



**UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN**



---

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER:**

**MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y  
EFICIENTES**

**AUTOR:**

Felipe Riquelme Bórquez

**TUTOR:**

Dr. Carlos Rubio Bellido  
Dr. Francisco Javier Guevara García

**CURSO:**

2018 – 2019

**Septiembre 2019**

Agradecimiento.

Un infinito agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional y paciencia. A mis profesores por la enseñanza compartida, en especial a Carlos Rubio y Francisco Guevara por el excelente aporte profesional brindado como tutores, su paciencia y disponibilidad a lo largo del estudio.

Y agradecimientos especiales para todos mis amigos, amigas y demás personas que formaron parte de mi vida durante todo este periodo.



## ÍNDICE

0.	RESUMEN .....	5
1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	JUSTIFICACIÓN DEL TEMA .....	11
3.	OBJETIVOS.....	13
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4.	ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	14
4.1	PROYECTO .....	14
4.2	CONTEXTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE.....	15
4.3	CONDICIONES DE HABITALIDAD.....	17
4.4	NORMATIVA TÉRMICA CHILENA .....	17
4.5	NORMATIVA TÉRMICA ESPAÑOLA .....	19
4.6	ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE PARA VIVIENDAS EN CHILE.....	21
4.7	MANUALES Y DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	22
4.8	HERRAMIENTA DESIGN BUILDER .....	26
5.	METODOLOGÍA.....	27
5.1	DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA .....	27
6.	ANÁLISIS .....	29
6.1	CLIMAS .....	29
6.2	ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO.....	32
6.3	RESULTADO DE CONFORT TÉRMICO SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	37
6.4	ANÁLISIS PÉRDIDAS DE CARGAS.....	39
7.	ESTUDIOS Y PROPUESTAS .....	40
7.1	MAE1 VENTANAS DOBLE CON MARCOS DE PVC .....	40
7.2	MAE2 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA EIFS 8CMS DE ESPESOR.....	41
7.3	MAE3 VENTANA DOBLE CON MARCO DE PVC, SISTEMA EIFS 8CM E IMPLEMENTACIÓN DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON 5 RENOVACIONES POR HORA.....	42
7.4	INCORPORACIÓN DE VENTILACIÓN MECÁNICA.....	42
7.5	VENTILACIÓN MECÁNICA 5 REN/HR CON ENFRIAMIENTO GRATUITO.....	42
7.6	INCORPORACIÓN DE HVAC .....	43
7.7	RESULTADOS DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS.....	44
8.	RESUMEN DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS.....	64
8.1	RESUMEN DE PROPUESTAS IQUIQUE .....	64



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**  
Felipe Riquelme Bórquez

8.2 RESUMEN DE PROPUESTA SANTIAGO.....	65
8.3 RESUMEN DE PROPUESTA TALCA .....	66
8.4 RESUMEN DE PROPUESTA PUNTA ARENAS .....	67
9. CONCLUSIONES .....	69
9.1 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	71
10. REFERENCIAS.....	72
ANEXOS .....	77
ANEXO I: CONFORT TÉRMICO CASO INICIAL.....	77
ANEXO II: MAE1.....	79
ANEXO III: MAE2.....	81
ANEXO IV: MAE3 .....	82
ANEXO V: MAE4 .....	84
ANEXO VI: MAE5 .....	86
ANEXO VII: INCORPORACIÓN HVAC.....	88
ANEXO VIII: INCORPORACION HVAC 3,4 COP .....	90

## 0. RESUMEN

El presente trabajo de fin de máster tiene como objeto el estudio de un proyecto residencial ubicado en Chile, en la ciudad de Talca, el cual corresponde a 3 torres de viviendas de 8 plantas cada una con un total de 214 apartamentos, centrándose en el análisis del confort térmico mediante la envolvente térmica de una de las torres, ante esto se describe propuestas con posibles mejoras y el correspondiente análisis técnico y económico que cada una de ellas conlleva.

El objetivo se centra en la determinación de las horas de confort del conjunto residencial y como éstas varían según el emplazamiento del proyecto, por lo que se busca optimizar las soluciones de acuerdo con las distintas zonas climáticas y de este modo lograr estandarizar la solución óptima para generar mayor cantidad de confort térmico.

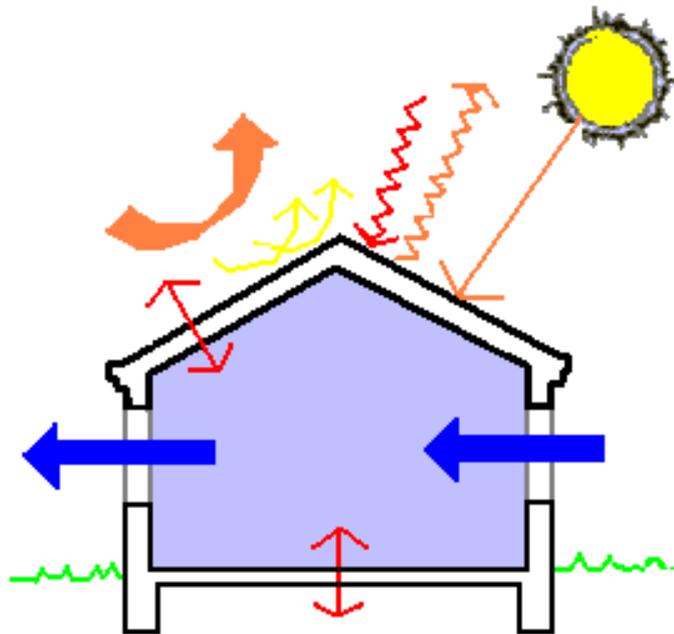


Imagen n°1: Factores de confort. Fuente: <http://confortarq.blogspot.com/2017/06/el-confort-termico-variables-de.html>

Para lograr los objetivos planteados, como primeras medidas se aplicarán distintas soluciones en base a estrategias pasivas en la envolvente del edificio y dado que el proyecto no cuenta con sistemas activos, esto se tendrá en consideración como posible mejora según los resultados que se obtengan de acuerdo con cantidad de horas de confort térmico para el proyecto.

El análisis comienza con el estudio del proyecto según las especificaciones técnicas, identificando cada uno de los componentes que conforman la envolvente, para

obtener el resultado inicial de confort térmico. Ante esto se determinan aquellos elementos donde se generan pérdidas de confort y así determinar las posibles hipótesis con las distintas medidas a adoptar, cada una de ellas se detallará los resultados obtenidos y su respectiva viabilidad técnica y económica.

Para lograr los resultados, se llevarán a cabo una serie de simulaciones las cuales se utiliza la herramienta Design Builder, la recopilación de datos a obtener será en base a horas. Cada simulación se realizará según ubicación geográfica a analizar, implementando mejoras de ahorro energético sostenibles, se analizará la utilización de ventilación mecánica.

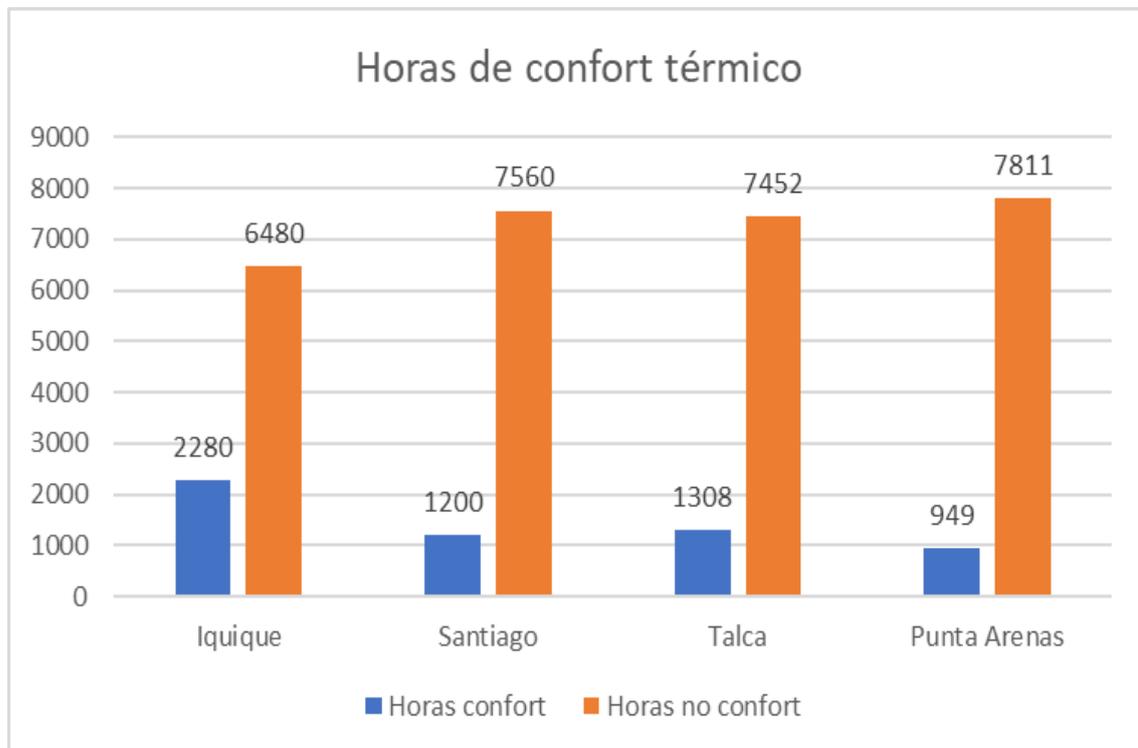


Gráfico n°1: Horas de confort térmico inicial. Fuente Elaboración Propia

Como último análisis dado a que el proyecto Vista San Miguel no cuenta con la incorporación de sistema de calefacción y aire acondicionado, se implementará y analizará de acuerdo con las distintas ciudades y distintos coeficientes de rendimientos y cómo estos implicaría en el consumo de energía en las viviendas del proyecto.

De la investigación realizada se ha podido concluir que alternativa que entrega mejores valores en la cantidad de horas de confort es implementar la ventilación mecánica incorporando enfriamiento gratuito y recuperación de calor, La incorporación de enfriamiento gratuito y de recuperación de calor es una excelente opción a la hora de cuantificar el ahorro energético ya que esto significa la reutilización del aire lo cual no genera costos adicionales para el consumo del hogar.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to study a residential project located in Chile, in the city of Talca, which corresponds to 3 towers of 8 floors each with a total of 214 apartments, focusing on the analysis of Comfort termic or through the thermal envelope of one of the towers, this describes proposals with possible improvements and the corresponding technical analysis that each implies.

The objective is focused on the determination of the hours of comfort of the residential complex and as these vary according to the site of the project, so it is sought to optimize the solutions according to the different climatic zones and thus to achieve standardize the Optimal enclosure to generate a greater amount of thermal comfort.

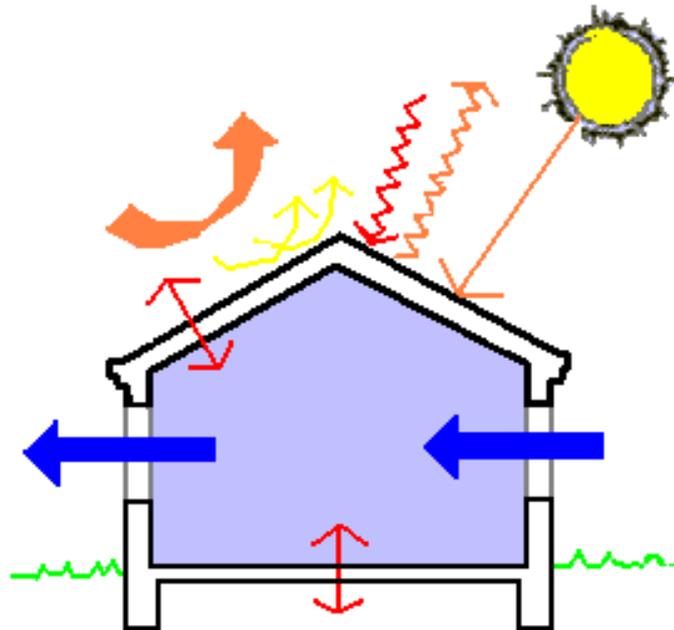


Image Nº 1: Comfort factors. Source: <http://confortarq.blogspot.com/2017/06/el-confort-termico-variables-de.html>

To achieve the objectives raised, as first measures will apply different solutions based on passive strategies in the enclosure of the building and because the project does not have active systems, this will be considered as possible improvement according to the Results obtained according to the number of hours of thermal comfort and for the project.

The analysis begins with the study of the project according to the technical specifications, identifying each one of the components that make up the enclosure, to obtain the initial result of thermal comfort. This determines the elements where loss of comfort is generated and thus determine the possible hypothesis with the different

measures to be taken, each of them will detail the results obtained and their respective technical road.

To achieve the results, a series of simulations will be carried out which will be carried out by means of Design Builder, the data collection to be obtained will be based on hours. Each simulation will be carried out according to geographical location to analyze, implementing sustainable energy saving improvements, the utilization of mechanical ventilation will be analyzed.

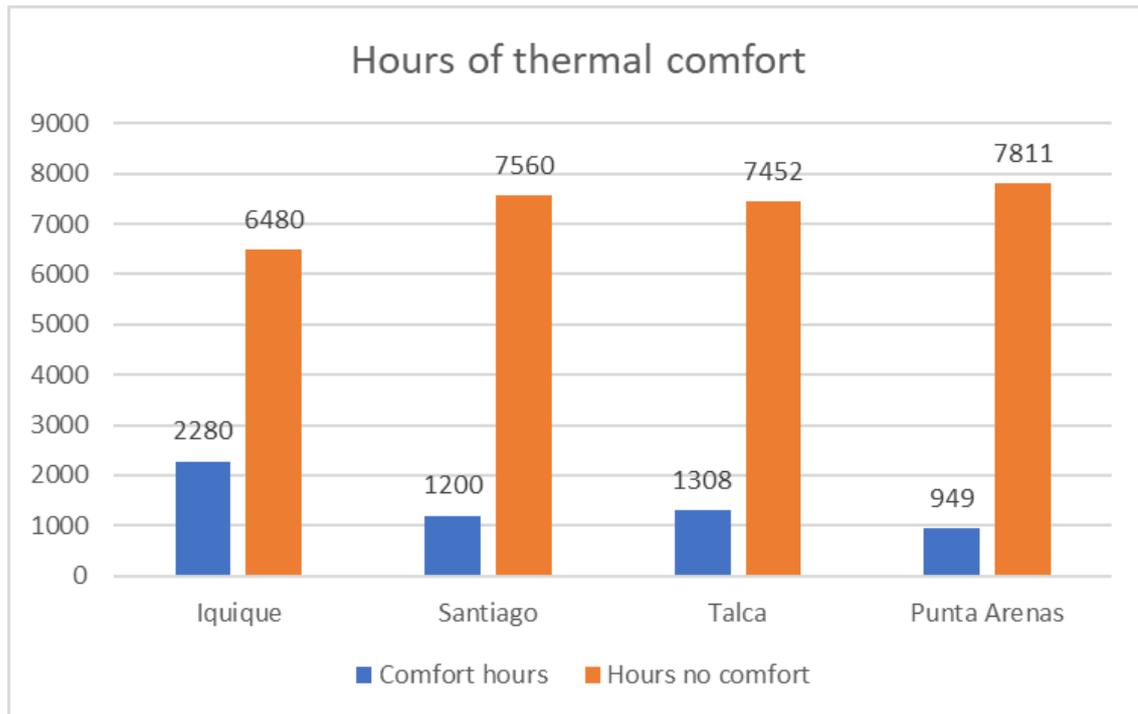


Chart N°1: Hours of Initial Thermal Comfort. Source: Own Elaboration

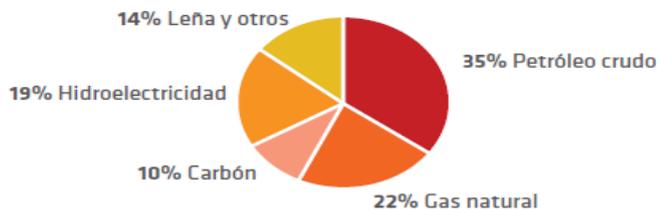
As last analysis given that the project Vista San Miguel does not have the incorporation of heating system and air conditioning, will be analyzed according to the different cities and different coefficients of yields and how these would imply in the consumption of Energy in the housing of the project.

