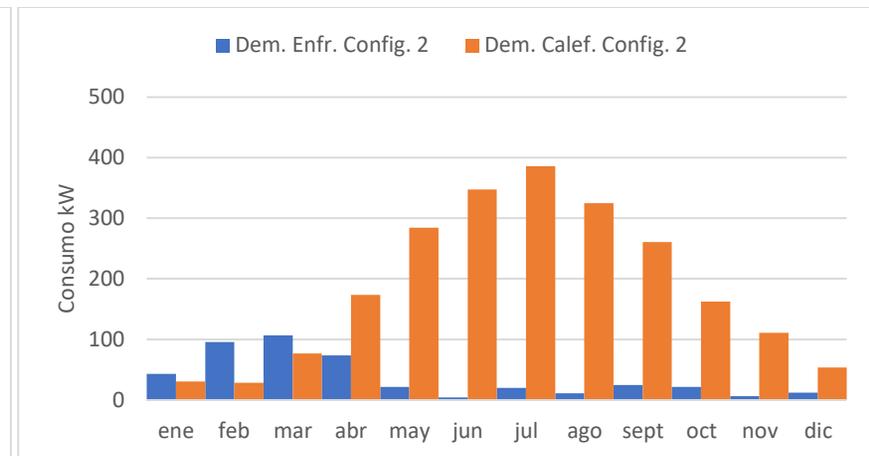


Gráfico 150. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 2. LO.

Capítulo IV – Resultados.

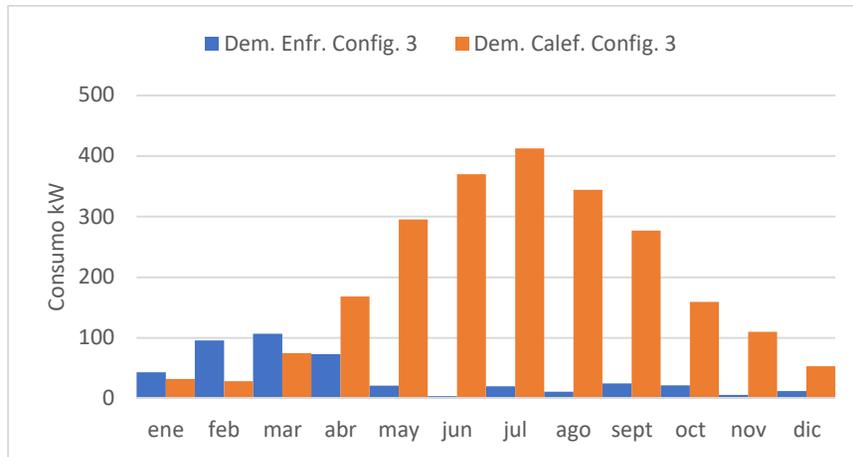


Gráfico 151. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 3. LO.

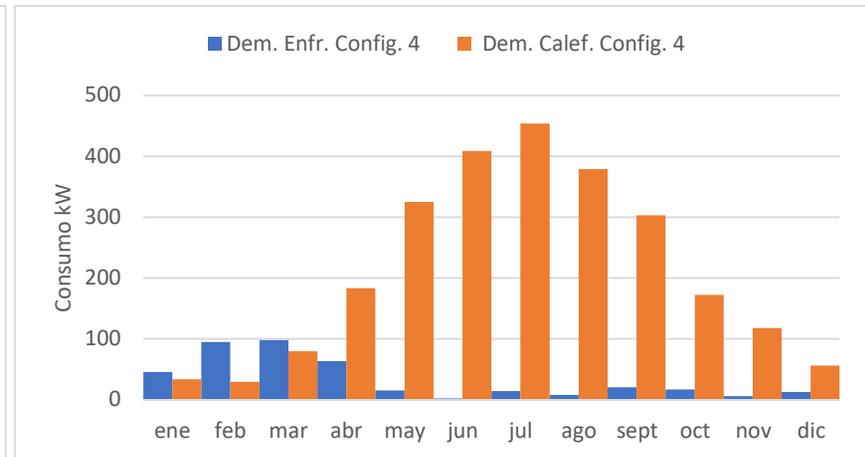


Gráfico 152. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 4. LO.

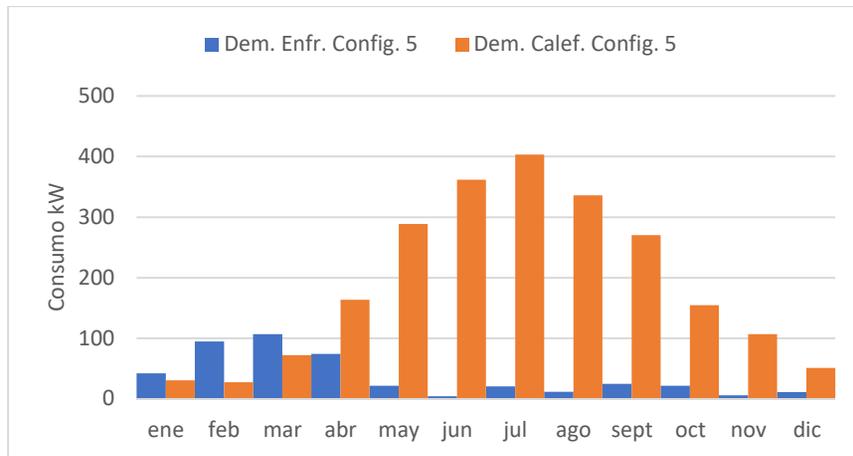


Gráfico 153. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 5. LO.

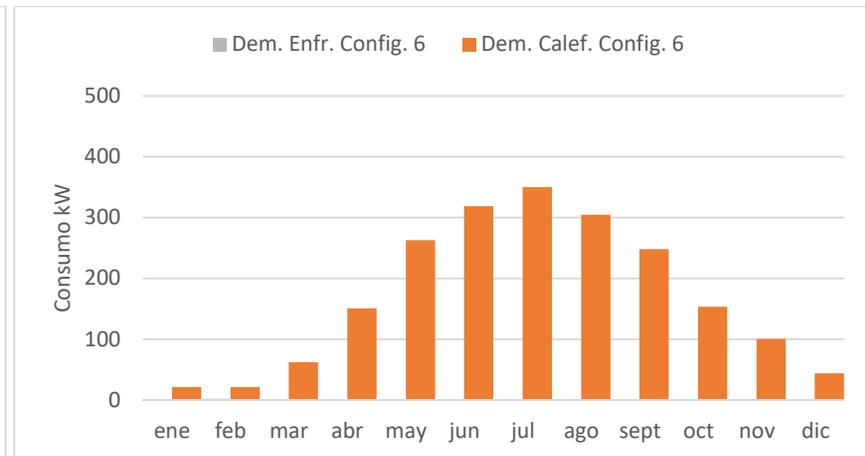


Gráfico 154. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 6. LO.

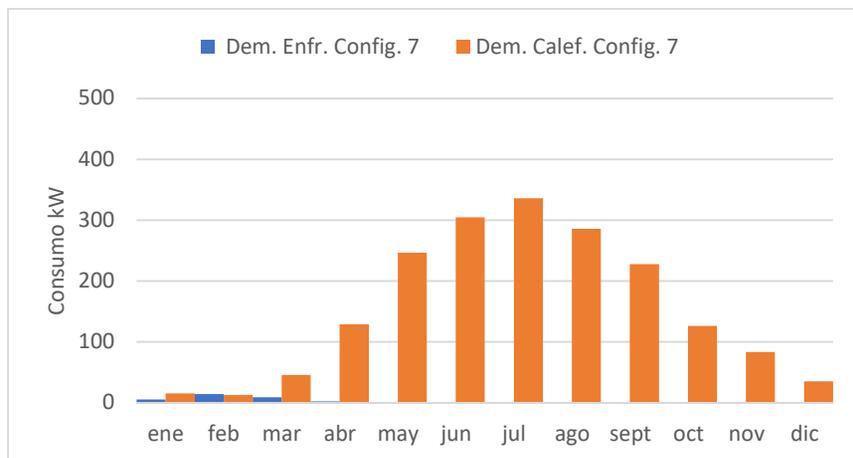


Gráfico 155. Consumo de Calefacción y enfriamiento Config. 7. LO.

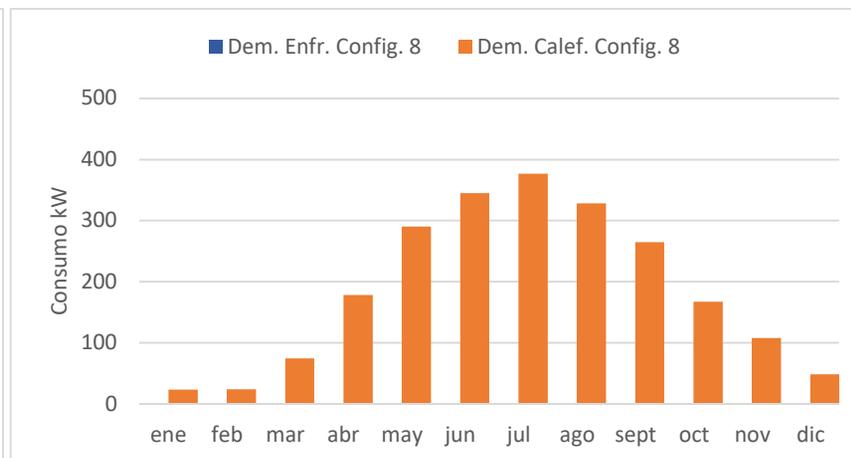


Gráfico 156. Consumo de Calefacción y enfriamiento Celda Config. 8. LO.

4.9.9 Resumen

En las Tablas 76 y 77 se presenta el resumen comparativo entre las configuraciones, para todos los climas, separados por invierno y verano.

Tabla 76. Resumen para Invierno.

CELDA S/P	CONFIGURACION 0 CASO BASE		CONFIGURACION 1		CONFIGURACION 2		CONFIGURACION 3		CONFIGURACION 4		CONFIGURACION 5		CONFIGURACION 8			
	Celda sin prótesis		configuración original prótesis		sin perforaciones 100 mms.		con postigos		sin ventana		aumenta ancho de prótesis a 60 cms.		aumenta aislación prótesis a 25 mms.		con sombreadero superior de 1 mt.	
	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)
ND	22,02%	228,7	32,44%	222,9	33,03%	163,1	19,34%	253,9	32,44%	222,9	31,25%	248	32,73%	214,5	17,25%	264,6
CI	7,14%	614,8	12,79%	649,9	10,11%	545	8,63%	647,8	12,79%	649,9	13,39%	706,1	12,79%	633,8	8,5%	646,3
SE	1,48%	1365	14,20%	1555	3,27%	1299	12,79%	1419	14,28%	1555	13,09%	1720	14,88%	1519	1,67%	1427
An	1,19%	913,1	11,60%	1034	2,67%	859,4	11,30%	971,2	11,60%	1034	12,50%	1136	11,90%	1010	2,25%	969,6

Tabla 77. Resumen para Verano

CELDA S/P	CONFIGURACION 0 CASO BASE		CONFIGURACION 1		CONFIGURACION 2		CONFIGURACION 3		CONFIGURACION 4		CONFIGURACION 5		CONFIGURACION 6		CONFIGURACION 7		CONFIGURACION 8			
	Celda sin prótesis		configuración original prótesis		sin perforaciones 100 mms.		con postigos		sin ventana		aumenta ancho de prótesis a 60 cms.		aumenta aislación prótesis a 25 mms.		con sombreadero superior de 1 mt.		apertura cara superior prótesis		mix config. 0+1+2+4+6	
	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)	Porcentaje de horas de confort ganadas	Demandas energéticas (kWh)
ND	47,61%	104,8	34,22%	432,7	39,58%	133,3	41,36%	427	34,22%	432,7	32,44%	473,2	33,63%	425,8	36,60%	283,7	28,27%	589,3	49,10%	75,9
CI	65,77%	49	49,40%	350,6	61,30%	60,7	59,82%	347,2	49,40%	350,6	47,91%	361,6	49,10%	345,6	55,05%	174	43,15%	495,9	75,29%	28,2
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
An	78,27%	11	60,11%	245,9	82,14%	15,2	62,02%	245,2	60,11%	245,9	60,11%	237,8	60,11%	243,6	70,23%	2,1	54,46%	28,3	84,22%	2,5

Conclusiones

Este estudio teórico basado en resultados experimentales, presenta una oportunidad para visualizar posibles escenarios de implementación de estrategias bioclimáticas solares en climas y lugares en que sería muy difícil poder replicar el experimento y, a través de la simulación energética, ajustar la estrategia a las particularidades del clima estudiado. Esto es de gran relevancia en países como Chile que alberga una diversidad de climas y microclimas en los casi 40° de latitud en toda su extensión.