From the research carried out it has been concluded that alternative that delivers better values in the amount of hours of comfort is to implement mechanical ventilation incorporating free cooling and heat recovery, The incorporation of cooling Free and heat recovery is an excellent option when it comes to quantifying energy savings as this means air reuse which does not create additional costs for household consumption.

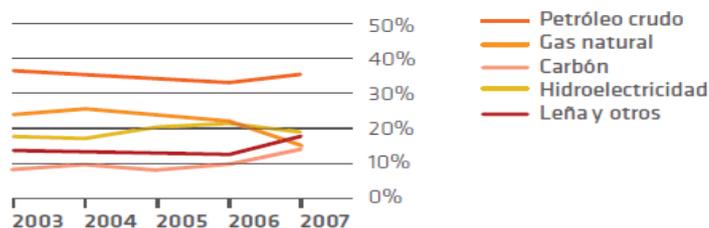
## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las acciones fundamentales en todas las industrias en la actualidad es la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, dado a que se ve gravemente afectado por las acciones del ser humano, por el exceso de contaminación, uso indiscriminado de recursos naturales y mala gestión energética en todos los procesos del día a día, por lo que urge buscar soluciones que otorguen una excelente eficiencia energética, debiendo ser el objetivo último la auto eficiencia energética.

Ante lo señalado y analizando el sector de la construcción, según la investigación de Waldo Bustamante, en los últimos años, cerca de 35% de la energía primaria que consume Chile proviene del petróleo y el 19% corresponde a hidroelectricidad. La restante energía proviene del gas natural 22%, leña y otros 14%, carbón 16%. En el sector residencial, comercial y público el consumo de energía secundaria según Waldo Bustamante presenta un consumo del 27% en el país, mostrando así la importancia en relación con el consumo total. En el consumo de energía residencial prevalece la utilización de leña con un 60% de participación, luego le siguen el gas licuado, electricidad y gas natural<sup>1</sup>.



**Gráfico 1.1.1.1:** Energía primaria en Chile, promedio 2003 al 2007. Factor de conversión de 2504 kcal/kWh según parque generador nacional.  
**Fuente:** Elaboración propia según cifras CNE.

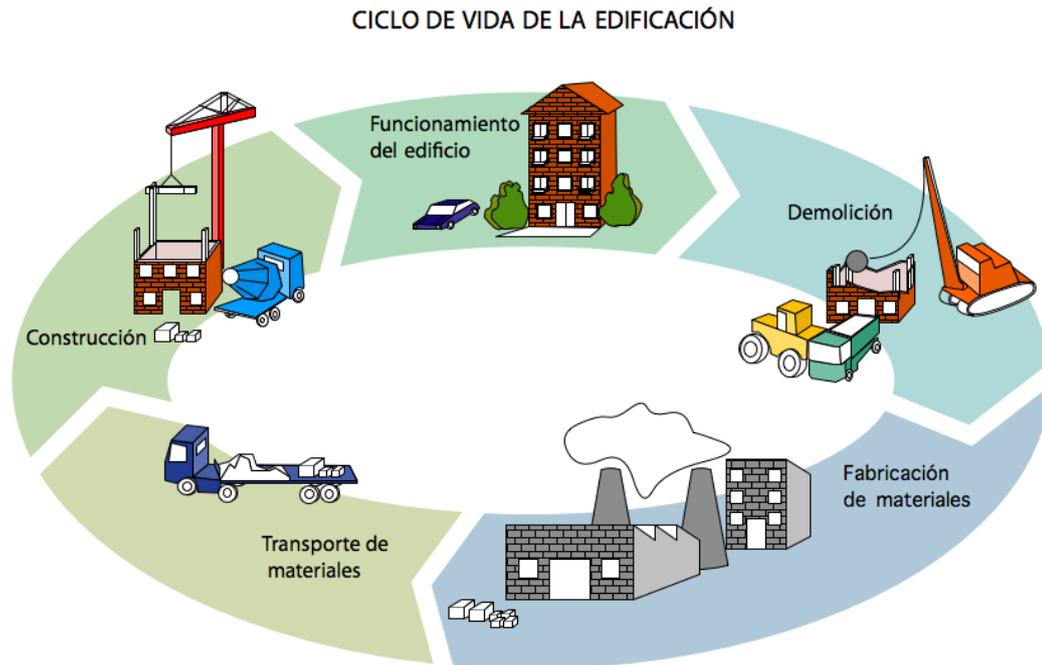


**Gráfico 1.1.1.2:** Variación porcentual consumo de energía primaria en Chile. Años 2003 al 2007.  
**Fuente:** Elaboración propia según cifras CNE.

Imagen n°2: Consumo de energía en Chile. Fuente Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile.

<sup>1</sup> Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile

Ante estos datos es posible apreciar los impactos ambientales que provocan las viviendas en la utilización de recursos energéticos, en donde se ven afectado tanto suelo, aire y agua. Según los datos aportados anteriormente el sector de la construcción tiene un rol fundamental en la cantidad de energía consumida en el país (Chile). En cada proceso constructivo existe un consumo de energía desde la extracción de las materias primas de los productos, su fabricación, construcción y su ulterior demolición.



*Imagen nº3: Ciclo de vida de la edificación. Fuente: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-antiores/53-edificios-verdes>*

La envolvente térmica del edificio determina la demanda total de energía para calefacción o refrigeración que será necesaria para alcanzar el confort térmico deseado dentro de la vivienda, según el clima y la zona geográfica en donde se emplace el proyecto inmobiliario. Por lo que el sistema constructivo utilizado para la envolvente está directamente relacionado con el consumo energético total del edificio y en su eficiencia energética.

Al igual que lograr un desarrollo sostenible en la construcción, es de real importancia lograr estándares de calidad en las viviendas, logrando así un equilibrio entre lo sostenible y generar confort térmico lo cual se traduce en ahorros de consumos de fuentes de energías.

La eficiencia energética en los edificios se puede lograr mediante el uso de estrategias que carácter arquitectónico como constructivas, las cuales deben lograr que el edificio se comporte de forma eficiente tanto en épocas de invierno como en las de verano, así como en la instalación de instalaciones eficientes y autoproducción energética, aunque estas medidas no son objeto de este trabajo.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La Agencia Internacional de Energía (IEA) define a la eficiencia energética como la piedra angular de la transición energética a una matriz más sostenible, junto con las energías renovables es la herramienta más efectiva en cuanto a reducción de los gases efectos invernadero y de los contaminantes locales, favoreciendo el cuidado de los recursos naturales, potenciando la productividad y competitividad de la economía y además contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas.



Imagen nº4: Construcción sustentable. Fuente: <http://www.umacon.com/noticia.php/es/la-importancia-de-la-construccion-sostenible/424>

La eficiencia energética explicaría más del 40% de la reducción de emisiones hacia 2040, según el último informe World Energy Outlook, considerando que la energía es responsable de 2/3 de los gases de efectos invernaderos a nivel mundial. La IEA reconoce como el primer combustible del sistema energético global a la eficiencia energética. Sin embargo, cerca del 70% del uso de la energía global no está cubierto por códigos o normas de eficiencia<sup>2</sup>.

Como profesionales de la construcción, estamos con el deber de generar en nuestro campo profesional prácticas que generen beneficios tanto para la sociedad y fundamentalmente para el medio ambiente, en donde éste último al día de hoy es

---

<sup>2</sup> Agencia de Sostenibilidad Energética (2019). Eficiencia energética: Una Oportunidad de asumir un nuevo liderazgo para Chile.



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**

**Felipe Riquelme Bórquez**

donde más urge debido a la explotación indiscriminada de los recursos naturales y fósiles, que han mermado la calidad de vida de las personas en todo el mundo.

El siguiente proyecto se centra en la cuantificación de las horas de confort según la aplicación de distintas mejoras para lograr mejorar las condiciones de habitabilidad y confort térmico en Chile, teniendo como base Los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile y la normativa española DBHE-1.

Unas correctas soluciones constructivas y pensadas de formas sostenibles contribuyen a una reducción considerable en las emisiones totales en el mundo, dado que el sector de la construcción se le atribuye un 40% de ellas.

La importancia del estudio radica en determinar en cómo podemos mejorar el confort térmico de las personas en el uso de viviendas residenciales en Chile, y así generar un ahorro de consumo energético proponiendo soluciones más sustentables y eficientes, para que de este modo se pueda contribuir a la eficiencia energética, ya que cada vez la demanda crece exponencialmente y los recursos son más escasos.

Ante esto, la inquietud y necesidad de aportar a una construcción más sostenible y eficiente es que he decidido enfocar el Trabajo de Fin de Máster en la mejora del confort mediante soluciones pasivas y eficientes y de este modo entregar un aporte ya sea en la empresa en la cual trabaje otorgando conocimientos e incentivar a una mejorar eficiente y más amigable con el medio ambiente.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Avanzar en la mejora de la eficiencia energética desde el estudio de la envolvente y la normativa de Chile mediante el uso de estrategias sostenibles y eficientes.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el contexto de la eficiencia energética en Chile.
- Analizar la normativa que regula la envolvente térmica y eficiencia energética en Chile y España.
- Analizar la envolvente térmica del edificio y cómo esta influye en el confort térmico.
- Proponer mejoras en la eficiencia energética en edificios residenciales por medio del uso de energía sostenible y eficiente, en base a la cuantificación de las horas de confort anual.

## 4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 4.1 PROYECTO

El proyecto Vista San Miguel, se encuentra ubicada en la ciudad de Talca, VII región del Maule, Chile, situada en la zona central, con un clima del tipo mediterráneo característico de la depresión intermedia del país.

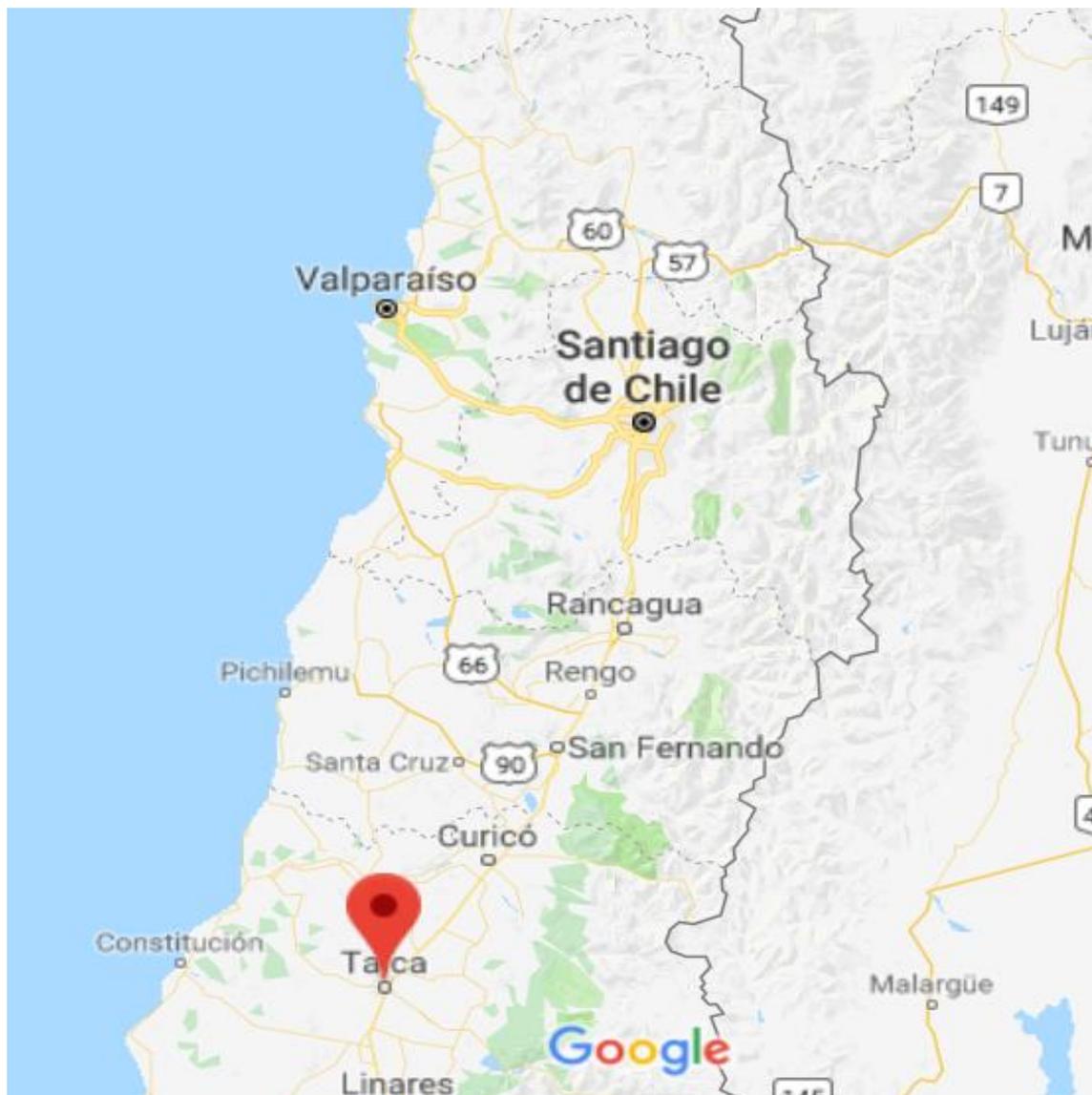


Imagen n°5: Ubicación geográfica proyecto Vista San Miguel. Fuente: Google Maps

El proyecto consta de 3 torres de 8 plantas cada una, con dos sótanos y un total de 214 apartamentos, cuya estructura resistente de las torres es de hormigón armado.



Imagen n°6: Edificio tipo del proyecto Vista San Miguel, Talca, Chile. Fuente: Constructora Pacal, proyecto de arquitectura.

## 4.2 CONTEXTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE

Dentro de la región latinoamericana, Chile fue el primer país que incorporó los conceptos de eficiencia energética en los estándares para la construcción de las viviendas, pese a que estas demandas no fueron consideradas históricamente en los edificios en Chile, el 25% del consumo total de energía del estado es producto de la industria de la construcción, de los que 81% es residencial.

Actualmente la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción es quien regula los requisitos de la transmitancia térmica que debe cumplir las envolventes de los edificios. En el año 2014 se decreta el proyecto de ley de la Norma Técnica del MINVU (NTM 11-2), desarrollado con la finalidad de actualizar el reglamento térmico y el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Otro código que presenta el MINVU es el Código de construcción Sostenible para Viviendas, el cual es más estricto, pero no perceptivo.