De la misma manera, este estudio permite determinar que las estrategias pasivas solares de bajo costo, sumadas a la Reglamentación Térmica, presentan una alternativa real, adaptativa, limpia y económica, para mejorar las condiciones de confort y de ahorro energético de los usuarios de Viviendas Sociales en los cuatro climas determinados.

Según el estándar Ashrae Guideline 14, se asume que el modelo simulado se calibró numéricamente, sin embargo, las gráficas presentaron desfases (horizontales y verticales) en las curvas experimentales y simuladas, siendo estas últimas las que oscilan de manera más rápida, lo que hace concluir que existió diferencia en la inercia térmica entre ambos modelos (experimental y simulado) que fue muy difícil lograr, ya que cualquier cambio en pos de mejorar ese valor, implicaba modificar la configuración del elemento constructivo, ya sea de Celda o Prótesis, alejándolo de la configuración original. Esta brecha entre los resultados experimentales y resultados simulados, se debe a las condiciones ideales tanto de ocupación, infiltraciones y condiciones físico constructivas de la simulación en contraste con las propias condiciones, procesos constructivos, uso real y protocolos de monitoreo y procesamiento de datos del experimento, lo que dificulta este tipo de estudios. Si bien es cierto que el estándar Ashrae Guideline 14 permite validar la calibración, se pudo observar que existían otras simulaciones que también cumplían con este estándar, por lo que los resultados también podrían haber variado.

Según el estudio, el aporte de la Prótesis al desempeño térmico es notable en los cuatro climas estudiados y para ambas demandas (calefacción y enfriamiento), aunque esto no significa necesariamente que se haya logrado mejorar el confort térmico. Por ejemplo, en Diego de Almagro, la Prótesis produjo sobrecalentamiento la mayor parte del tiempo aumentando el consumo energético por demanda de enfriamiento, no obstante, para la demanda de calefacción y en una de las configuraciones de la Celda, esta logra aumentar el confort térmico en un 10%. Por otra parte,

Capítulo IV – Resultados.

en Punta Arenas el aporte en temperatura no fue significativo, toda vez que en las semanas más frías del año las temperaturas no alcanzaron el límite mínimo del rango de confort establecido. En Pudahuel y Lonquimay los aportes en ambas demandas son más significativos.

En cuanto al aporte en el porcentaje de ahorro energético, la mayor parte del consumo energético que presentan los análisis corresponden a demanda por enfriamiento excepto en Punta Arenas, lo que se condice con lo concluido en el párrafo anterior; la estrategia aporta temperatura interior generando sobrecalentamiento en algunos momentos, por lo que se refuerza la idea de poder realizar el análisis en periodos acotados más representativos y no por periodos anuales o mensuales. No obstante, el consumo energético por demanda de enfriamiento en ocasiones es extremadamente alto siendo la demanda de enfriamiento para la Celda C/P, hasta 1000% la demanda de enfriamiento para la Celda S/P en Diego de Almagro, por ejemplo.

La implementación teórica de la estrategia Prótesis en los climas estudiados presenta los resultados en cuanto a incremento del porcentaje de horas en confort térmico y porcentaje de ahorro energético como se muestra en la **Tabla 78**. En ella se observa los resultados máximos para los climas estudiados.

Clima Norte Desértico (ND) representado por Diego de Almagro, es posible obtener un incremento de las horas en confort térmico de 10,7% para la demanda de calefacción con la Config.5 de la Prótesis. Respecto a la demanda de enfriamiento, el incremento es apenas de un 1,5% con la Config.8 de la Prótesis. En cuanto al ahorro energético se obtiene un 29,1% anual para la demanda de calefacción con la Config.1 de la Prótesis mientras que para la demanda de enfriamiento se obtiene un ahorro de un 26,23% con la Config.8 de la Prótesis.

Clima Central Interior (CI) representado por Pudahuel, es posible obtener un incremento de las horas en confort térmico de 6,25% para la demanda de calefacción con la Config.4 de la Prótesis. Respecto a la demanda de enfriamiento, el incremento es de un 9,5% con la Config. 8 de la Prótesis. En cuanto al ahorro energético se obtiene un 14,1% anual para la demanda de calefacción con la Config.1 de la Prótesis mientras que para la demanda de enfriamiento se obtiene un ahorro de un 41,6% con la Config.8 de la Prótesis.

Clima Sur Extremo (SE) representado por Punta Arenas, es posible obtener un incremento de las horas en confort térmico de 13,3% para la demanda de calefacción con la Config.5 de la Prótesis.

Capítulo IV – Resultados.

Cabe mencionar que el análisis se realizó en el periodo otoñal (semanas 12 y 13). En cuanto al ahorro energético se obtiene un 6,15% anual para la demanda de calefacción con la Config.1 de la Prótesis. Demanda de enfriamiento no existe.

Clima Andino (An) representado por Lonquimay, es posible obtener un incremento de las horas en confort térmico de 11,31% para la demanda de calefacción con la Config.4 de la Prótesis. Respecto a la demanda de enfriamiento, el incremento es de un 5,9% con la Config. 8 de la Prótesis. En cuanto al ahorro energético se obtiene un 10,4% anual para la demanda de calefacción con la Config.1 de la Prótesis mientras que para la demanda de enfriamiento se obtiene un ahorro de un 77,9% con la Config.6 de la Prótesis.

Tabla 78. Resumen incremento % de horas en confort térmico y % de ahorro energético anual. Máximos obtenidos.

	Incremento horas en confort térmico				Ahorro energético			
	Dem. Calef.	Config.	Dem. Enfr.	Config.	Cons. Calef.	Config.	Cons. Enfr.	Config.
ND	10,7%	5	1,5%	8	29,1%	1	26,23%	8
CI	6,25%	4	9,52%	8	14,1%	1	41,6%	8
SE	*13,3%	5	-	-	6,15%	1	-	-
An	11,31%	4	5,95%	8	10,4%	1	77,9%	6

El análisis del desempeño térmico es obtenido simulando el modelo en oscilación libre. El análisis de desempeño energético es realizado con HVAC activado. De la observación de los resultados de los altos consumos energéticos por enfriamiento se concluye que la Prótesis debe considerarse como una alternativa de mejora bajo condiciones en oscilación libre, coincidente con realidad de la mayoría de las Viviendas Sociales del país.

Se aclara que las demandas tanto por calefacción y Enfriamiento fueron consideradas para la evaluación de las horas en confort térmico, esto es en oscilación libre. Para determinar el ahorro energético, se considera el consumo energético, toda vez que las simulaciones se realizaron con HVAC activado.

Los resultados del experimento de Agurto y sus colaboradores en el Clima CI muestran un desempeño térmico y energético superior a los obtenidos en los climas de este estudio, lo que puede deberse a las claras diferencias climáticas o a diferencias metodológicas entre ambos

Capítulo IV – Resultados.

estudios como puede ser el periodo de análisis. Otra diferencia puede ser la configuración de la Prótesis, la que no necesariamente debiera ser del mismo tamaño y configuración para distintos climas lo que representa una oportunidad continuidad de la investigación.

Estas razones permiten concluir que la estrategia bioclimática puede ser implementada en los cuatro climas estudiados, considerando nuevas configuraciones y ajustes particulares para el clima y el aporte esperado. Es necesario observar que estos resultados se obtienen considerando que la Celda posee valores U optimizados respecto a la realidad de la Vivienda Social en Chile (ver **Tabla 12**). Por otra parte, el rango de confort determinado para este estudio pudiera ser modificado dependiendo del clima en que se instalará la Prótesis, entendiendo que el usuario de Diego de Almagro puede tener una percepción del confort muy diferente al usuario de Punta Arenas.

Las limitaciones del estudio son varias; el diseño de la Celda si bien cumple con la normativa Minvu en cuanto a espacio y volumen y cumple con la Reglamentación Térmica de la zona a través del valor U, no representa la espacialidad del programa arquitectónico de una vivienda social real, sobre todo las que poseen 2 pisos.

El carácter experimental y simulado presentan un escenario extremadamente ideal de uso e infiltraciones. Esto es un desafío a considerar en nuevas investigaciones.

Otra limitación es el periodo de estudio, el que debe ser propuesto determinando periodos críticos de análisis para determinar la implementación de la Prótesis en periodos en que se requiera su aporte. Esto abre la posibilidad de configurar una Prótesis multifuncional.

Futuras investigaciones

Como lineamientos para futuras investigaciones, se propone el poder realizar este tipo de experimentos en Viviendas Sociales reales en uso para, de esta manera, eliminar el sesgo que podría representar un escenario extremadamente ideal.

También se propone el replicar el experimento y el estudio en el resto de los climas representativos de la realidad, en este caso de Chile, dando continuidad al experimento base de este estudio.

Retomando este mismo estudio, se propone realizar ajustes arquitectónicos y funcionales a la Prótesis, adaptándolo a las particularidades del clima en estudio, evaluando así su real aporte.

Referencias bibliográficas

- Agrawal, P. C. (1989). A review of passive systems for natural heating and cooling of buildings. *Solar and Wind Technology*, 6(5), 557–567. [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(89\)90091-X](https://doi.org/10.1016/0741-983X(89)90091-X)
- Agrometeorología | INIA. (n.d.). Retrieved November 5, 2020, from <https://agrometeorologia.cl/#>
- Agurto, C., & Fissore, A. (2017). *Análisis teórico experimental de un muro Trombe adosado a una vivienda en clima costero y del valle central de la región del Biobío*. Universidad de Concepción.
- Agurto, L., Abujidi, N., Espinosa, P., & Merino, L. (2014). *Low cost , low tech : experimental bioclimatic prosthesis for social architecture in the south of Chile . New strategies for incremental refurbishment for social housing in different contexts from*. (1), 1–23. <https://doi.org/10.13140/2.1.5045.4720>
- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., & De Troyer, F. (2020b). Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, 198(November 2019), 704–721. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.003>
- Agurto, L., Allacker, K., Fissore, A., Agurto, C., De Troyer, F., & Rebolledo, B. (2020). Bioclimatic Prosthesis: Experimental dataset for a low-cost Trombe wall to existing social housing refurbishment for an intermediate valley (Chillán) city in the south of Chile. *Data in Brief*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105547>
- Ahmed, O. K., Hamada, K. I., Salih, A. M., & Daoud, R. W. (2020). A state of the art review of PV-Trombe wall system: Design and applications. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 39(3), 1–16. <https://doi.org/10.1002/ep.13370>
- Amigo, C., Araya, P., & Billi, M. (2018). *Políticas públicas y pobreza energética en Chile : ¿ una relación fragmentada ?*
- Art.4.1.10, O. (2016). *Manual_Parte3*.
- Bojić, M., Johannes, K., & Kuznik, F. (2014). Optimizing energy and environmental performance of

- passive Trombe wall. *Energy and Buildings*, 70, 279–286.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.062>
- Bustamante, W. (2009a). Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. *Camino Al Bicentenario - Propuestas Para Chile*, 253–282.
- Bustamante, W. (2009b). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la Vivienda Social*. Retrieved from http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf
- Celis H., J., & Morales P., J. (2007). Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile). *Atenea*, (495), 165–182. <https://doi.org/10.4067/s0718-04622007000100010>
- Chan, H. Y., Riffat, S. B., & Zhu, J. (2010, February 1). Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp. 781–789. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.030>
- CITEC UBB. (2013). Manual de hermeticidad al aire de edificaciones. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ciudades más contaminadas del mundo en 2019 - Clasificación PM2.5 | AirVisual. (n.d.). Retrieved November 2, 2020, from <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities?continent=59af929e3e70001c1bd78e50&country=&state=&page=1&perPage=50&cities=>
- Damico, F. C., Alvarado, R. G., Kelly, M. T., Oyola, O. E., Oyola, O. E., & Diaz, M. (2012). Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista*, 8(1), 62–75. <https://doi.org/10.4013/arq.2012.81.07>
- Dattwyler, R. (2007). *La Vivienda Social en Chile: la acción del Estado en un siglo de planes y programas*. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn-45-1.htm>
- De Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>

- García de Paredes Pérez, E. (1996). El problema de la vivienda en Chile y su utilización política en el proceso de regionalización: el ejemplo de puerto Montt. *Norba: Revista de Arte*, (16), 351–368.
- Garrett, A., & New, J. (2016). Suitability of ASHRAE guideline 14 metrics for calibration. *ASHRAE Conference-Papers*, 122, 469–477.
- Henríquez Cortez, C. (2014). El confort térmico en la vivienda social en Chile: evolución histórica y posibilidades de introducción al diseño arquitectónico solar pasivo para su mejoramiento .”. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 84.
- Historia - Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (n.d.). Retrieved September 13, 2020, from <https://www.minvu.cl/sobre-minvu/historia/>
- In-Data, & CDT. (2019). *Informe Final Uso de la Energía Hogares Chile 2018*.
- INE. (2018). *Plan Nacional de Recopilación Estadística*. 439. Retrieved from www.ine.cl
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *NCh-1079-2008* (p. 43). p. 43.
- Inzunza, J. (2002). Climas De Chile. In *Meteorología Descriptiva*.
- IQAir. (2019). World Air Quality Report. *2019 World Air Quality Report*, 1–22. Retrieved from <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2019-en.pdf>
- Mendez, E. (n.d.). La vivienda social. Una historia de segregación. Retrieved September 13, 2020, from <https://iberoamericasocial.com/la-vivienda-social-una-historia-de-segregacion/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). *Construye Solar: Primer concurso de viviendas sociales sustentables*. Retrieved from http://www.ghbook.ir/index.php?name=option=com_dbook&task=readonline&book_id=13629&page=108&chckhashk=03C706812F&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Futuro de la calefacción en Chile: Opciones y Consecuencias (Future of Heating in Chile: Options and Consequences)*. Retrieved from <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/05/FUTURO-DE-CALEFACCION-EN-CHILE->

SEBASTIAN-TOLVETT-MMA.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2016*.

Minvu. *Decreto Ley 2552*. , (2020).

Molina, A., Falvey, M., & Rondanelli, R. (2017). A solar radiation database for Chile. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13761-x>

Molina, C., Kent, M., Hall, I., & Jones, B. (2020). A data analysis of the Chilean housing stock and the development of modelling archetypes. *Energy and Buildings*, 206, 109568. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109568>

Nanda, A. K., & Panigrahi, C. K. (2016, September 1). A state-of-the-art review of solar passive building system for heating or cooling purpose. *Frontiers in Energy*, Vol. 10, pp. 347–354. <https://doi.org/10.1007/s11708-016-0403-0>

NCh1079Of.2008. (2008). *Zonificación Climática de Chile*. Retrieved from <http://seigrapa.weebly.com/uploads/1/1/8/2/11828201/nch1079-1977.pdf>

Omer, A. M. (2008, December 1). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 2265–2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>

Pérez-Fargallo, A., Pulido-Arcas, J. A., Rubio-Bellido, C., Trebilcock, M., Piderit, B., & Attia, S. (2018). Development of a new adaptive comfort model for low income housing in the central-south of Chile. *Energy and Buildings*, 178, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.030>

Rabani, M., Kalantar, V., Dehghan, A. A., & Faghieh, A. K. (2015). Empirical investigation of the cooling performance of a new designed Trombe wall in combination with solar chimney and water spraying system. *Energy and Buildings*, 102, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.010>

Red de Pobreza Energética. (2018). *MEDIR POBREZA ENERGÉTICA: Alcances y limitaciones de indicadores internacionales para Chile*.

- Reglamento, A., Programa, D. E. L., Solidario, F., & Urbanismo, M. D. E. V. Y. (2020). *Decreto 49*. (2011), 1–87.
- RITCH07. (2007). *Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios. Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A. G.* 54.
- Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C. H., Asim, N., & Sulaiman, M. Y. (2012, October 1). Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 6340–6351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.032>
- Simian, J. M. (2010). Logros e Desafíos de La Política Habitacional en Chile. *Estudios Públicos*, (117), 270–322.
- Stallen, M., Chabannes, Y., & Steinberg, F. (1994). Potentials of prefabrication for self-help and mutual-aid housing in developing countries. *Habitat International*, 18(2), 13–39. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0197-3975(94)90048-5)
- Stazi, F., Mastrucci, A., & di Perna, C. (2012). Trombe wall management in summer conditions: An experimental study. *Solar Energy*, 86(9), 2839–2851. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.025>
- Tam, V. W. Y., Almeida, L., & Le, K. (2018). Energy-related occupant behaviour and its implications in energy use: A chronological review. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su10082635>
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. Y. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42(10), 3642–3654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>
- Vergara Perucich, F., & Boano, C. (2016). Bajo escasez ¿Media casa basta? Reflexiones sobre el Pritzker de Alejandro Aravena. *Revista de Arquitectura*, 21(31), 37. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2016.42516>
- Wegertseder, P., & Trebilcock, M. (2015). Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas sociales existentes en Chile. *Ambiente*

Construido, 15(2), 47–63. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200013>

World's Most Polluted Cities in 2019 - PM2.5 Ranking | AirVisual. (n.d.). Retrieved February 21, 2021, from <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities?continent=59af929e3e70001c1bd78e50&country=&state=&page=1&perPage=50&cities=>

Zhou, L., Huo, J., Zhou, T., & Jin, S. (2020). Investigation on the thermal performance of a composite Trombe wall under steady state condition. *Energy and Buildings*, 214, 109815. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109815>

Zrikem, Z., & Bilgen, E. (1987). Theoretical study of a composite Trombe-Michel wall solar collector system. *Solar Energy*, 39(5), 409–419. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80059-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80059-2)

Anexos

Desempeño térmico mensual - Clima Norte Desértico; Diego de Almagro

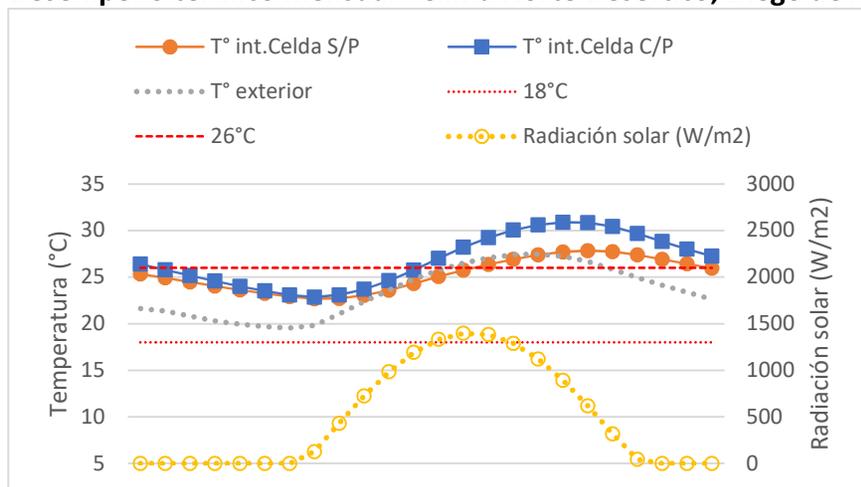


Gráfico 157. Desempeño promedio enero.

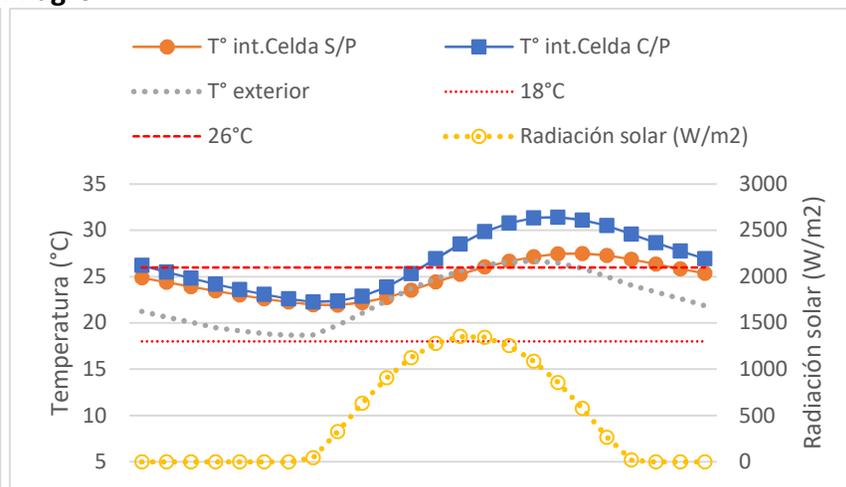


Gráfico 158. Desempeño promedio febrero.

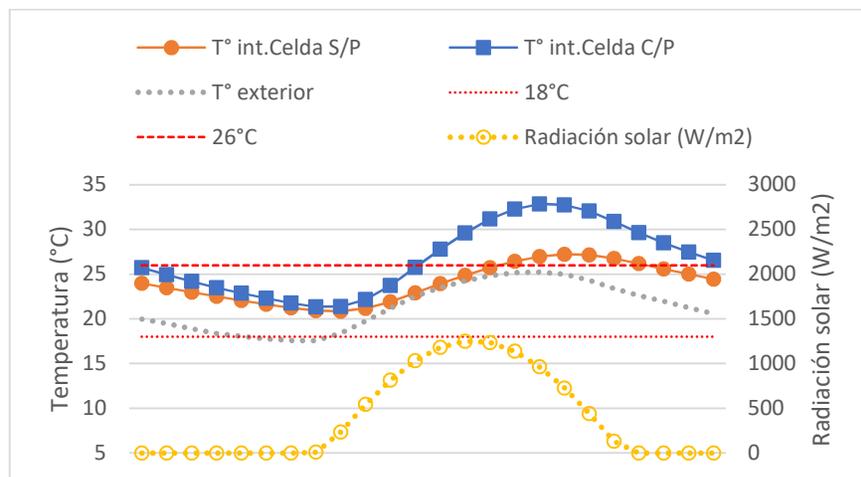


Gráfico 159. Desempeño promedio marzo.

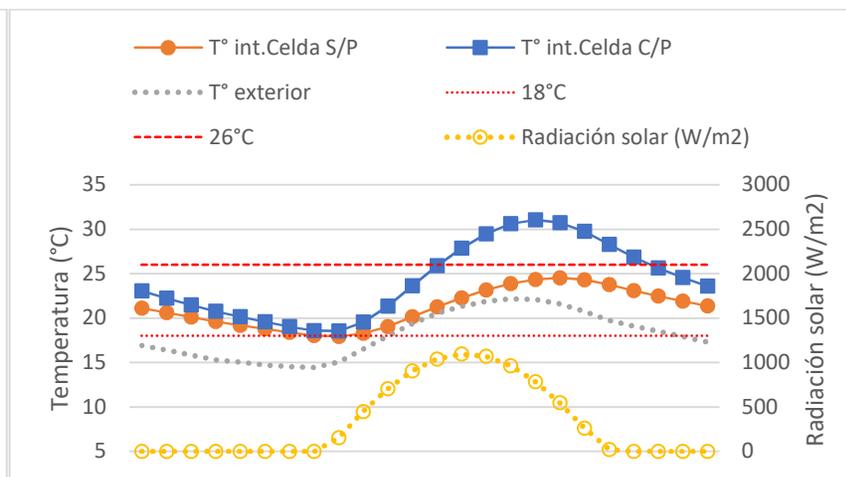


Gráfico 160. Desempeño promedio abril.

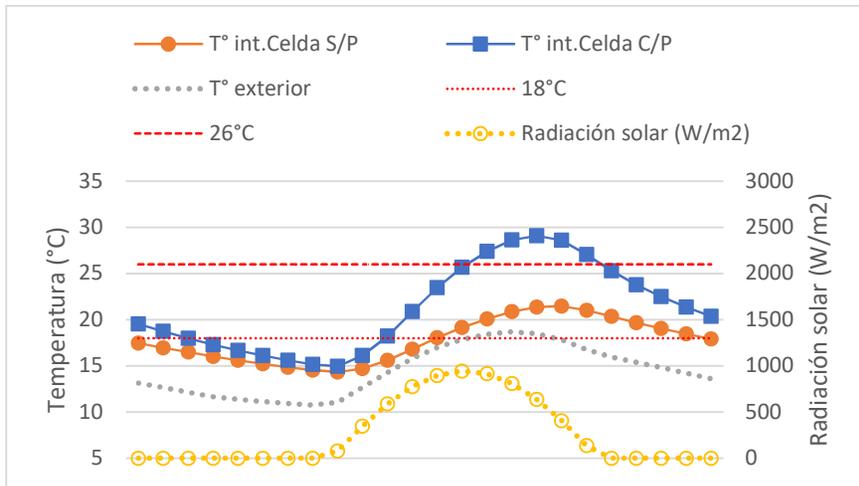


Gráfico 161. Desempeño promedio mayo.