Según lo recabado por Waldo Bustamante y según las cifras aportadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), el 21,3% del consumo energético del país se debe al sector residencial, e indica que la mayoría de los hogares no presenta un adecuado confort térmico, encontrándose debajo de los límites de temperatura de confort durante el invierno. El 85,6% de las viviendas construidas en Chile hasta 2008, fueron construidas antes de la entrada en vigor de la primera regulación térmica, por lo cual carecen de cumplir con las exigencias de los estándares de eficiencia energética. El programa de Estudios y Energía de la Universidad de Chile estimó que el rubro de la construcción abarcará el 18% del potencial total de eficiencia energética nacional para el año 2020, superando a los sectores industrial y minero del país.

El sector de construcción que incluye a la edificación es clave en lo referente al consumo de energía en todos los países. Chile no es una excepción.

Uno de los métodos que existen actualmente para evaluar el consumo de energía de un edificio es considerando el ciclo de vida de éste, el cual puede separarse en 5 fases: (i) extracción y fabricación de materiales y componentes (energía incorporada o “embodied energy”); (ii) transporte de materiales y componentes al sitio de construcción; (iii) el proceso de construcción propiamente tal; (iv) la fase de operación; y (v) la demolición y reciclaje al fin del ciclo de vida del edificio. Todas estas fases tienen importancia en el consumo de energía, siendo una de las más intensas la de operación del edificio, lo que no invalida la necesidad de incluir en el análisis todas las restantes fases del ciclo de vida del edificio, en especial para la toma de decisiones respecto del diseño y construcción.

En cada una de estas etapas existe un consumo de energía, siendo el primero de ellos la extracción y fabricación de los materiales de construcción, asociados al concepto de energía incorporada<sup>3</sup>.

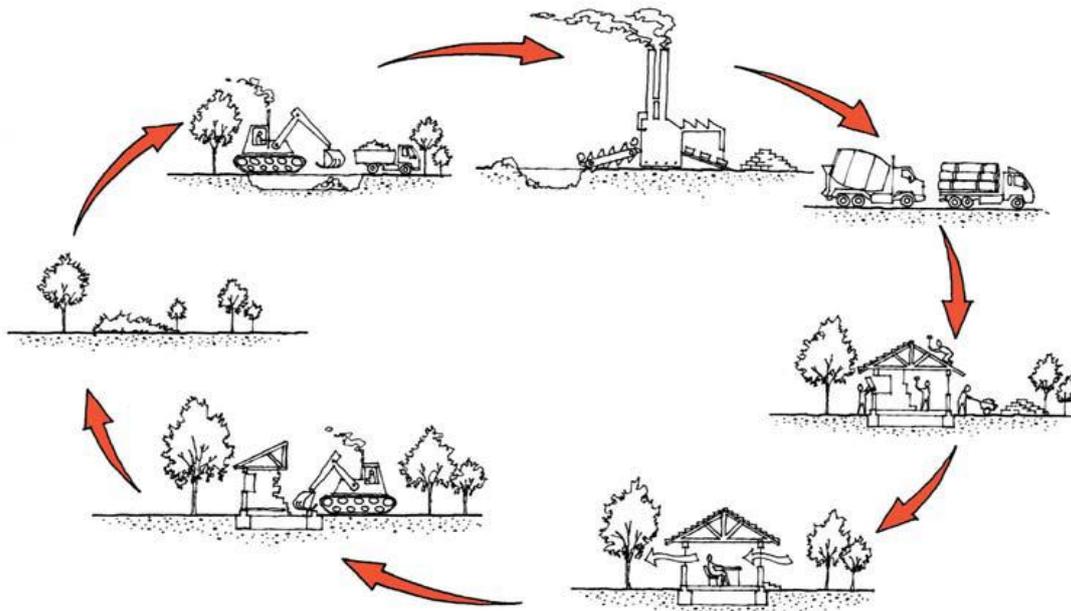


Imagen nº7: Procesos involucrados en el ciclo de vida de un edificio. Fuente: Bustamante, W. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*. Santiago, Chile

<sup>3</sup> Bustamante, W. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*. Santiago, Chile

### 4.3 CONDICIONES DE HABITALIDAD

Tanto la Ley General de Urbanismo y Construcción (Chile) y la Ley de Ordenamiento de Edificación (España), establecen condiciones de habitabilidad que busca proveer características estables, adecuadas y permanentes para generar confort a los usuarios, buscando promover no solo el confort, sino que también el menor uso de energía no renovable posible. Una de estas condiciones es el acondicionamiento térmico de la vivienda. Ante esto y para satisfacer los requerimientos mínimos en ambos países se han promulgado y establecido una serie de normas y manuales que buscan exigir y orientar la eficiencia energética en las viviendas.

### 4.4 NORMATIVA TÉRMICA CHILENA

#### 4.4.1 Ordenanza General de Urbanismo y Construcción

De acuerdo con la actual normativa que rige en Chile y según lo decretado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) se establecen las exigencias mínimas que debe cumplir toda construcción para satisfacer el acondicionamiento térmico en este caso de las viviendas, desglosando las exigencias para las techumbres, muros y pisos ventilados, lo cual establece en el Título 4, Capítulo 1, Artículo 4.1.10<sup>4</sup> lo siguiente:

**Artículo 4.1.10.** Todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan a continuación:

**1. COMPLEJOS DE TECHUMBRE, MUROS PERIMETRALES Y PISOS VENTILADOS:**

**A. Exigencias:**

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica "U" igual o menor, o una resistencia térmica total "Rt" igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

*Imagen n°8: Valores transmitancia y resistencia térmica. Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción*

<sup>4</sup> D.S. N°47, de 1992, actualizada a 22 de febrero 2018. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Imagen nº9: valores de transmitancia y resistencia térmica. Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción

## 2. EXIGENCIAS PARA VENTANAS:

Se considerará complejo de ventana, a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.

### A. Porcentaje máximo superficie de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente:

El complejo de ventana deberá cumplir con las exigencias establecidas en la Tabla 3, en relación al tipo de vidrio que se especifique y a la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura. El tipo de vidrio a utilizar en las superficies de ventanas deberá ser indicado en las especificaciones técnicas del proyecto de arquitectura.

Imagen nº10 exigencia para ventanas. Fuente: Exigencias de acondicionamiento térmico OGUC

ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		3.6 W/m <sup>2</sup> K ≥ U > 2.4 W/m <sup>2</sup> K (a)	U ≤ 2.4 W/m <sup>2</sup> K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

- (a) La doble ventana que forme una cámara de aire, se asimila al DVH, con valor U entre 3,6 y 2,4 W/m<sup>2</sup>K
- (b) Vidrio monolítico:  
De acuerdo a la NCh 132, se entenderá por aquel producto inorgánico de fusión, que ha sido enfriado hasta un estado rígido sin cristalización, formado por una sola lámina de vidrio.
- (c) Doble vidriado hermético (DVH):

Imagen nº11 exigencia para ventanas. Fuente: Exigencias de acondicionamiento térmico OGUC



#### 4.4.2 NCh 853/Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios- Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas

Establece los procedimientos para los cálculos de resistencias y transmitancia térmico en los elementos constructivos que componen el edificio, en particular en todo elemento que forma parte de la envoltente térmica o que separe el recinto en ambientes a distintas temperaturas, como lo son, techumbre, pisos y muros perimetrales.

El método utilizado para los cálculos es el establecido por la ley de Fourier en régimen estacionario, y según los valores que se obtienen permite el cálculo de la transmisión de calor, potencia de calefacción, refrigeración, energía térmica y aislación térmica en la envoltente<sup>5</sup>.

#### 4.4.3 NCh 1079/Of.2008 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico

Establece la clasificación por zonas climáticas habitacional en Chile, con el fin de facilitar el correcto diseño del proyecto de arquitectura para un proyecto de edificación, otorgando además recomendaciones para el diseño de la transmitancia térmica de la envoltente y pendiente de cubierta<sup>6</sup>.

### 4.5 NORMATIVA TÉRMICA ESPAÑOLA

La actual normativa española, en el Código Técnico de la Edificación (CTE), presenta los Documentos Básicos (DB), los cuales establecen los estándares mínimos para cumplir con los requisitos básicos que se establece en la Ley de Ordenación de la Edificación.

Dentro de estos documentos se encuentra el Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE), en su apartado HE1: Limitación de la demanda energética, expone como exigencia que en todo edificio su envoltente térmica debe poseer las características para limitar de forma adecuada la demanda energética y así cumplir con el bienestar de los usuarios según la zona climática en que se emplace éste<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> NCh853.Of2007 Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Instituto Nacional de Normalización.

<sup>6</sup> NCh 1079.Of.2008 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Instituto Nacional de Normalización.

<sup>7</sup> Documento Básico HE: Ahorro de Energía [Documento]. DB-HE. Documento disponible en: <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.

Para la cuantificación de la exigencia el documento establece los siguientes parámetros:

- Limitación de la demanda energética del edificio

Uso residencial privado

**Tabla 2.1 Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción**

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kW·h/m <sup>2</sup> ·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

- 2 La demanda energética de refrigeración del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite  $D_{ref,lim} = 15 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$  para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor límite  $D_{ref,lim} = 20 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{año}$  para la zona climática de verano 4.

Imagen n°12: valores y factor correctos de demanda energética de calefacción. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía

- Limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado

**Tabla 2.3 Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica**

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

<sup>(1)</sup> Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

<sup>(2)</sup> Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

<sup>(3)</sup> La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Imagen n°13: Valores de transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía

Tabla 2.4 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m<sup>2</sup>·K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Tabla 2.5 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m<sup>2</sup>·K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Imagen n°14: valores de transmitancia térmica límite en particiones interiores. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía

## 4.6 ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE PARA VIVIENDAS EN CHILE

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo establece una serie de requerimientos de mayor exigencia a los que establece la OGUC en su artículo 4.1.10, generando así los Estándares de Construcción Sustentables, que consisten en guías técnicas destinadas a establecer estándares que orientan al mejoramiento del desempeño ambiental, económico y social tanto para viviendas nuevas como usadas desde la etapa de diseño hasta su operación cuya finalidad es mejorar el rendimiento energético que poseen los edificios, proporcionando estándares con confort mejorados para los ocupantes. Los estándares se definen según ubicación geográfica

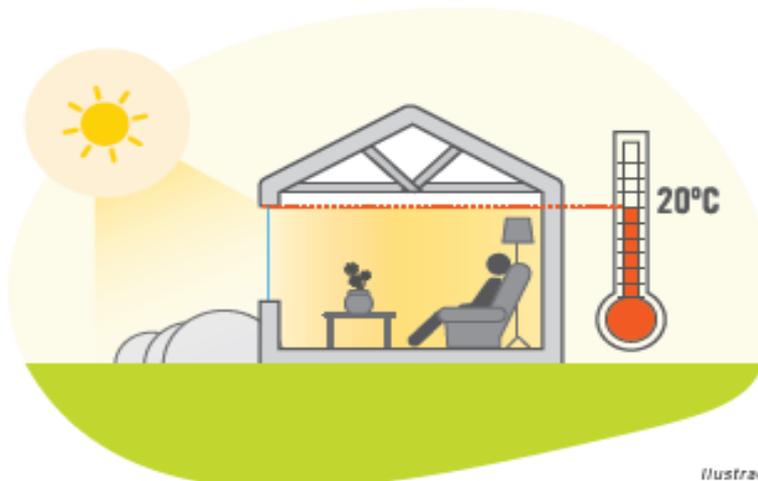


Imagen n°15: confort térmico. Fuente: Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile

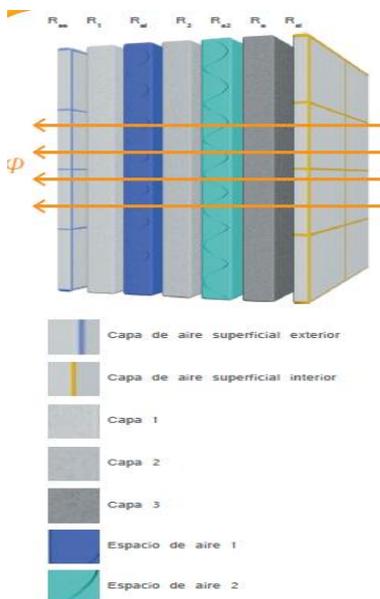
y el clima de las regiones, con el propósito de asegurar el confort de los usuarios y establecer criterios de eficiencia de energía.

Éstos se presentan en una serie de tomos, dentro de ellos se encuentra el Tomo Salud y Bienestar, que tiene como objetivo mejorar la calidad ambiental y espacial de las viviendas aportando a mejorar la calidad de vida de las personas y del medioambiente. Partiendo de la existencia de una variedad de clima a lo largo del país lo cual se enfatiza en el mejoramiento de aislación térmica, evitar problemas de humedad, condensación y moho.

Otro de ellos es el Tomo Energía, el cual establece estándares de eficiencia energética desde la etapa de diseño hasta la construcción de las viviendas, fijando medidas para generar sistemas de climatización y monitoreo de consumo de energía de forma eficiente a base de energías renovables, disminuyendo el impacto ambiental, reduciendo demanda y consumo energético del sector residencial, fomentando el uso de energías renovables.

## 4.7 MANUALES Y DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### 4.7.1 Aislación exterior: manual de diseño para soluciones en edificación



La Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción presenta un manual en el que da soluciones para la aislación exterior, detallando las ventajas y desventajas, con la finalidad de ser una guía para arquitectos, ingenieros y constructores, a la hora de definir la mejor solución según los requerimientos del proyecto y la zona en que se emplaza.

El manual se enfoca en las características y las aplicaciones de cada uno de los sistemas propuestos, para así definir la solución más eficiente, tomando en consideraciones la utilización de aislación interior, exterior y las envolventes de materiales de buen comportamiento tanto para nuevas construcciones como para rehabilitaciones, en base a la reglamentación térmica estipulada en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en el artículo 4.1.10<sup>8</sup>.

*Imagen n°16: Detalle de capas de aislación. Fuente: Aislación térmica exterior manual diseño soluciones edificaciones, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción.*

<sup>8</sup> Aislación Térmica Exterior – Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara chilena de la construcción, Chile.

#### 4.7.2 Manual Del Gestor Energético

La Agencia chilena de Eficiencia Energética crea un manual que incorpora soluciones de diseño que se pueden adaptar a las necesidades y características de un proyecto de edificación, según los criterios de la eficiencia energética, dando alternativas de soluciones constructivas para obtener un proyecto con mayor eficiencia. Por otra parte, se enfoca en el asesoramiento, supervisión y control de planificación de las partidas determinantes del desempeño energético del proyecto, proponiendo mejoras del diseño y así minimizar la demanda energética durante la operación del edificio.