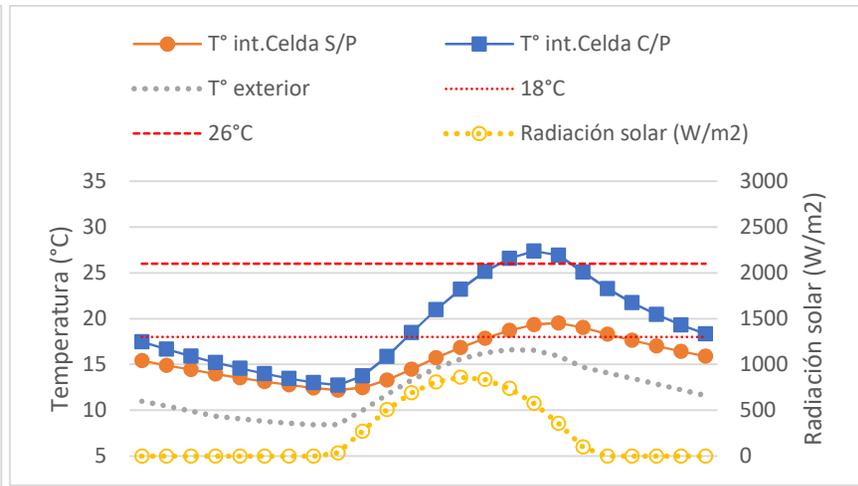


Gráfico 162. Desempeño promedio junio.

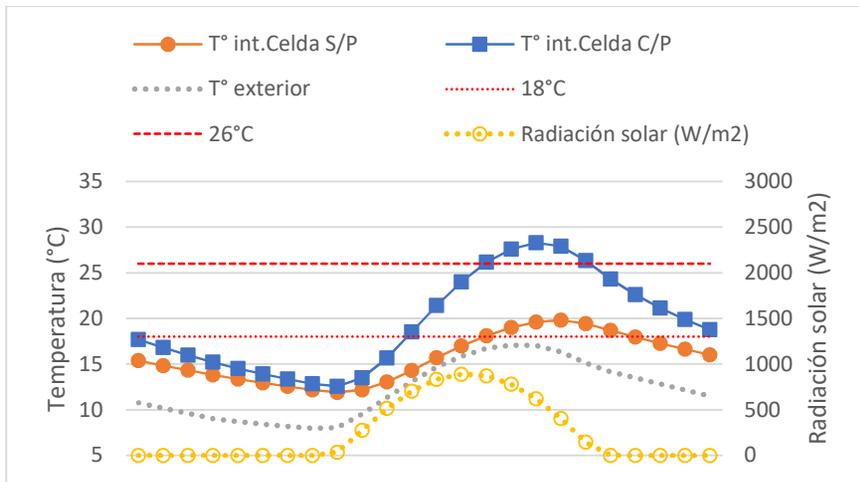


Gráfico 163. Desempeño promedio julio.

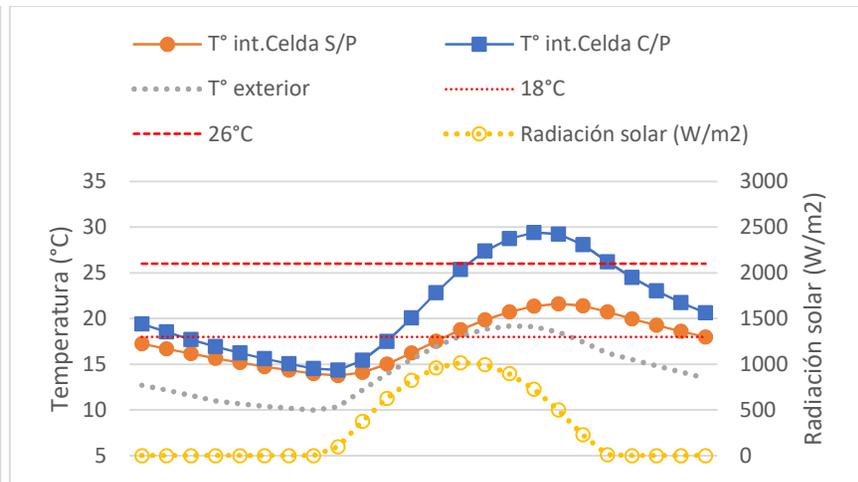


Gráfico 164. Desempeño promedio agosto.

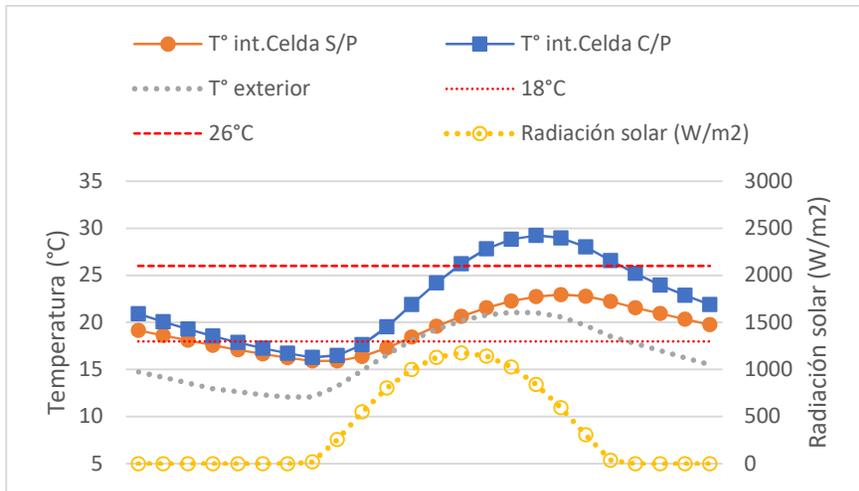


Gráfico 165. Desempeño promedio septiembre.

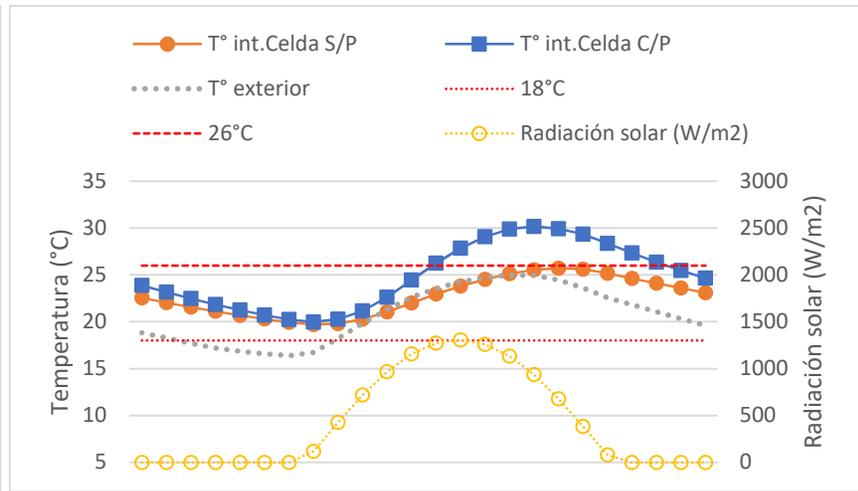


Gráfico 166. Desempeño promedio octubre.

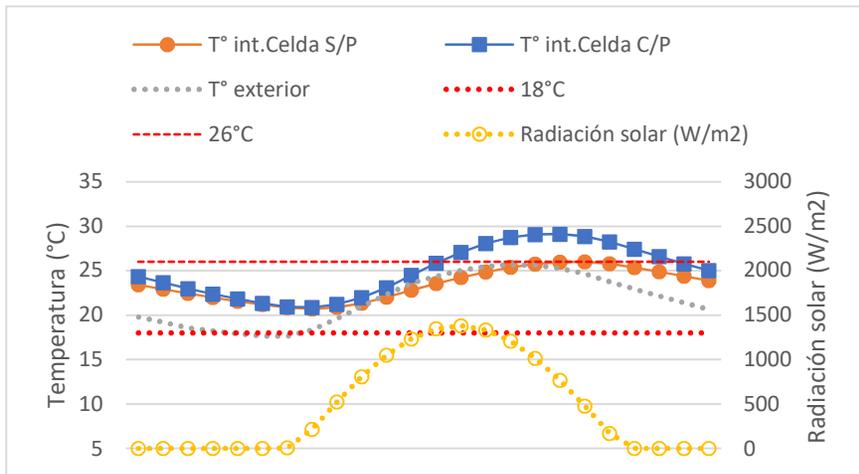


Gráfico 167. Desempeño promedio noviembre.

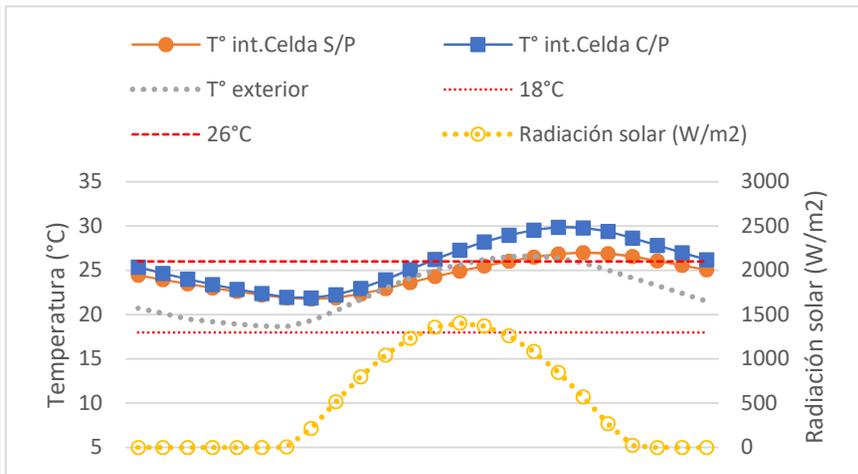


Gráfico 168. Desempeño promedio diciembre.

Desempeño térmico mensual - Clima Central Interior; Pudahuel.

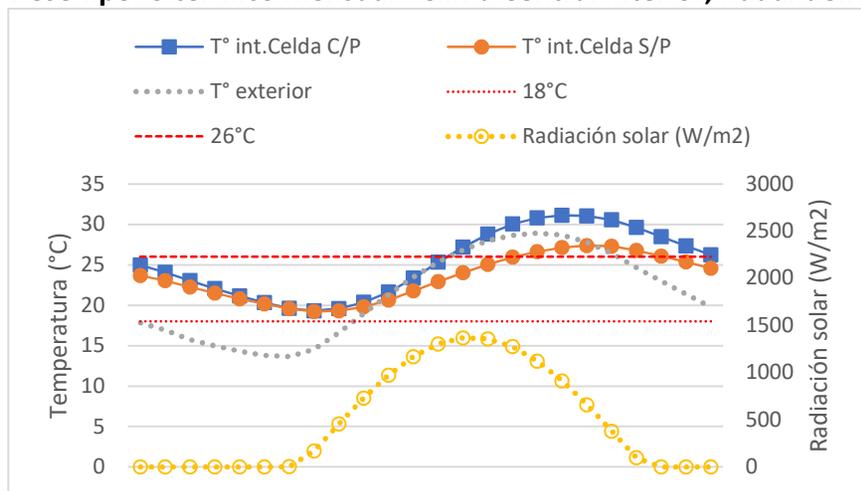


Gráfico 169. Desempeño promedio enero.

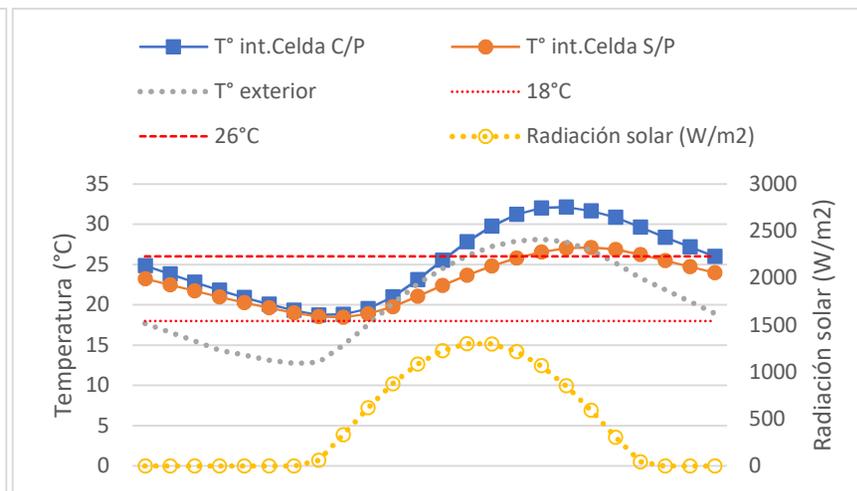


Gráfico 170. Desempeño promedio febrero.

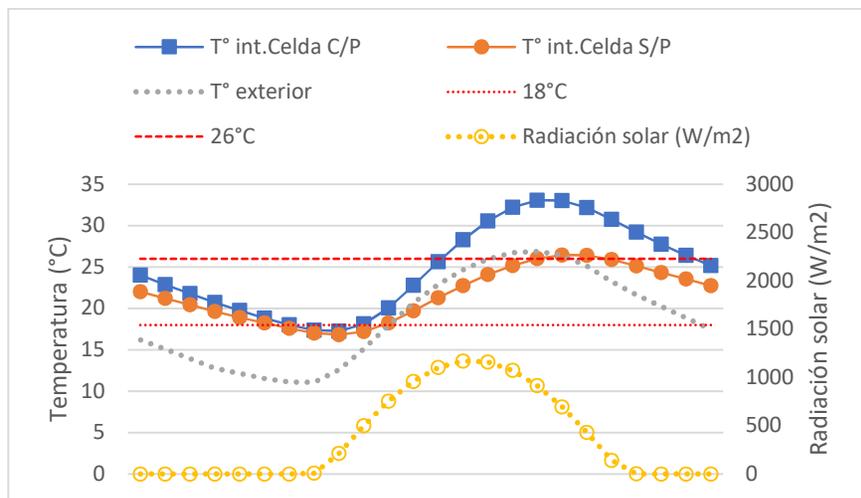


Gráfico 171. Desempeño promedio marzo.

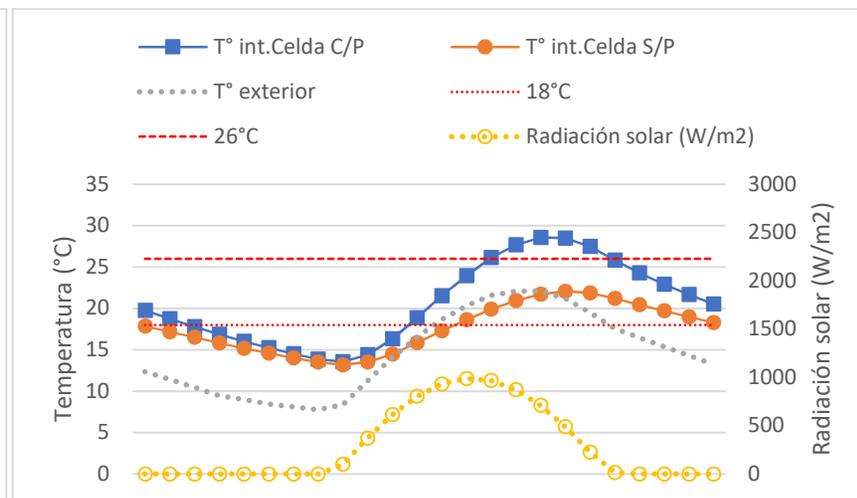


Gráfico 172. Desempeño promedio abril.

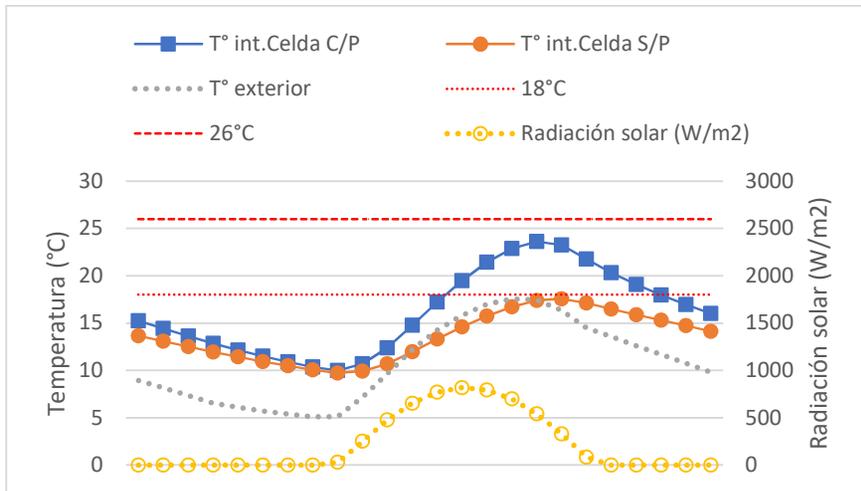


Gráfico 173. Desempeño promedio mayo.

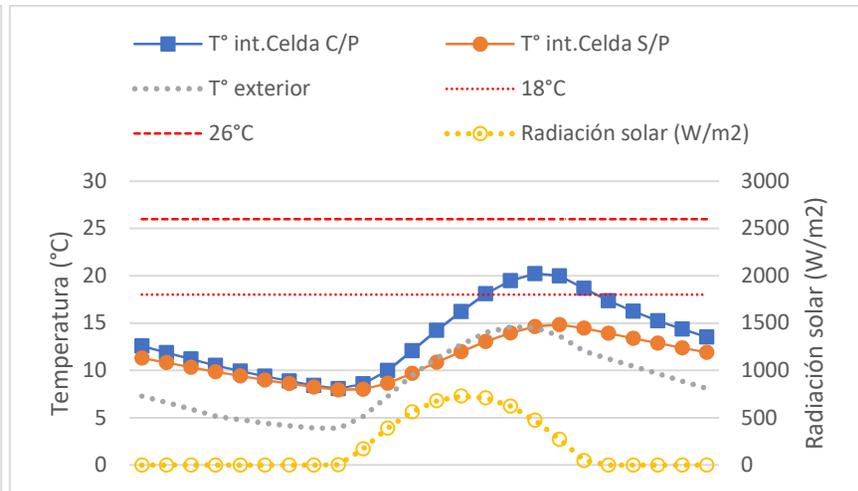


Gráfico 174. Desempeño promedio junio.

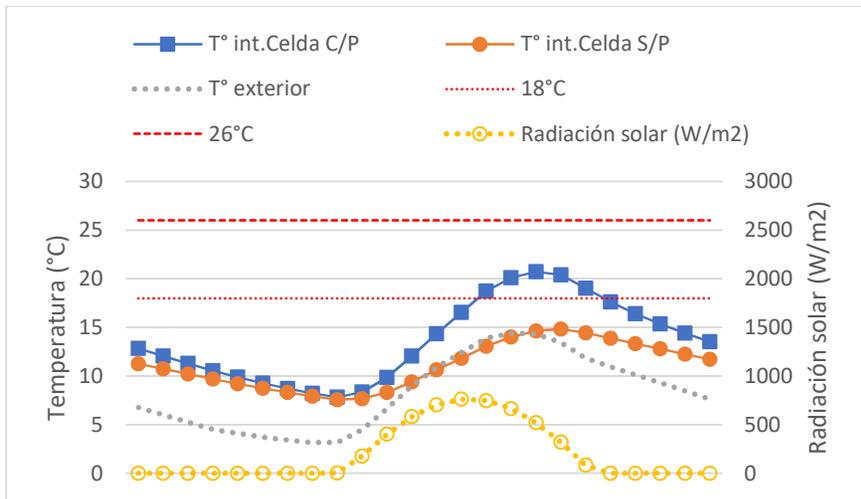


Gráfico 175. Desempeño promedio julio.

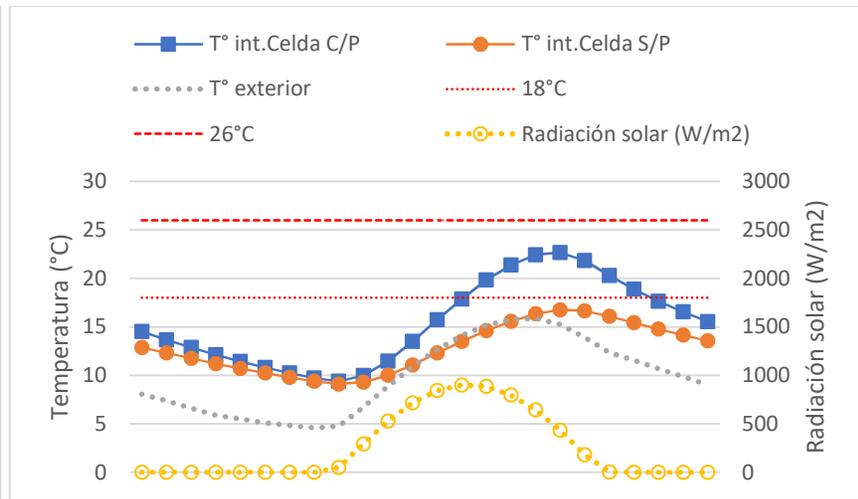


Gráfico 176. Desempeño promedio agosto.

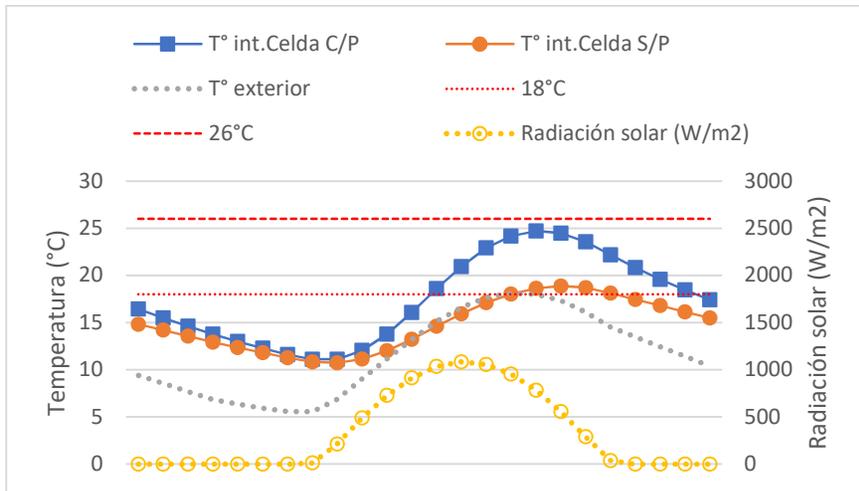


Gráfico 177. Desempeño promedio septiembre.

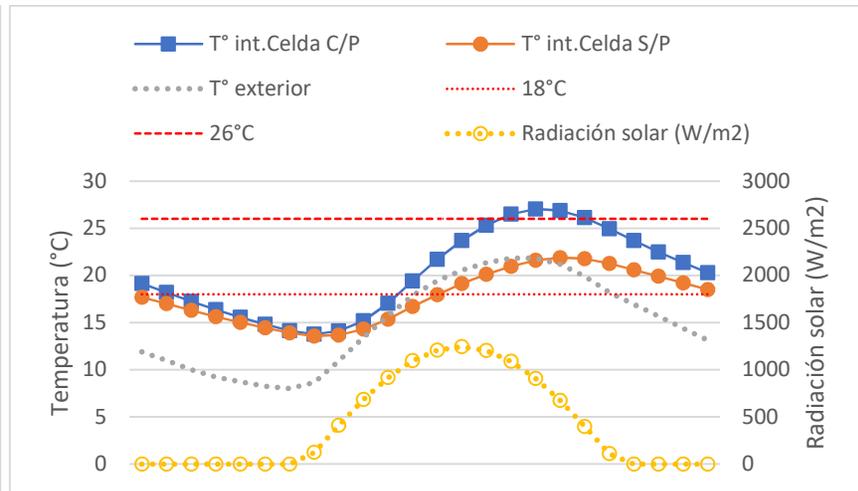


Gráfico 178. Desempeño promedio octubre.