Todos estos parámetros estarán a su vez condicionados por

Figura 25° : Balance térmico en la edificación

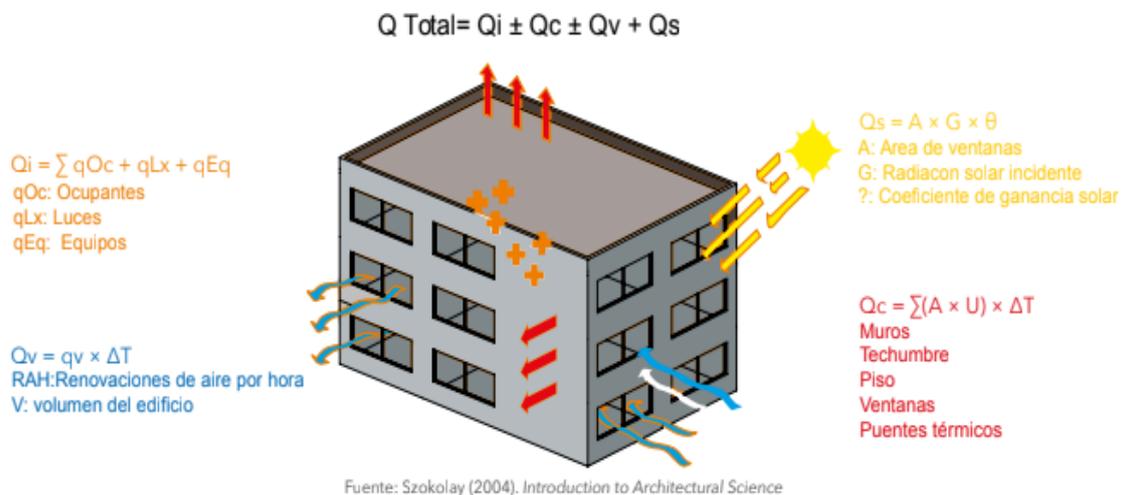


Imagen n°17: Balance térmico en la edificación. Fuente: Manual del Gestor Energético, Agencia chilena de eficiencia de energía

Entre sus capítulos desglosa el diseño pasivo arquitectónico, enfocado en el diseño de la envolvente térmica del edificio, detallando los diferentes factores que se involucran en el diseño de la envolvente, como por ejemplo factores climáticos, temperatura, humedad, viento, nubosidad, pluviometría y microclimas. Además, guía en lo que respecta a la calidad del ambiente interior, detallando el confort higrotérmico, ya que una mala calidad puede derivar a problemas de salud y pérdidas de confort en los usuarios. Para esto se presentan modelos de análisis que se pueden aplicar para obtener la valoración del confort térmico como es el Método de Fanger, el cual, a partir de dos índices, asignan votos de confort según una escala de sensación térmica y una cantidad de tensión térmica basada en la transferencia de calor entre el cuerpo y el ambiente de personas que se expone a un ambiente determinado. Otro método que menciona el manual es la Teoría de Confort Adaptativa utilizado para la comprobación de los estándares del diseño pasivo de edificios, que considera los efectos adaptativos del cuerpo humano, se establece una temperatura máxima y mínima para determinar la banda de confort.

Dentro de los puntos que se destacan es la entrega de diferentes estrategias que buscan optimizar el diseño pasivo de una edificación, buscando aprovechar de forma eficaz las condiciones naturales de la zona en que se ubica el edificio, mediante soluciones de arquitectura y constructivas, según clima y el ecosistema del lugar, para



## MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

que de esta forma se pueda reducir la utilización de sistemas activos de acondicionamiento. En apoyo a esto entrega una serie de sistemas constructivos y opciones de materiales para así lograr elegir el correcto sistema constructivo, materiales y acabados para determinar el mejor comportamiento energético del edificio, de acuerdo con la zona y clima del lugar de emplazamiento en el que se diseña<sup>9</sup>.

### 4.7.3 Influencia de los modelos de confort adaptativos en la ejecución. Mejoras de costos para la envolvente térmica en viviendas de Concepción, Chile.

Los autores del artículo analizan como reducir económicamente el confort térmico en viviendas de la ciudad de Concepción, Chile. Para esto se utilizaron 3 estándares EN 15251:2007, ASRAE 55-2017 y CAS, de esta forma evaluar el costo económico de inversiones para mejoras térmicas en viviendas sociales. Para la evaluación de comodidad en ambientes térmicos, los autores indican que se puede realizar en base a dos teorías, la adaptativa y la del equilibrio térmico, los cuales son desarrollados por modelos matemáticos que realizan estimaciones y predicen condiciones adecuadas en las que las personas tendrían que estar para obtener una buena calidad térmica de su entorno.

El estudio del caso utilizó la teoría adaptativa que se basa en las capacidades de adaptación de las personas a las condiciones térmicas, la cual puede ser metabólica, y los modelos de evaluación son a base de cuestionarios realizados a los usuarios de las viviendas.

### 4.7.4 Influencia de los modelos de confort adaptativo, en la mejora de la energía para viviendas en zonas frías.

La investigación establece recomendaciones para asociarlas con estrategias de construcción y así aumentar el número de horas de confort en los usuarios de la vivienda, alcanzado niveles aceptables de confort térmico, sin repercutir en el consumo de energía. El estudio demuestra que las condiciones de confort térmico se pueden aumentar por medio de la combinación de medidas de mejora, para el caso se midió los Estándares de construcción con criterio de sustentabilidad, EN 15251:2007 y ASHRAE 55-2017.

Los modelos se basan en que los individuos tienen capacidad de adaptar su termorregulación, vestimenta, tasa metabólica y condiciones psicológicas a las condiciones del clima en la que se ven enfrentados, en condiciones de ventilación natural. Los estudios de adaptación al clima se orientan en la comodidad de los ocupantes de las viviendas, intentando disminuir el uso de dispositivos activos y aumentando el uso de estrategias pasivas para lograr el confort térmico. Ante esto

---

<sup>9</sup> Manual de Gestor Energético, Sector Construcción. Agencia de Sostenibilidad Energética.



Attia<sup>10</sup> ha demostrado que el uso de estos modelos puede generar un ahorro de energía que oscila entre un 10% a 18% en climas cálidos.

#### 4.7.5 Aplicación de comportamiento adaptativo en las normas de vivienda social chilena bajo la influencia del cambio climático

La construcción tiene como desafío minimizar el consumo de energía, erradicar la pobreza energética y mitigar el cambio climático (Santamouris 2016). Los edificios consumen entre un 30% y 40% de la energía total del mundo (PNUMA 2012), lo cual podría aumentar a 38,4 PWh en 2040 (AIE 2013) según la Agencia Internacional de Energía. Las normas de confort ayudan a establecerla temperatura interior de un espacio bajo ciertas cargas, en donde su definición es fundamental para lograr la comodidad de los usuarios y reducir el consumo energético (Nicol y Humphreys 2002). Se ha demostrado que los modelos de confort adaptativos generan ahorro de energía que oscila entre un 10% a 18% en climas cálidos (Attia y Carlucci 2015).

Los indicadores de rendimiento energético en edificios están asociados con el consumo de la fuente primaria de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> o la distribución neta de energía, que en su conjunto definen la eficiencia de energía del edificio.

El estudio del caso tiene como fin evaluar pautas para diseñar viviendas sociales pasivas bajo la influencia del cambio climático producto del efecto de invernadero. La evaluación se realizó en base a las horas anuales donde las viviendas se encontraban en condiciones de confort térmico. Una evaluación exitosa, es obtener valores que demuestren que la eficiencia energética en las viviendas es capaz de mantener a los usuarios dentro de los rangos de confort adaptables, considerando el porcentaje de tiempo en el que las viviendas no requieren del uso de aire acondicionado como indicador.

---

<sup>10</sup> Attia, S.; Carlucci, S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. Energy Build. 2015

#### 4.8 HERRAMIENTA DESIGN BUILDER

El estudio se llevará a cabo mediante Design Builder el cual se basa en la simulación energética de edificios, mediante el motor de simulación EnergyPlus. Con este programa se modela el edificio y se analiza el estado inicial del proyecto de acuerdo con sus características iniciales y con el mismo se incorporan cada una de las medidas de mejoras de la envolvente térmica, se incorpora calefacción y aire acondicionado como también la de ventilación mecánica.

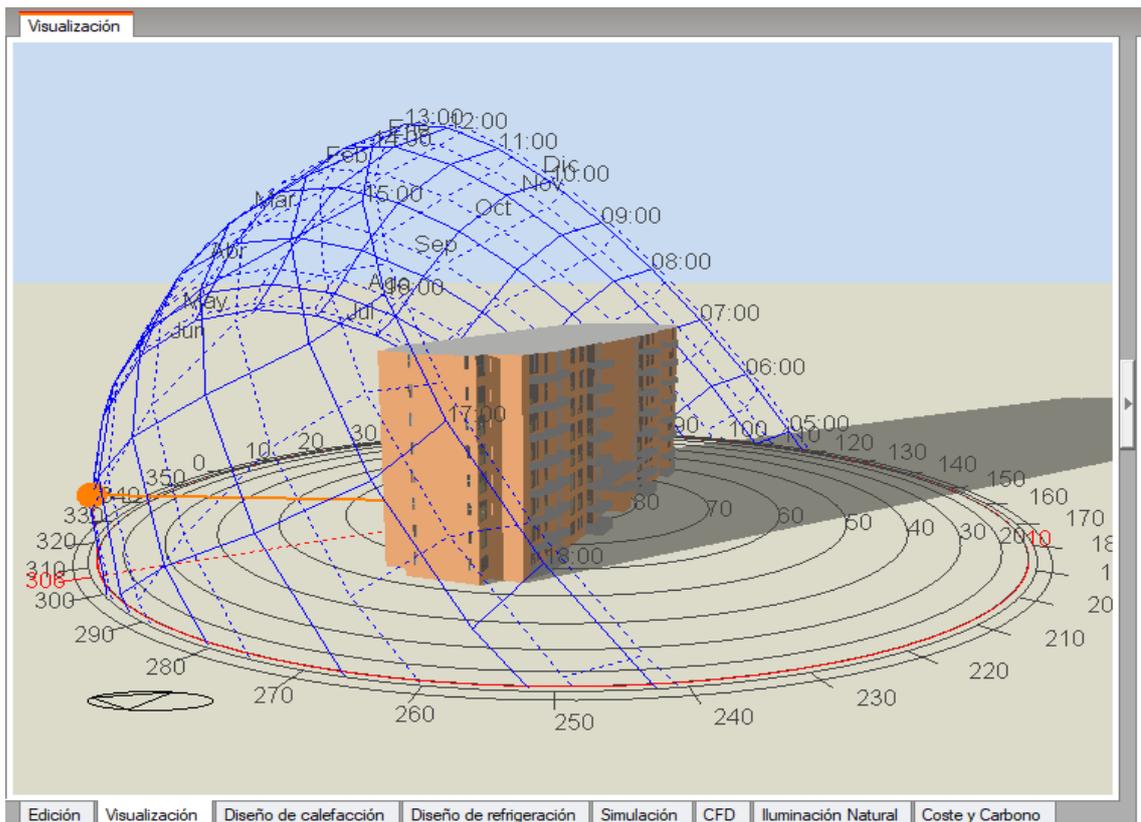


Imagen nº18: Modelación proyecto inmobiliario en Design Builder Fuente: Elaboración propia mediante Design Builder



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA

Como punto de partida fue la elección del tema a estudiar, el cual se eligió en base al interés del trabajo y alcance que se puede lograr. Ante esto se procedió a seleccionar el tipo de proyecto a analizar y como éste puede aportar al estudio de acuerdo con sus características.

Como **primera fase** se eligió el tipo de proyecto inmobiliario el cual se ha optado por edificación en altura, dado a que es el tipo de construcción más común que se realiza en Chile. Luego definido la tipología de edificación, se procedió a la recopilación de datos, el cual se incluyó las especificaciones técnicas del proyecto, como también el legajo de plano de arquitectura, con lo cual se obtuvo información de sus elementos constructivos, instalaciones, equipos y uso de energía.

Como **segunda fase** se definen los objetivos de estudio, basados en las necesidades pedagógicas y profesionales que se desean alcanzar en el trabajo de fin de máster. De aquí radica la importancia y la necesidad de sustentar el trabajo en lograr un análisis exhaustivo para el aporte de determinar estrategias pasivas en el confort térmico en viviendas en Chile.

En la **tercera fase** del trabajo se ha optado por el estudio de la situación actual chilena en lo que respecta a eficiencia energética en relación a las condiciones de habitabilidad y cómo la envolvente térmica de las viviendas influye para el confort térmico de los ocupantes y así establecer el punto de partida de la investigación, recopilando información en la base de datos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU) y tomando como referencia los avances y aportes de investigaciones como Waldo Bustamante en su Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social en Chile, Manual del Gestor Energético de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, entre otros.

Posteriormente se ha consultado a las normativas vigentes tanto en Chile como de España con la finalidad de analizar ambas normas en su influencia en la envolvente térmica y en la eficiencia energética, para así cuantificar la variación de resultados de horas de temperatura de confort que alcanza el conjunto habitacional según las especificaciones técnicas del proyecto. Para esto se ha tomado como referencia la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción el artículo 4.1.10, Estándares de construcción sustentable en lo que rige a Chile y el Documento Básico DBHE1 en lo que respecta a la normativa española.

En la **cuarta fase** se comienza con la investigación práctica y técnica cuyo primer paso es modelar el proyecto inmobiliario de estudio según las especificaciones técnicas en Design Builder. Este modelado se ha llevado a cabo con cada una de las



MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

propuestas establecidas en el estudio, teniendo como base y referencia el proyecto inicial en donde se han modificado la envolvente, las aberturas e incorporado sistemas de ventilación y de aire acondicionado y calefacción.

Luego y tomando el caso inicial, el proyecto se situará como primer estudio en 4 ciudades de Chile, para determinar las horas de confort térmico en cada uno de los casos y así definir las propuestas de mejora a la actual normativa que regula el acondicionamiento térmico del país.

Según los resultados obtenidos de la modelación inicial, se procede a determinar las mejoras en la envolvente térmica la cual consistirá en analizar los elementos constructivos más incidentes en la pérdida de eficiencia energética poniendo atención en la transmitancia térmica y así poder determinar la mejor solución mediante estrategias pasivas, según zona climática en que se emplace el proyecto. Con estos resultados se identifican las que pueden mejorar el confort en el edificio según la cantidad de horas de confort que han aumentado anualmente.

En la **quinta fase**, se analizan los resultados de cada una de las simulaciones de acuerdo con las propuestas del estudio, en donde se cuantifican las cantidades de horas de confort que aporta cada posible mejora, según la ciudad en que se emplaza el proyecto. Por otra parte, dado a que el proyecto no cuenta con sistemas de aire acondicionado ni de calefacción se analiza la propuesta de la implementación y así el consumo necesario por vivienda necesario para alcanzar los estándares de confort establecidos el estudio

Finalmente, como **sexta fase**, se definen la mejor propuesta a implementar en cada una de las cuatro ciudades de estudio, en donde prima la relevancia del aporte de horas de confort que se logra con la implementación de la propuesta, en donde se detallarán los motivos y ventajas con respecto a las otras concluyendo sobre el aporte que generan tanto a sus usuarios como al entorno en general según su emplazamiento.

## 6. ANÁLISIS

### 6.1 CLIMAS

#### 6.1.1 Clima Iquique

La ciudad de Iquique correspondiente a la I región, se ubica al norte de Chile. Su clima es del tipo desértico costero con temperaturas medias que varían entre los 13°C a 25°C. Su clima se ve influenciado por el mar y la corriente de Humboldt. Otra de su característica es su nubosidad constante, es la ciudad de la costa con mayor temperatura y humedad.

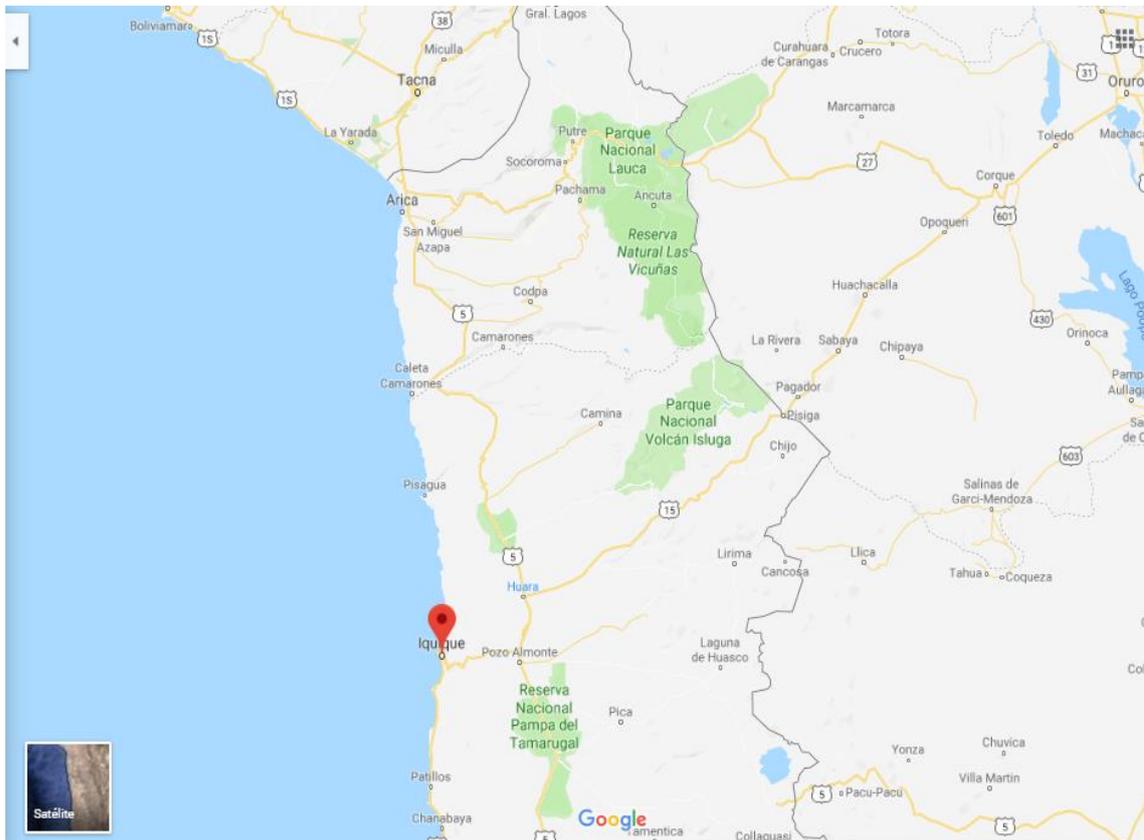


Imagen nº19: Ubicación geográfica Iquique. Fuente: Google Maps

#### 6.1.2 Clima Santiago

La ciudad de Santiago se encuentra ubicada en una cuenca, el cual es el principal factor de su clima. La cordillera de Los Andes se opone a la propagación de la influencia marina, la cual hace que aumente la oscilación térmica y mantiene una

humedad relativa baja. El tipo de clima es mediterráneo continental. La mayor cantidad de precipitaciones ocurren entre los meses de junio y agosto. Las temperaturas oscilan con un promedio entre los 8°C a 32°C.

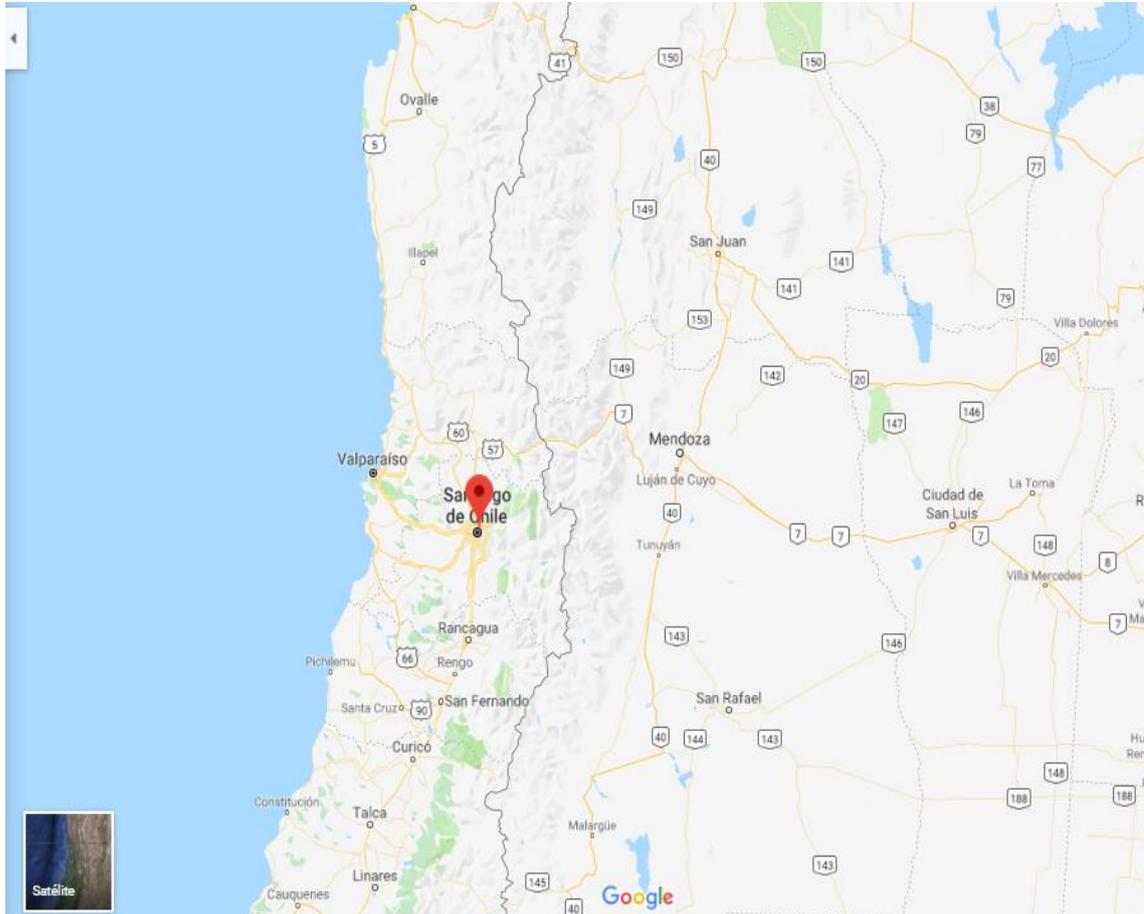


Imagen nº20: Ubicación geográfica Santiago. Fuente: Google Maps

### 6.1.3 Clima Talca

El clima de la ciudad de Talca se caracteriza por ser del tipo Mediterráneo continental, presenta lluvias constantes en invierno. Las temperaturas oscilan con una media entre los 13°C a los 30°C. Los inviernos son fríos y constantes nieblas, en otoño se caracteriza por heladas que llegan a temperaturas bajo 0°C. Los veranos son calurosos y secos.



Imagen nº21: Ubicación geográfica Talca. Fuente: Google Maps

#### 6.1.4 Clima Punta Arenas

Punta Arenas es semiárido dado por su escasa precipitación anual y con constante nieve con un clima del tipo estepárico frío. Los veranos son fríos, con olas de calor que son muy poco recurrentes las cuales pueden alcanzar temperaturas de 25°C. Su clima se encuentra influenciado con el mar que hace que la temperatura se mantenga levemente por sobre los 0°C. La temperatura oscila con unos promedios de 3°C a 10°C.

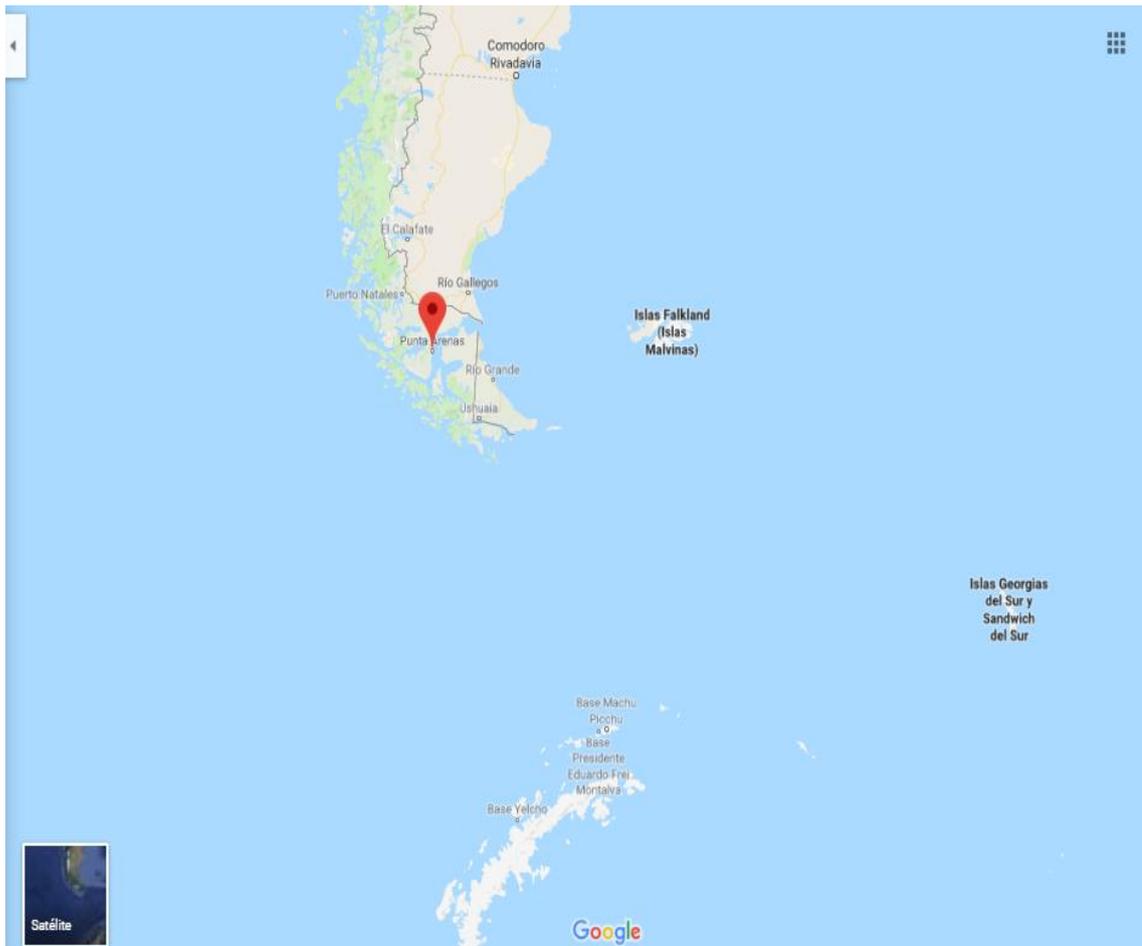


Imagen n°22: Ubicación geográfica Punta Arenas. Fuente: Google Maps

## 6.2 ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO

A continuación, se detalla las características de los cerramientos y de apertura del caso inicial de estudio del proyecto, según la modelación realizada por Design Builder.

### 6.2.1 Muros exteriores

Los muros exteriores están conformados de hormigón armado H30 con espesores que varían entre 15 a 30 cm, por su cara exterior poseen un revestimiento térmico compuesto de poliestireno expandido de alta densidad de 40mm y en su cara más interna un acabado de enlucido de yeso de 3 mm de espesor, con pintura de terminación final.

La transmitancia térmica resultante en muros exteriores según las especificaciones técnicas del proyecto es de  $U=0,74W/m^2K$ .



Imagen nº23: Muro exterior. Fuente: Elaboración propia Design Builder

### 6.2.2 Muros interiores

Conformados de hormigón armado H30 con espesores que varían entre 15 a 25cm, en ambas caras se encuentran recubiertos por enlucido de yeso de 3mm de espesor, con un acabado de pintura.

La transmitancia térmica resultante en los muros interiores según las especificaciones técnicas del proyecto es de  $U=1,64\text{W/m}^2\text{K}$



Imagen nº24: Muro interior. Fuente: Elaboración propia Design Builder

### 6.2.3 Cubierta plana planta 8

Según las especificaciones técnicas del proyecto en la zona de cubierta (planta nº8) se ha definido como aislante térmico el sistema EPS de 100mm de espesor.

La transmitancia térmica resultante en la cubierta plana según las especificaciones técnicas del proyecto es de  $U=0,34W/m^2K$ .

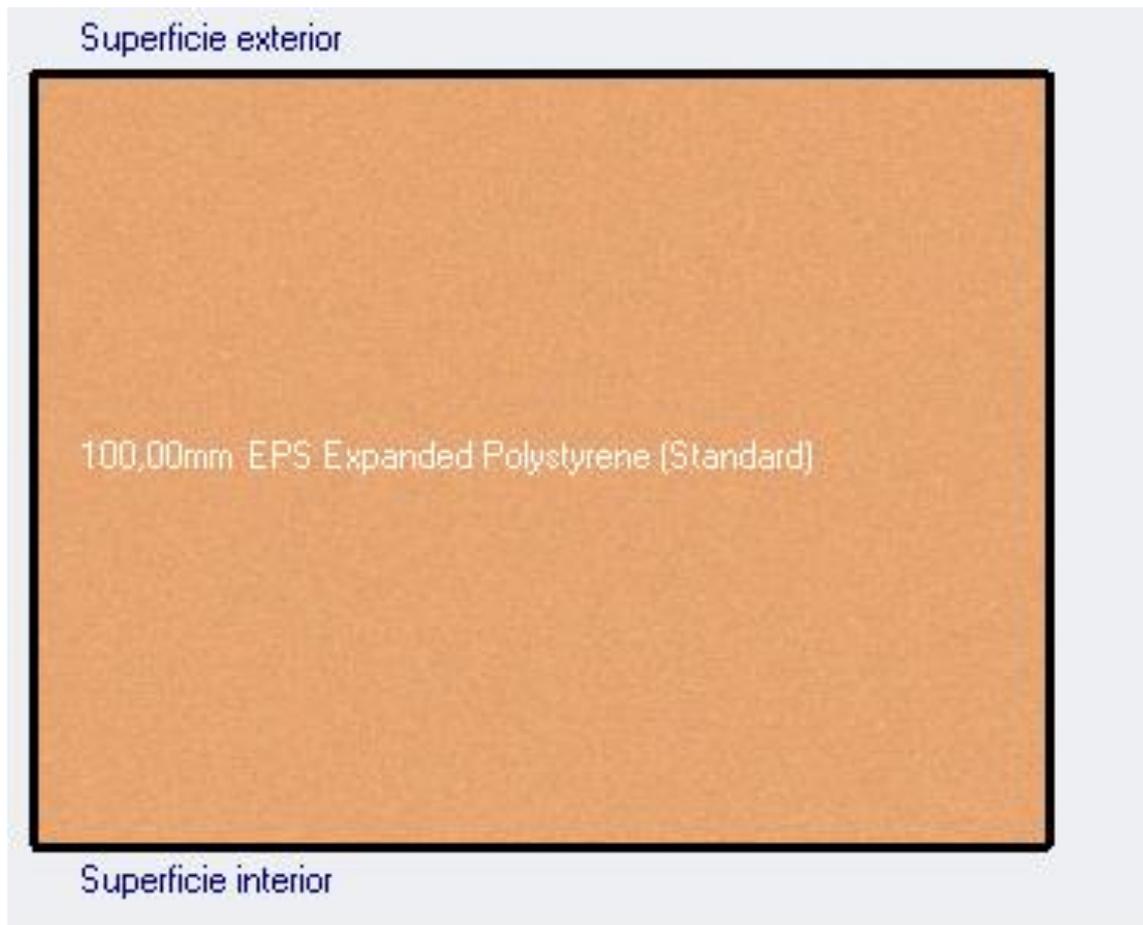


Imagen nº25: Solución térmica en cubierta. Fuente: Fuente: Elaboración propia Design Builder

#### 6.2.4 Aberturas

Como solución constructiva para las aberturas de ventanas se han definido ventanas de 4mm de espesor y de hoja simple con marcos de aluminios.