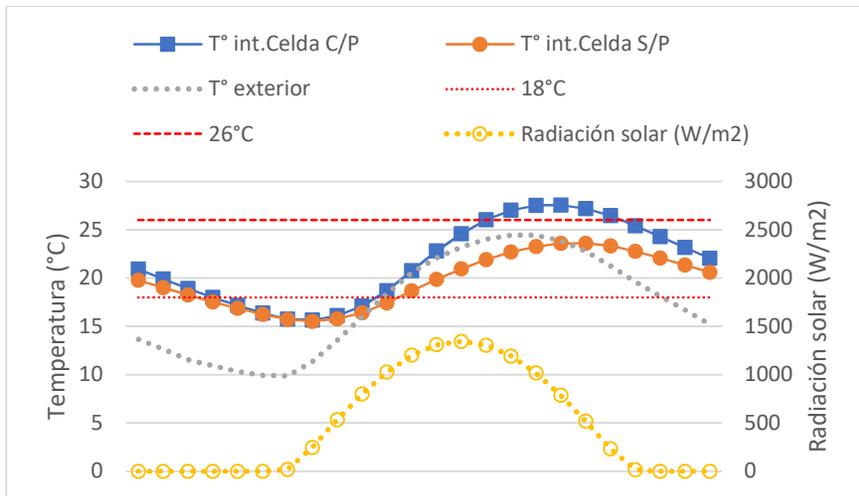


Gráfico 179. Desempeño promedio noviembre.

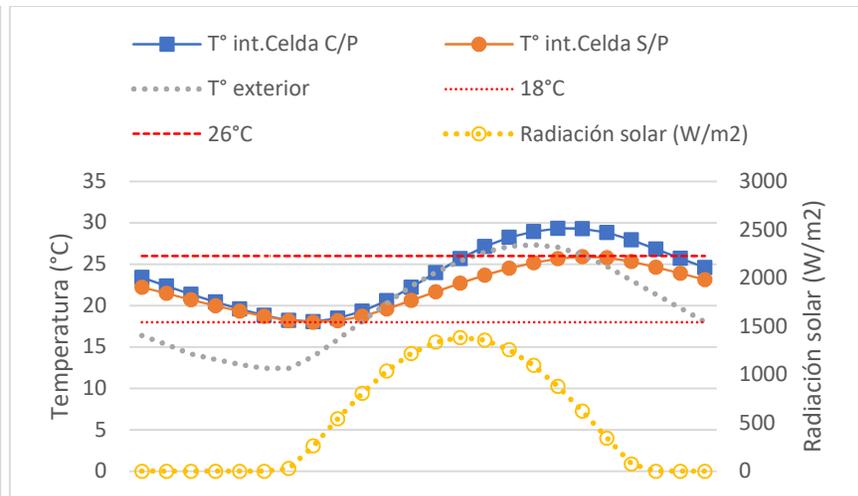


Gráfico 180. Desempeño promedio diciembre.

Desempeño térmico mensual - Clima Sur Extremo; Punta Arenas.

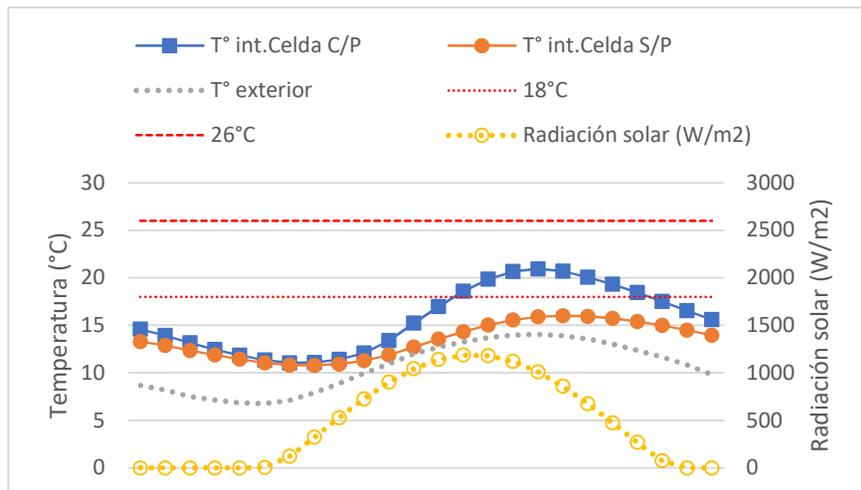


Gráfico 181. Desempeño promedio enero.

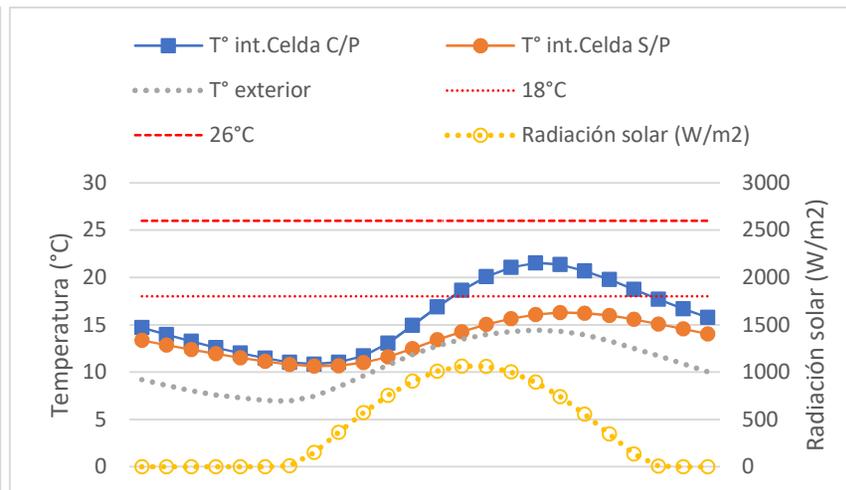


Gráfico 182. Desempeño promedio febrero.

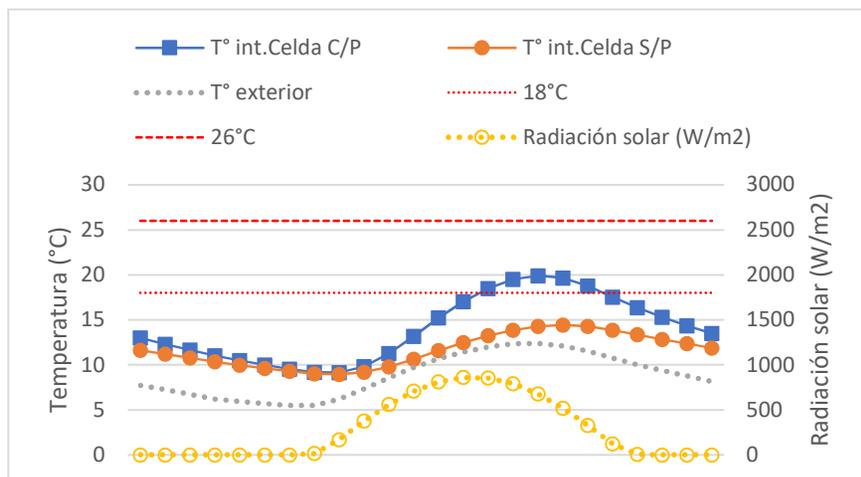


Gráfico 183. Desempeño promedio marzo.

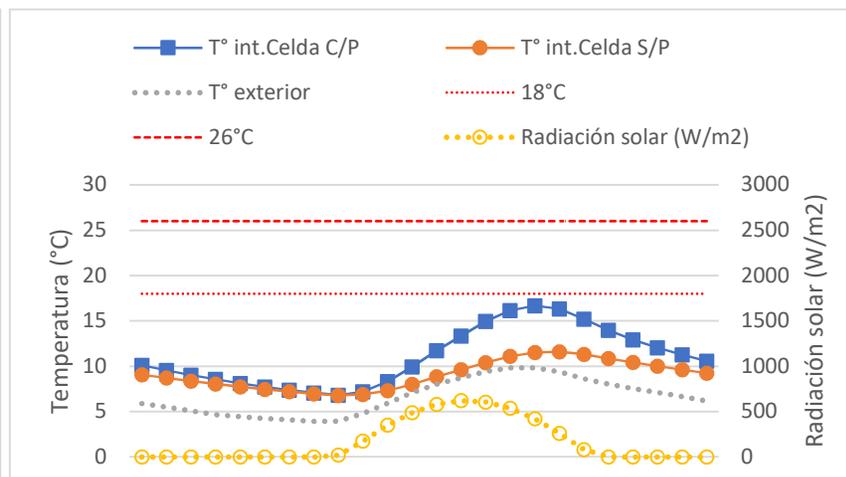


Gráfico 184. Desempeño promedio abril.

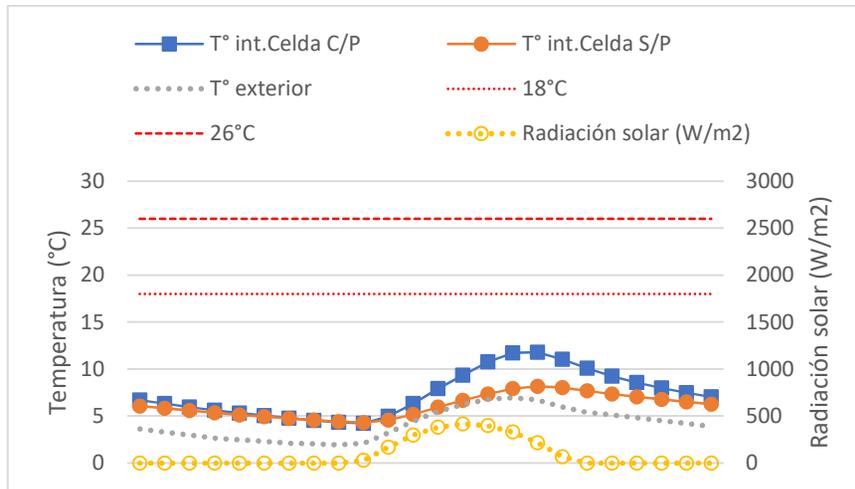


Gráfico 185. Desempeño promedio mayo.

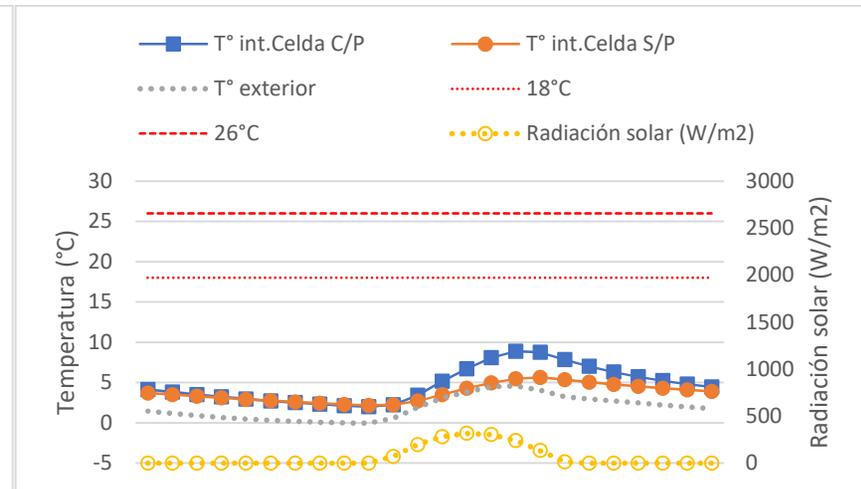


Gráfico 186. Desempeño promedio junio.

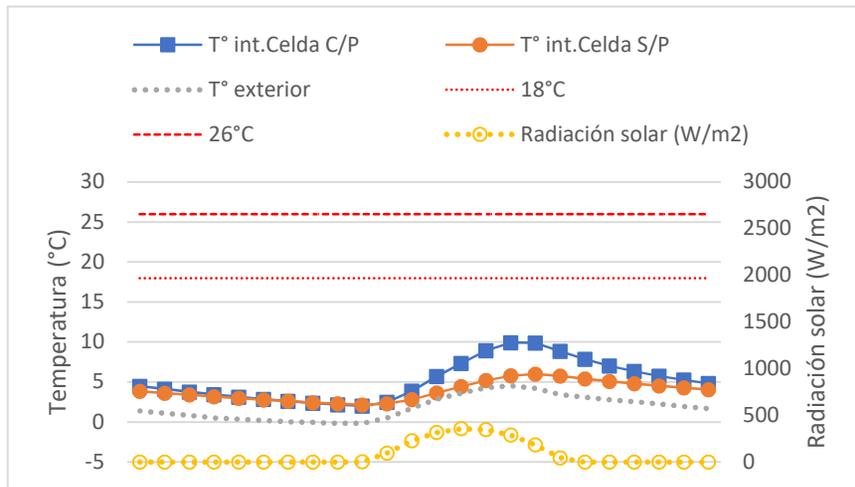


Gráfico 187. Desempeño promedio julio.

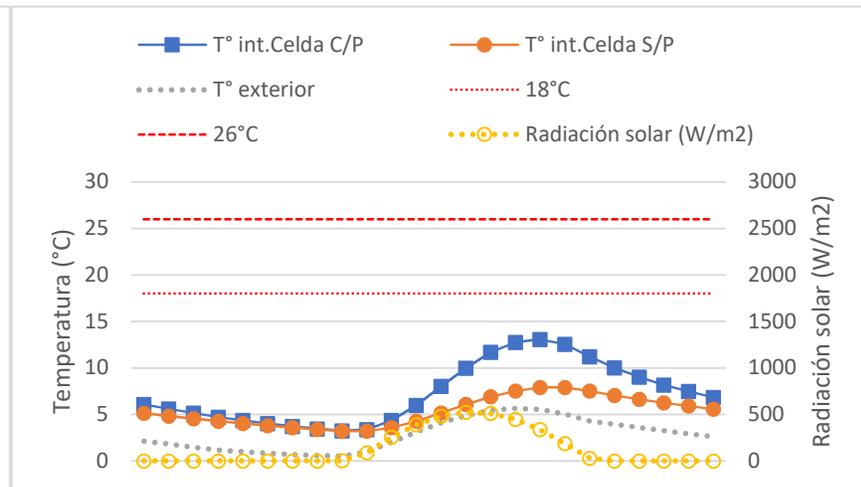


Gráfico 188. Desempeño promedio agosto.

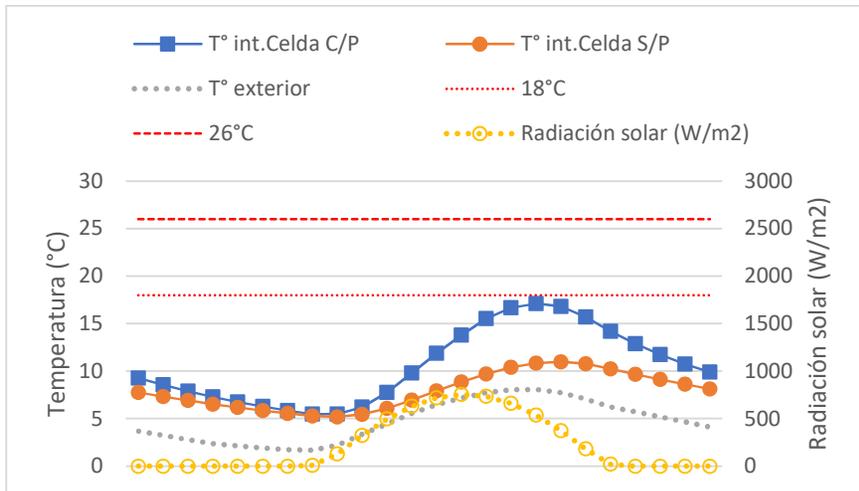


Gráfico 189. Desempeño promedio septiembre.

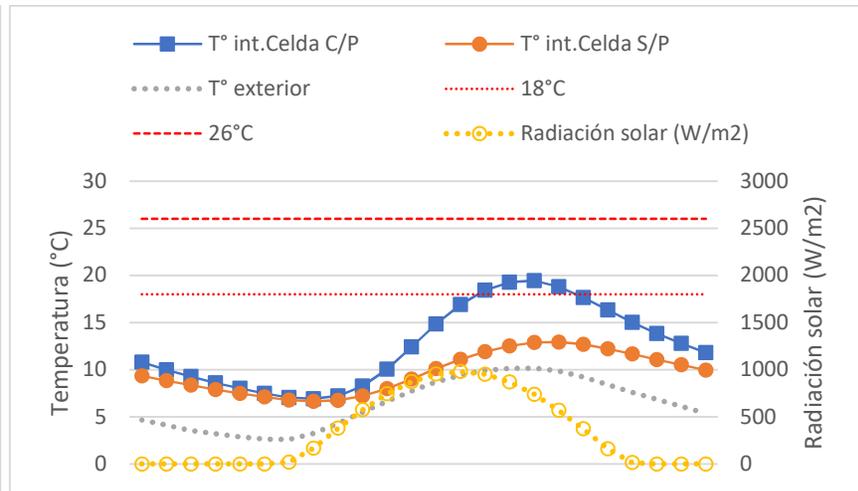


Gráfico 190. Desempeño promedio octubre.

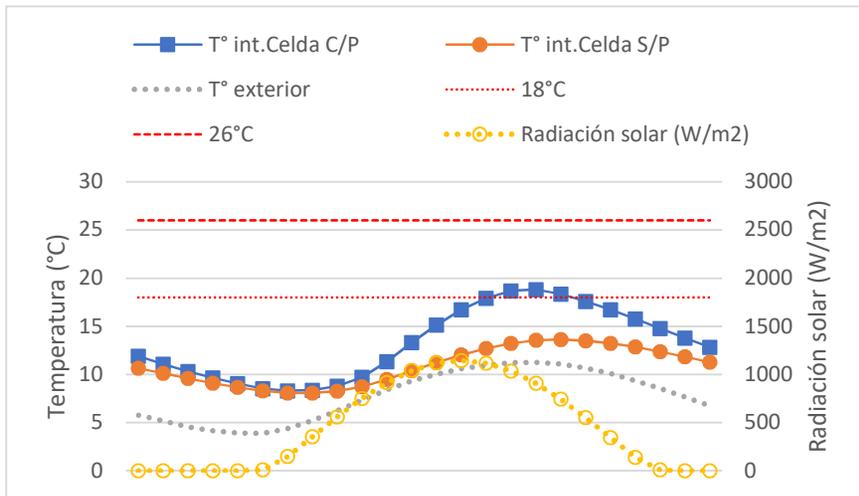


Gráfico 191. Desempeño promedio noviembre.

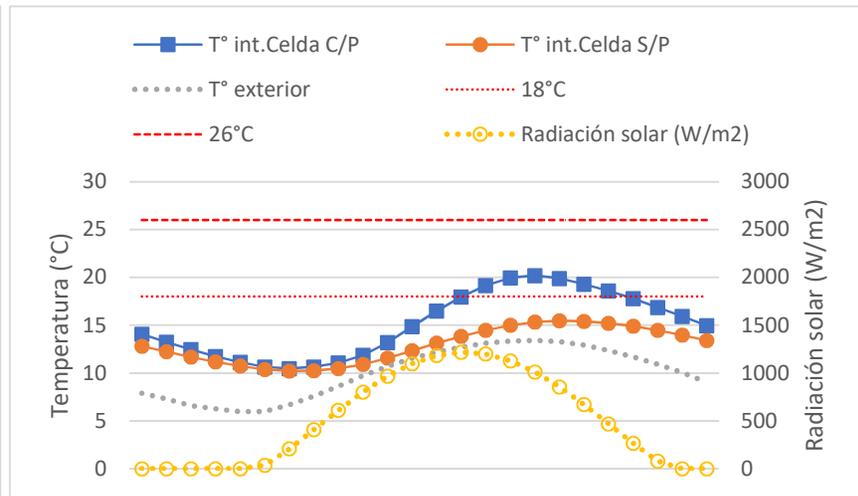


Gráfico 192. Desempeño promedio diciembre.

Desempeño térmico mensual - Clima Andino; Lonquimay.

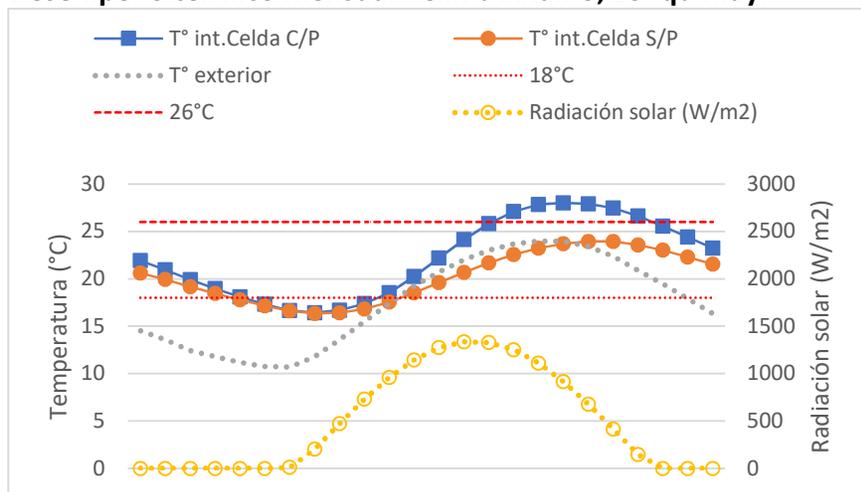


Gráfico 193. Desempeño promedio enero.

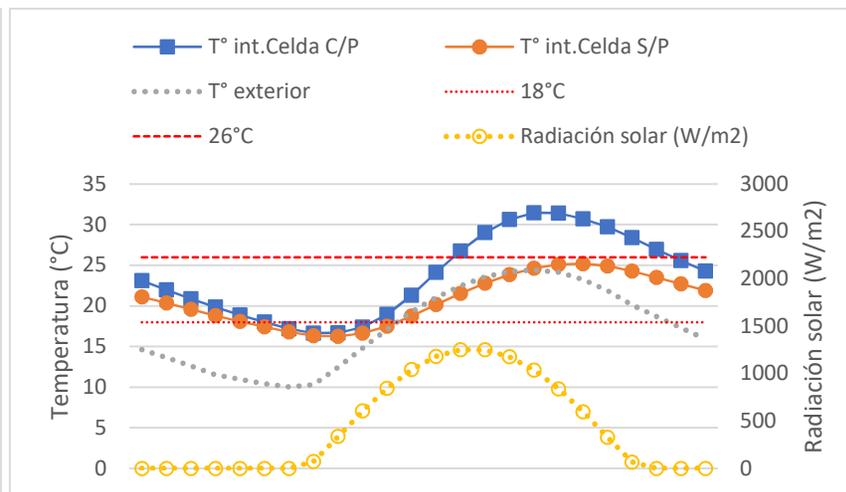


Gráfico 194. Desempeño promedio febrero.

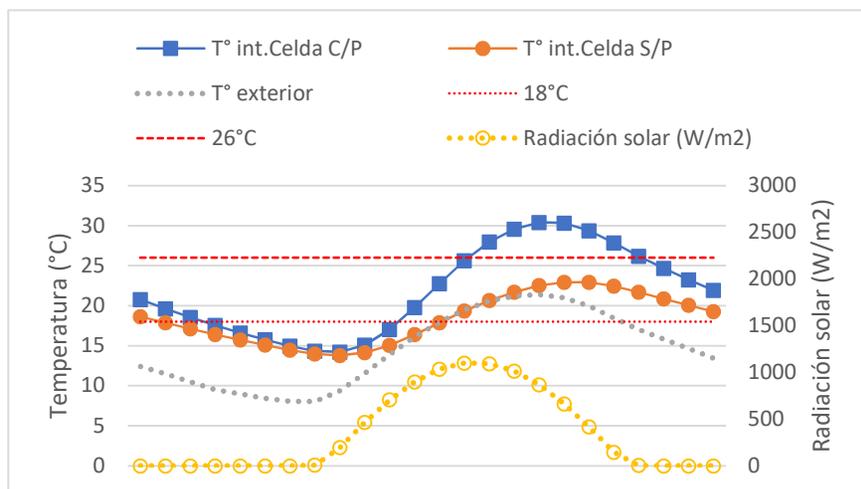


Gráfico 195. Desempeño promedio marzo.