La transmitancia térmica resultante en las aberturas según las especificaciones técnicas del proyecto es de  $U=5,88\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .



Imagen nº26: Ventana hoja simple con marco de aluminio. Fuente: <https://www.wintec.cl/portcat/ventana-aluminio-basic/>

### 6.2.5 Detalle constructivo muros exteriores

A continuación, se detalla la solución constructiva según especificaciones técnicas del proyecto el consiste en un aislamiento térmico denominado EIFS. El cual consiste en una aislación de fachadas en muros y losas compuesto por capas: fijación, capa aislante, capa impermeabilizante y capa exterior de terminación.

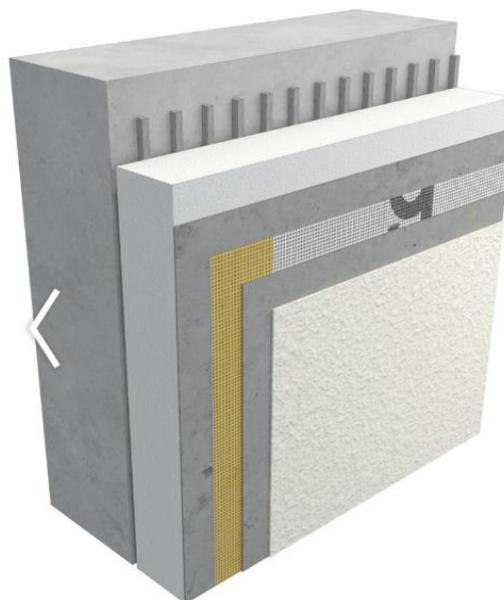


Imagen nº27: Detalle constructivo muros exteriores. Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)

### 6.3 RESULTADO DE CONFORT TÉRMICO SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con la modelación del proyecto, se analiza en primera instancia las temperaturas operativas y se determinan la cantidad de horas de confort térmico dentro del rango de 20°C y 25°C, ante esto se presenta los siguientes resultados:

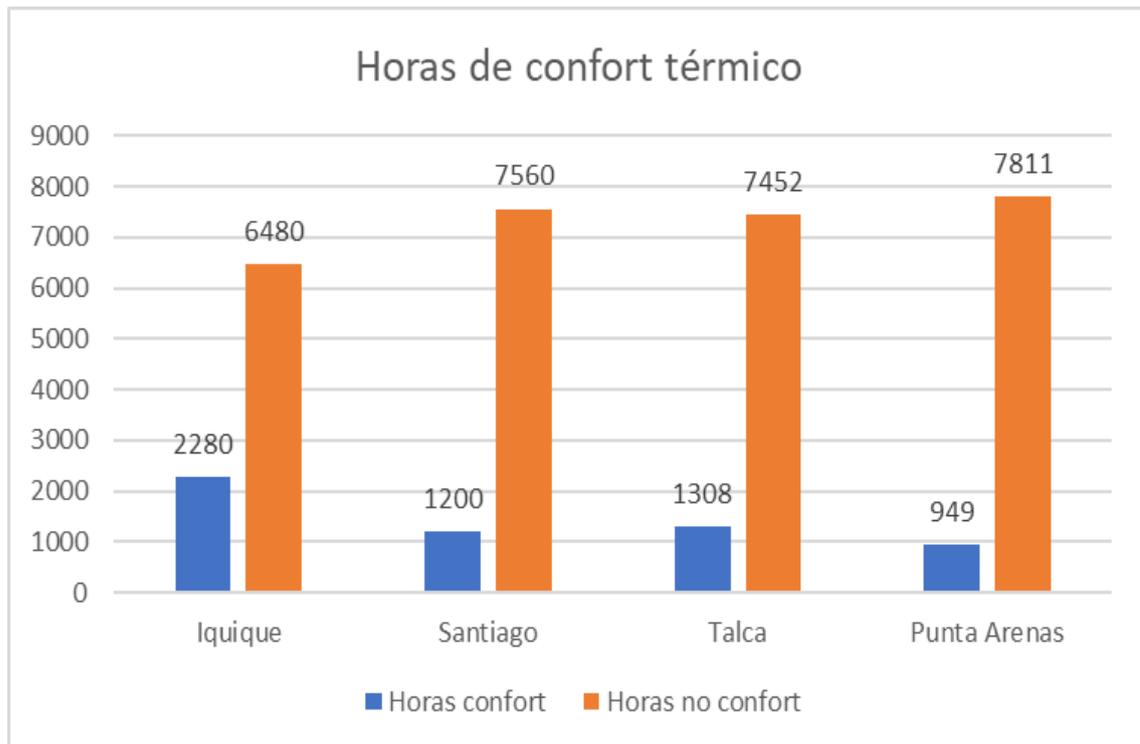


Gráfico n°2: Horas de confort iniciales según EETT de proyecto. Fuente: Elaboración propia

Para la ciudad de Iquique se tiene un total de 2280 horas de confort lo que equivale a un 26,03% del total de horas al año.

Para la ciudad de Santiago manteniendo las características del proyecto se tienen 1200 horas de confort lo que equivale a un 13,7% del total.

En el caso de Talca un 14,93% del total de horas corresponden a confort entre los rangos establecidos lo que equivale a 1308 horas.

Finalmente, en Punta Arenas se obtienen 949 horas de confort lo que corresponde a un 10,83% del total.

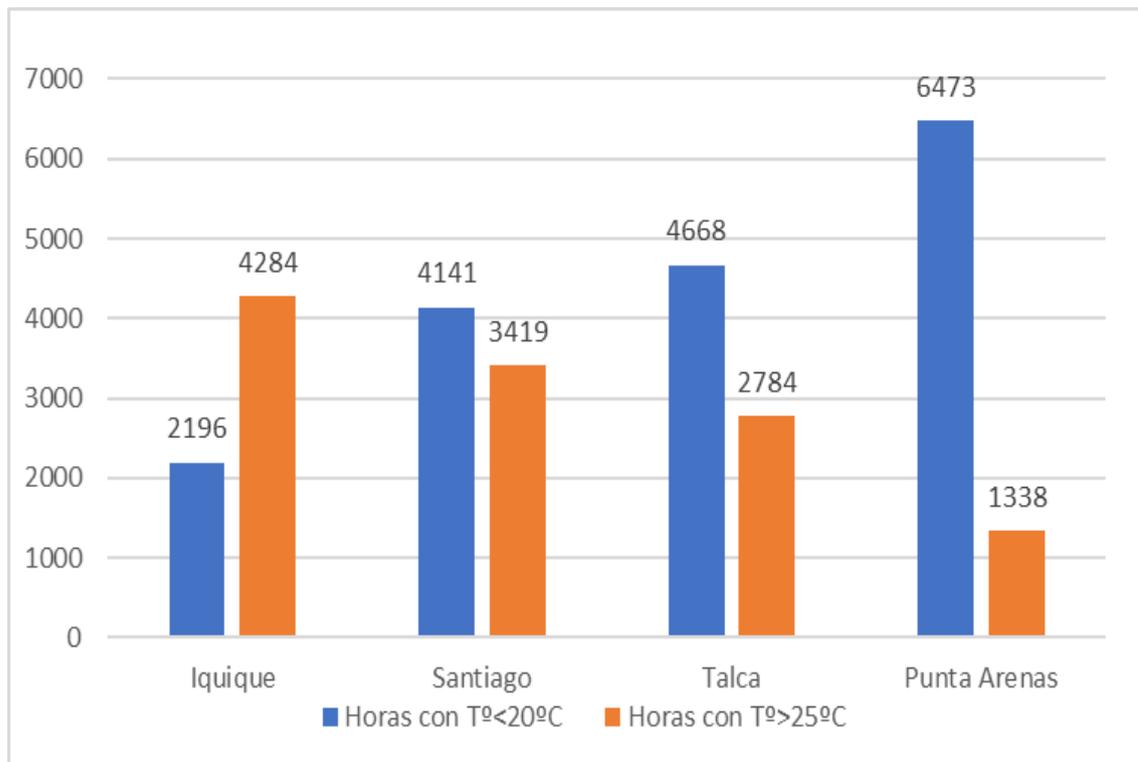


Gráfico nº3: Cantidad de horas bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia

Como segundo análisis de las horas de confort, se determinó la cantidad de horas que están por debajo de los 20°C y por sobre los 25°C. En el caso de la ciudad De Iquique se tiene un 25,06% de horas bajo los 20°C y un 48,9% sobre los 25°C del total de horas al año, por lo que en este caso es primordial analizar y determinar como primera medida disminuir aquellas temperaturas por sobre los 25°C.

Para el caso de Santiago las horas bajo los 20°C corresponden a un 47,27% y sobre los 25°C es de un 39,02%, ante esto los resultados otorgados no dictan mucha diferencia por lo que las medidas a tomar deben ser en concordancia a reducir ambos parámetros analizados.

En lo que respecta a la ciudad de Talca un 53,29% de las horas corresponden a temperaturas por debajo de los 20°C mientras que un 31,78% están por sobre los 25°C, es por esto como primeras medidas se deben buscar soluciones que mejoren las horas por debajo de los 20°C.

Finalmente, en el caso de Punta Arenas un 73,89% del total de horas corresponden a bajo los 20°C, en este caso, es en este rango en donde se debe enfatizar las soluciones de mejoras de las horas de confort ya que paralelamente solo un 15,27% corresponden a horas con temperaturas por sobre los 25°C.

## 6.4 ANÁLISIS PÉRDIDAS DE CARGAS

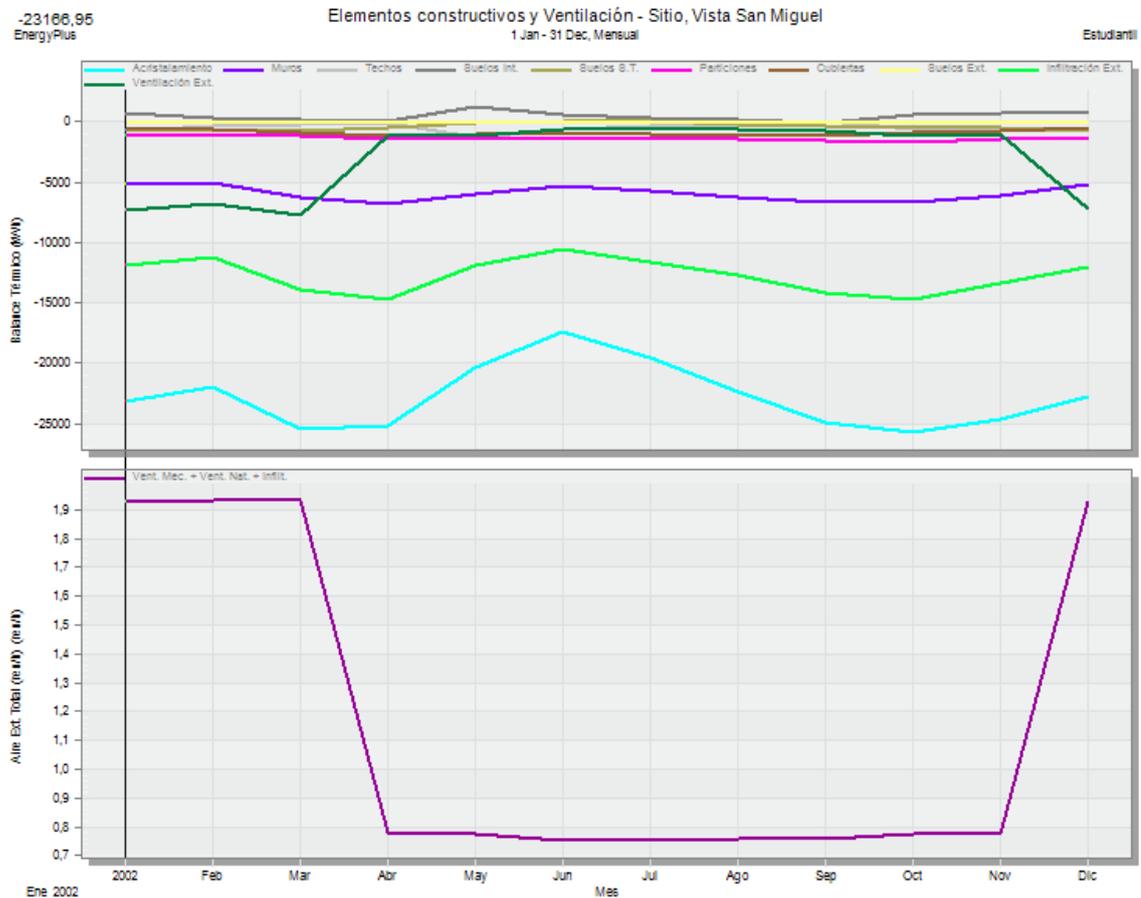


Imagen n°32: Análisis térmicos de elementos constructivos. Fuente: Elaboración propia mediante Design Builder

Mediante la gráfica aportada por la simulación en Design Builder, se puede observar cómo se comportan cada uno de los elementos constructivos que conforman el edificio en cuanto a la pérdida de calor según los meses en el año.

Se aprecia que el elemento constructivo más influyente en la pérdida de calor son los acristalamientos y también mediante las infiltraciones exteriores. Esto nos quiere decir que son los principales factores que influyen en la pérdida de calor y afecta al confort térmico de los recintos residenciales.

Ante los resultados obtenidos anteriormente, como primera medida se puede analizar el cambio de acristalamientos por unos que contribuyan a lograr una mejor transmitancia térmica y así determinar la cantidad de horas que esto podría mejorar, dado a que es el elemento que mayor incidencia tiene en la pérdida de calor. Por otro parte se busca analizar el confort térmico mediante el uso de ventilación natural y ventilación mecánica propiamente tal, en donde finalmente se incorporarán sistemas de activos y para determinar la incidencia del consumo que esto conlleva de acuerdo con distintos rendimientos de los equipos de aire acondicionado y de calefacción.

## 7. ESTUDIOS Y PROPUESTAS

- MAE1 Ventanas doble con marcos de PVC
- MAE2 Implementación de sistema EIFS 8cms de espesor
- MAE3 Ventana doble con marco de PVC, sistema EIFS 8cm e implementación de ventilación mecánica con 5 renovaciones por hora
- Incorporación de ventilación mecánica
- Ventilación mecánica 5 ren/hr con enfriamiento gratuito
- Incorporación de HVAC

### 7.1 MAE1 VENTANAS DOBLE CON MARCOS DE PVC

Para esta medida, se ha modificado la abertura por ventanas dobles con marcos de PVC, las cuales consisten en dos hojas de vidrio de 4mm de espesor cada una, con una cámara de aire entre ellas de 13mm, sumando a esto un marco de PVC. Dado que inicialmente el proyecto de acuerdo con las especificaciones técnicas se definían ventanas de hoja simple de 4 mm, se obtiene una transmitancia térmica de  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  siendo un valor elevado lo cual genera posibles pérdidas de horas de confort en las viviendas. Ante esto como primera medida se ha optado por una solución de ventanas dobles de 4 mm de espesor cada una, con un marco de PVC lo cual genera una transmitancia de  $2,705 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



Imagen nº33: Detalle ventana doble con marco PVC. Fuente: <https://www.wintec.cl/portcat/ventana-pvc-americano-es-es/>

## 7.2 MAE2 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA EIFS 8CMS DE ESPESOR

De acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto, se indica la implementación de sistema EIFS de un espesor de 4cm en muros exteriores.