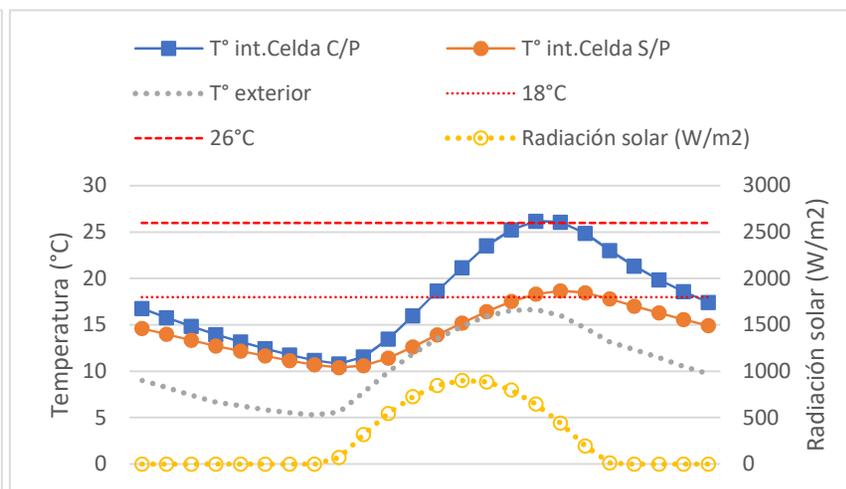


Gráfico 196. Desempeño promedio abril.

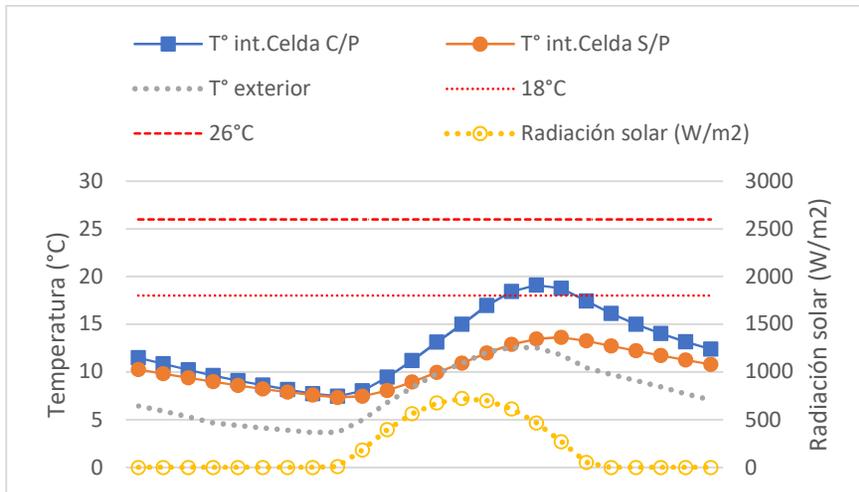


Gráfico 197. Desempeño promedio mayo.

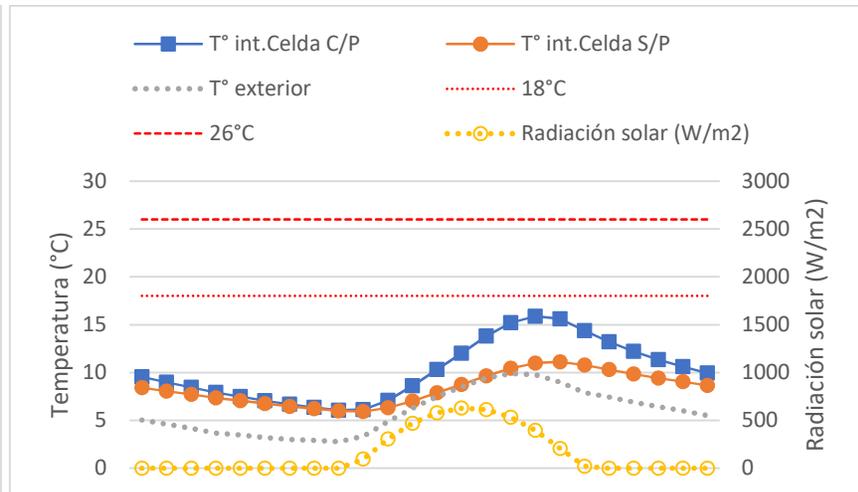


Gráfico 198. Desempeño promedio junio.

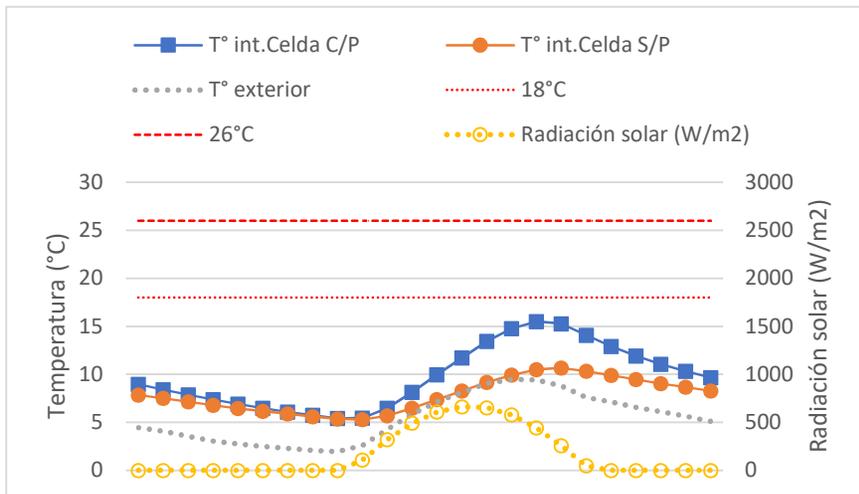


Gráfico 199. Desempeño promedio julio.

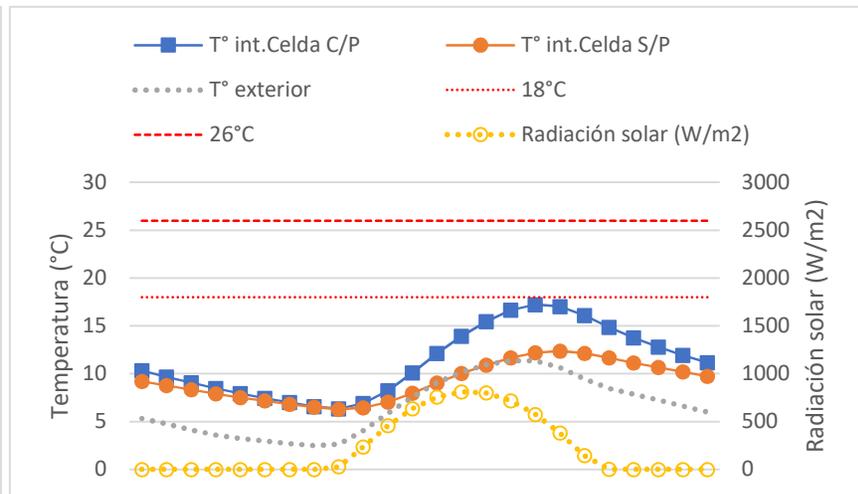


Gráfico 200. Desempeño promedio agosto.

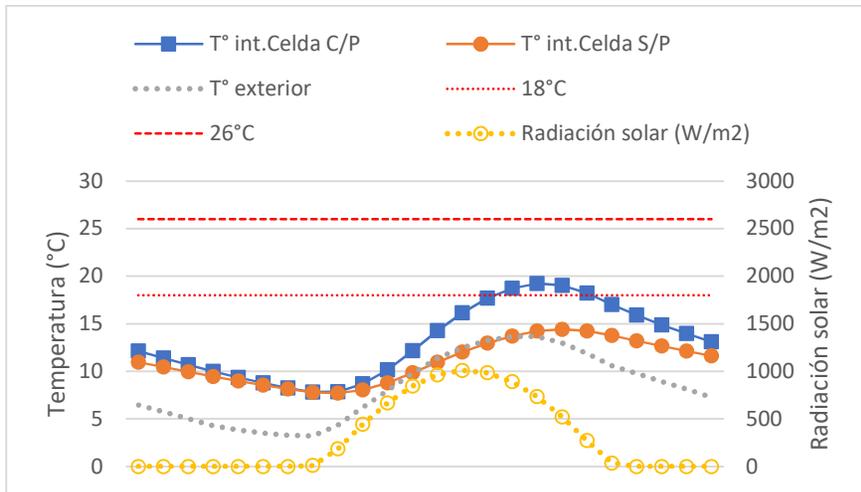


Gráfico 201. Desempeño promedio septiembre.

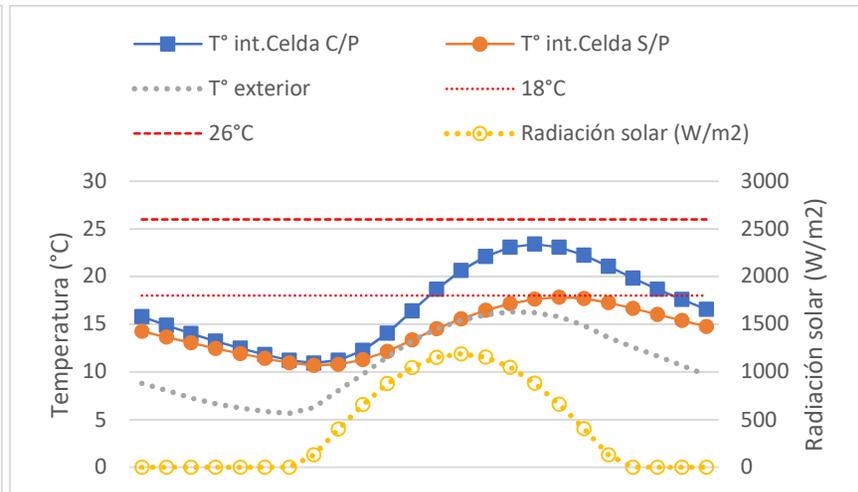


Gráfico 202. Desempeño promedio octubre.

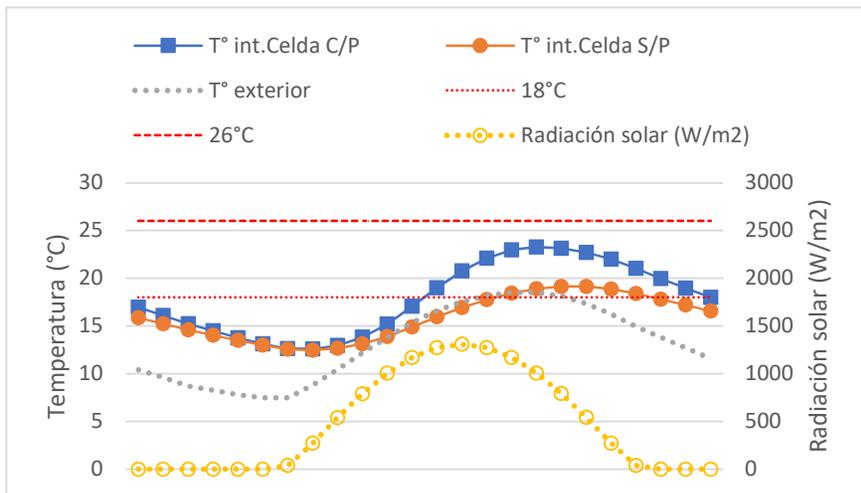


Gráfico 203. Desempeño promedio noviembre.

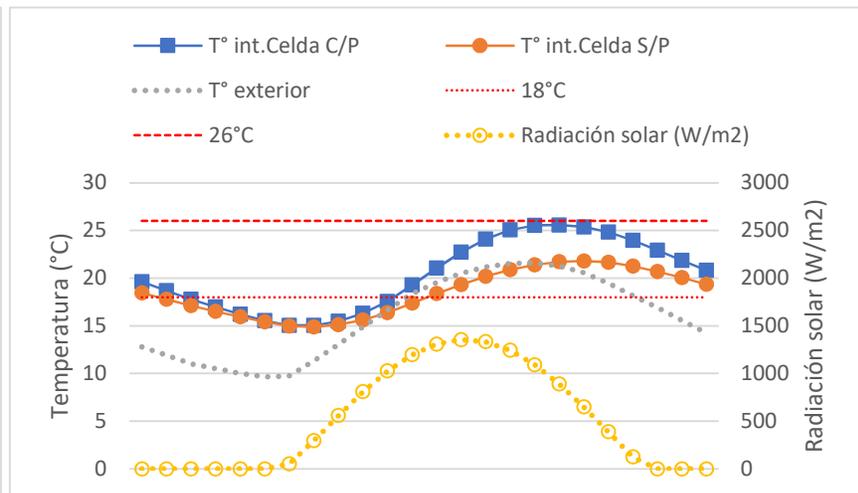


Gráfico 204. Desempeño promedio diciembre.



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**Evaluación del desempeño térmico y energético de un prototipo de
Vivienda Social con Muro Trombe de bajo costo adaptativo para cuatro
climas de Chile.**