Este sistema (Exterior Insulation Finish Systems) es un sistema de aislación de fachadas para muros y losas ventiladas que funciona a través de la superposición de 5 pieles: fijación, capa aislante, capa impermeabilizante –abierta a la difusión del vapor y resistente al impacto–, y capa exterior de terminación<sup>11</sup>.

Ante esto se ha analizado las horas de confort en las cuatro ciudades indicadas, en donde se ha implementado dicho sistema de aislación con un espesor de 8cms, el cual ha sido utilizado en muros exteriores. En el caso inicial con 4cm de espesor de EIFS se tiene una transmitancia térmica de  $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ , y con la implementación de 8cms del mismo sistema se logra alcanzar  $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$  en transmitancia térmica en los elementos en que se ha implementado.

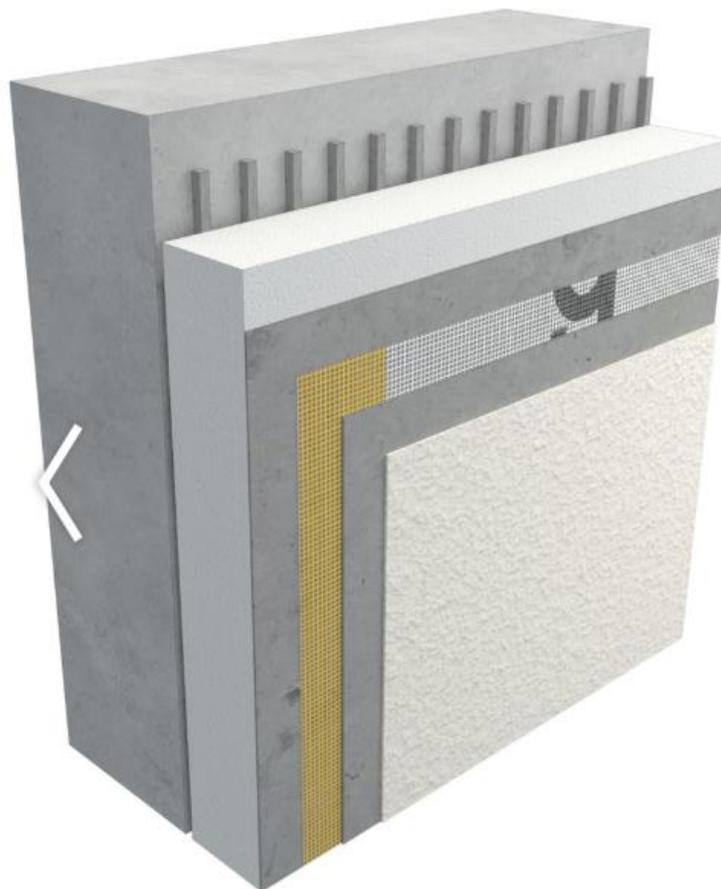


Imagen n°34: Detalle sistema EIFS. Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)

<sup>11</sup> ¿Qué es EIFS o cómo diseñar un sistema de aislación térmica exterior? José Tomás Franco. Publicado 21 junio, 2018. [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)



### **7.3 MAE3 VENTANA DOBLE CON MARCO DE PVC, SISTEMA EIFS 8CM E IMPLEMENTACIÓN DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON 5 RENOVACIONES POR HORA**

Otra de las medidas adoptadas es la implementación en conjunto de las MAE1 y la implementación de ventanas con dos vidrios de 4mm de espesor cada uno y entre ellas una cámara de aire de 13mm, con marcos de PVC y MAE2 el cual corresponde a la instalación del sistema EIFS con 8cm de espesor, sumándole la incorporación de ventilación mecánica con 5 renovaciones por hora, con la finalidad de analizar la variación de cantidad de horas de confort que esta medida puede aportar en el aumento de horas con temperatura entre los 20°C y 25°C, y así poder determinar si es viable la implementación de la propuesta al cumplir con un aumento considerable en las horas de confort.

### **7.4 INCORPORACIÓN DE VENTILACIÓN MECÁNICA**

Dentro del estudio de las horas de confort se ha propuesto el estudio de la incorporación de la ventilación mecánica la cual se ha utilizado el método de ventilación por zona (Design Flow Rate) que según el manual de Desing builder, la modelación mecánica se modela mediante el objeto de EnergyPlus ZoneVentilation: DesignFlowRate, de manera independiente al sistema principal de HVAC. Con esta opción el consumo de energía y los aportes de calor de los ventiladores se pueden incluir en los balances térmicos de la zona.

Ante esto se ha analizado tres propuestas las cuales se han utilizado en las 4 ciudades a analizar:

- Simulación con ren/hr:1
- Simulación con ren/hr:4
- Simulación con ren/hr:10

Esto con la finalidad de analizar la variación de horas de confort, y como cada una de estas simulaciones varía de acuerdo con la ciudad y clima, y así poder determinar el tipo de ventilación según ren/hr más eficiente de acuerdo con la ciudad en cuestión.

### **7.5 VENTILACIÓN MECÁNICA 5 REN/HR CON ENFRIAMIENTO GRATUITO**

Se analiza también como la incorporación de enfriamiento gratuito puede afectar en las horas de confort en las viviendas, utilizando la ventilación mecánica con 5 ren/hr.

El enfriamiento gratuito (economizador) son útiles en edificios que requieren enfriamiento aun cuando la temperatura exterior es más baja que la interior. Un



economizador es básicamente una compuerta que permite ingresar hasta el 100% de aire exterior cuando este tiene una temperatura inferior a la del interior del edificio, proporcionando enfriamiento gratuito. Los economizadores pueden reducir el uso de energía en un 15% o más, y suelen ser exigidos por los códigos energéticos para los sistemas HVAC grandes.

El tipo utilizado en las simulaciones es el diferencial de temperatura de bulbo seco.

Este economizador aumenta el caudal de aire exterior por encima del especificado cuando hay una carga de enfriamiento y la temperatura del aire exterior está por debajo de la del aire de retorno de la zona.

Sumando a lo anterior se incorporó también recuperación de calor sensible, el cual solo se tiene recuperación sensible, y esta funciona cuando la temperatura del aire de retorno es más favorable que la temperatura del aire exterior<sup>12</sup>.

## **7.6 INCORPORACIÓN DE HVAC**

Debido a que el proyecto según las especificaciones técnicas no presenta una solución de sistema de aire acondicionado ni de calefacción, se ha optado proponer dos posibles alternativas de sistemas el cual busca generar una temperatura de confort entre los 20°C y 25°C en las zonas habitables de cada una de las viviendas.

Para la simulación y según lo especificado se ha utilizado el modo HVAC Simple, en donde no se modelan sistemas de climatización “reales” con todos sus componentes y controles específicos. En su lugar se modelan sistemas “ideales” que suministran la energía calentamiento/enfriamiento y los caudales de ventilación necesarios para mantener el confort en los edificios. Esta opción es especialmente adecuada en las etapas iniciales de diseño, así como para evaluar el dimensionado de los sistemas de climatización. También es una excelente alternativa para evaluar estrategias de diseño arquitectónico orientadas a la optimización ambiental y energética de los edificios, cuando no se requieren modelar sistemas HVAC detallados<sup>13</sup>.

Ante esto se analizará el aumento de kWh/año en gas para calefacción y electricidad para la refrigeración y lo que significa la implementación de este sistema en el impacto económico tanto para los usuarios como en su incorporación en el presupuesto de la constructora.

Para este caso se analizarán dos alternativas en las cuales se han definido en dos casos:

---

<sup>12</sup> Manual de ayuda Design Builder en español, versión del programa 5/versión del manual:2017.03.03. Design Builder

<sup>13</sup> Manual de ayuda Design Builder en español, versión del programa 5/versión del manual:2017.03.03. Design Builder

- Caso 1:
  - o CoP estacional del sistema de calefacción: 2,2
  - o CoP estacional del sistema de refrigeración: 2,0
- Caso 2:
  - o CoP estacional del sistema de calefacción: 3,4
  - o CoP estacional del sistema de refrigeración: 3,4

## 7.7 RESULTADOS DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS

### 7.7.1 Resultados MAE1

Modificado la abertura por ventanas dobles con marcos de PVC, las cuales consisten en dos hojas de vidrio de 4mm de espesor cada una, con una cámara de aire entre ellas de 13mm, sumando a esto un marco de PVC, lo cual genera una transmitancia de 2,705 W/m<sup>2</sup>K, obteniendo de esta forma los siguientes resultados:

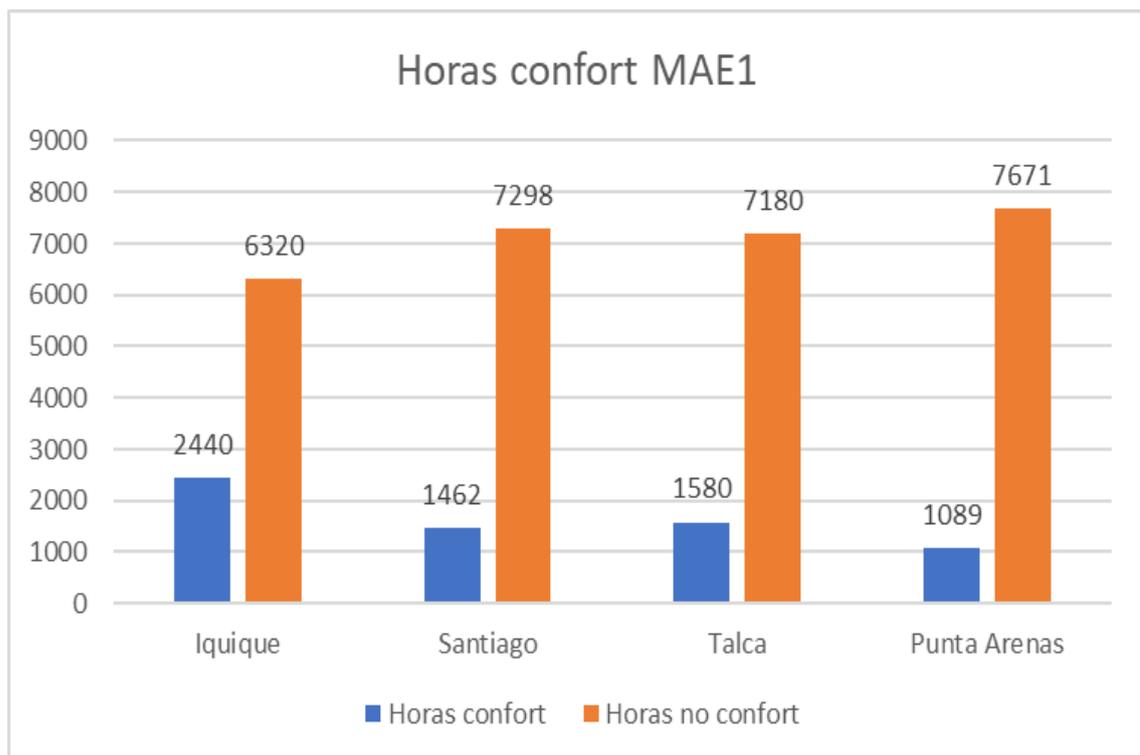


Gráfico nº3: Horas de confort MAE1. Fuente: Elaboración Propia

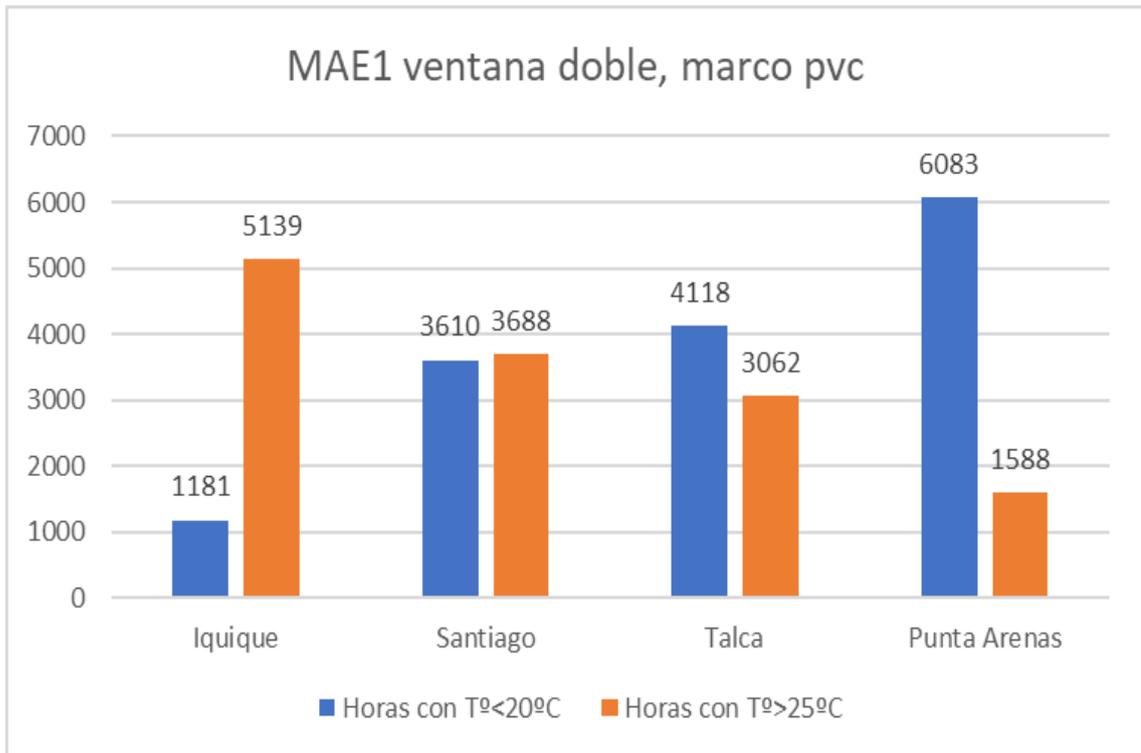


Gráfico nº4: Cantidad de horas MAE1 bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia

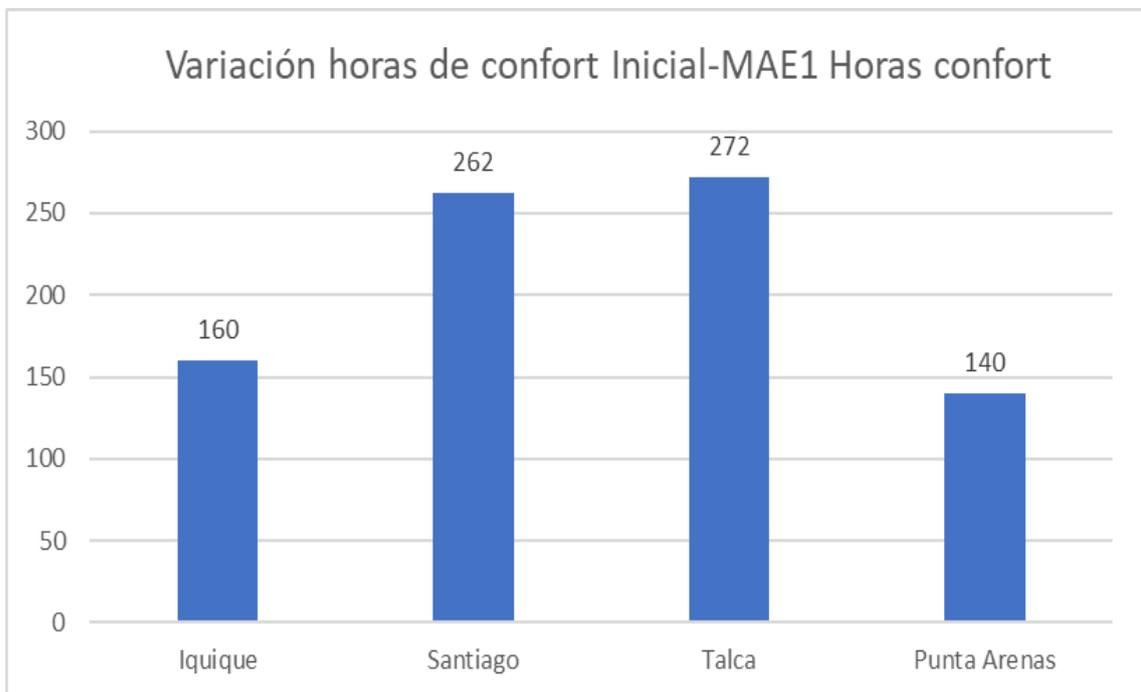


Gráfico nº5: Variación de horas de confort entre Caso inicial y MAE1. Fuente: Elaboración Propia

Ante los resultados obtenidos la medida de mejorar las características de las ventanas de las viviendas no resulta óptimo ya que el aumento de las horas de confort es mínimo si consideramos la variación que existe entre cada caso con respecto al inicial.



## MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

En la ciudad de Iquique se logran 2440 horas de confort lo que equivalen a 27,58% del total. En cuanto a las horas por debajo de los 20°C se tienen 1181 lo cual significa un 13,48% y por sobre los 25°C se tienen 5139 horas más de la mitad del total con un 58,66%. Al implementar esta medida en Iquique significa un aumento de 160 horas de confort a lo largo del año.

En la ciudad de Santiago se alcanzan 1462 horas de confort correspondientes a 16,69%. En lo que respecta a las horas con temperaturas bajo los 20°C se obtienen 3610 horas que es un 41,21% de las horas y similar ocurre con las horas por sobre los 25°C en donde se alcanzan un total de 3688 horas correspondiente a 41,10% del total. La implementación de esta medida significa un aumento de 262 horas de confort en un año.

En Talca al realizar la simulación se obtienen 1580 horas de confort que equivalen al 18,04%. En cuanto a las horas bajo los 20°C se alcanzan 4118 que es el 47,0% y las horas por sobre los 25°C son 3062 que corresponden al 34,95%. La utilización de esta MAE1 en Talca significa un aumento de 272 horas de confort en total.

Por último, para el caso de Punta Arenas, con la implementación de la MAE1 se logran 1089 horas de confort correspondiente al 12,43% del total. Para las horas por debajo de los 20°C se obtienen 6083 que es un 69,44% y las horas con temperaturas por sobre los 25°C 1588 lo que significa un 18,13% del total. Con la incorporación de la MAE1 en Punta Arenas se logra incrementar 140 horas de confort en el año.

### 7.7.2 Resultados MAE2 sistema EIFS 8cm

Sistema de aislación de fachadas para muros y losas ventiladas que funciona a través de la superposición de 5 pieles: fijación, capa aislante, capa impermeabilizante – abierta a la difusión del vapor y resistente al impacto–, y capa exterior de terminación. Con dicha solución se logró obtener los siguientes resultados:

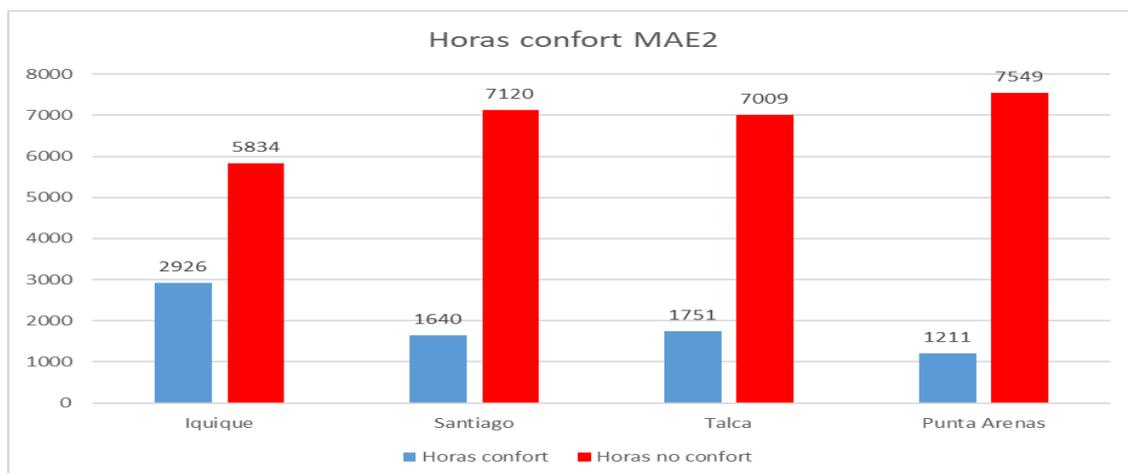


Gráfico nº6: Horas de confort MAE2. Fuente: Elaboración Propia

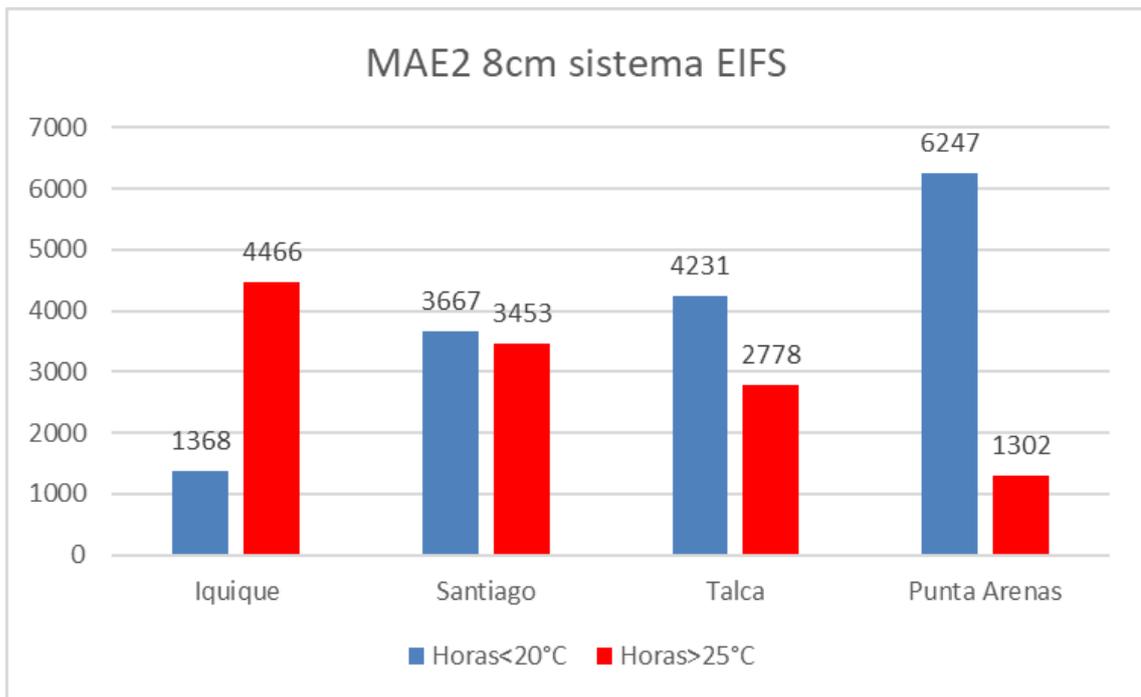


Gráfico nº7: Cantidad de horas MAE1 bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia

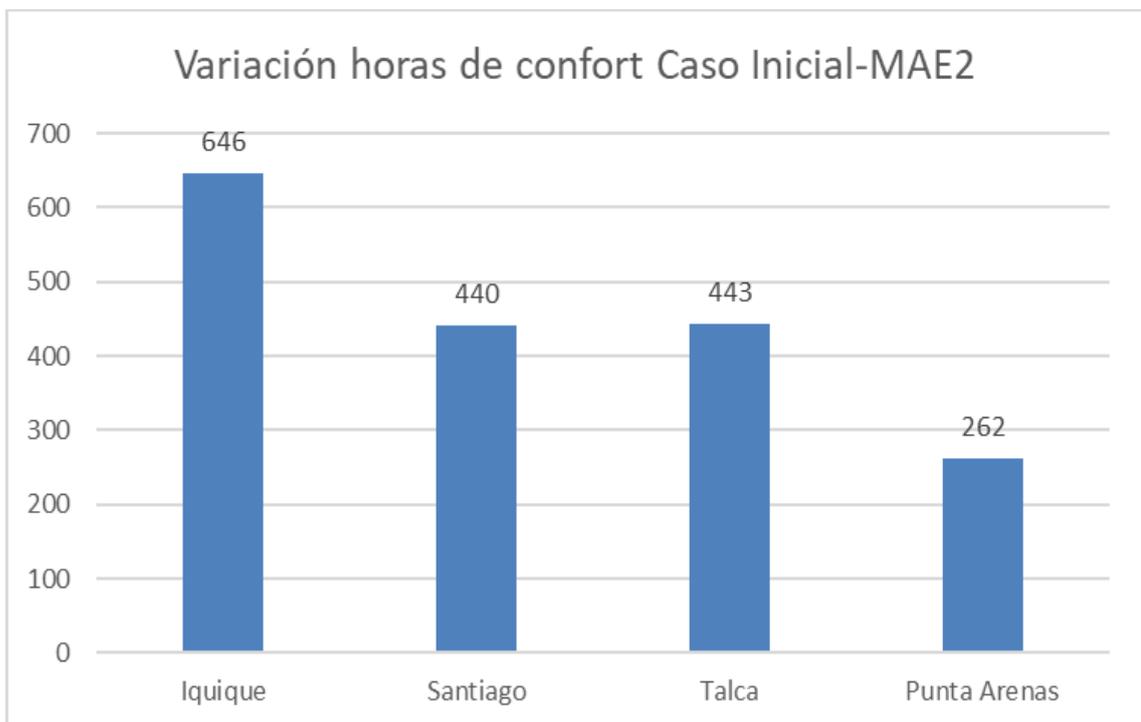


Gráfico nº8: Variación de horas de confort entre Caso inicial y MAE2. Fuente: Elaboración Propia

En la ciudad de Iquique la implementación de la MAE2 significó alcanzar 2926 horas de confort correspondiente al 33,40%. Las temperaturas por debajo de los 20°C alcanzaron las 1368 horas que es un 15,62% y las que están por sobre los 25°C 66,60% que corresponden a 5834 horas. Con 8cm de EIFS se logró incrementar 646 horas de confort.



## MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

En Santiago las horas de confort alcanzan las 1640 horas correspondientes al 18,72%. Las temperaturas por debajo de los 20°C se obtienen 3667 que es un 41,87% y por sobre los 25°C 3453 horas que significa un 39,42% del total. Con la MAE2 en Santiago se logra un incremento de 440 horas de confort.

En la ciudad de Talca con un EIFS de 8cm se logró 1751 horas de confort lo que equivale a 19,99%. En lo que respecta a las horas por debajo de los 20°C se alcanzaron 4231 horas que es un 48,30% y por sobre los 25°C se obtuvo 2778 horas que es un 31,71%. Ante esto la aplicación de esta medida se logró incrementar 443 horas de confort a lo largo del año.

Finalmente, en Punta Arenas con esta medida se obtuvo 1211 horas de confort equivalente al 13,82%. En cuanto a las temperaturas bajo los 20°C se alcanzaron 6247 horas que corresponden al 71,31% y por sobre los 25°C se obtuvo un total de 1302 horas que es un 14,86%. La utilización de esta medida significó un aumento de 262 horas de confort en total.

### 7.2.3 Resultados MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr

Implementación en conjunto de las MAE1 que consiste en la incorporación de ventanas con dos vidrios de 4mm de espesor cada uno y entre ellas una cámara de aire de 13mm, con marcos de PVC y MAE2 el cual corresponde a la instalación del sistema EIFS con 8cm de espesor, sumándole la incorporación de ventilación mecánica con 5 renovaciones por hora, obteniendo así los siguientes resultados:

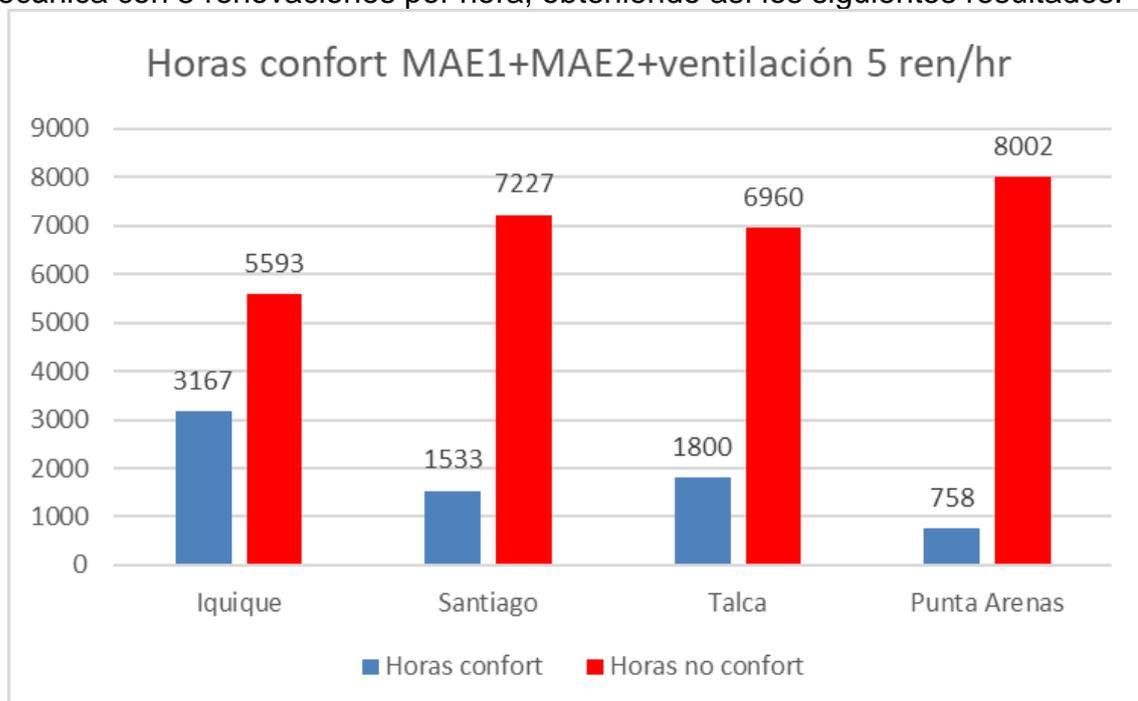


Gráfico nº9: Horas de confort MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr. Fuente: Elaboración Propia

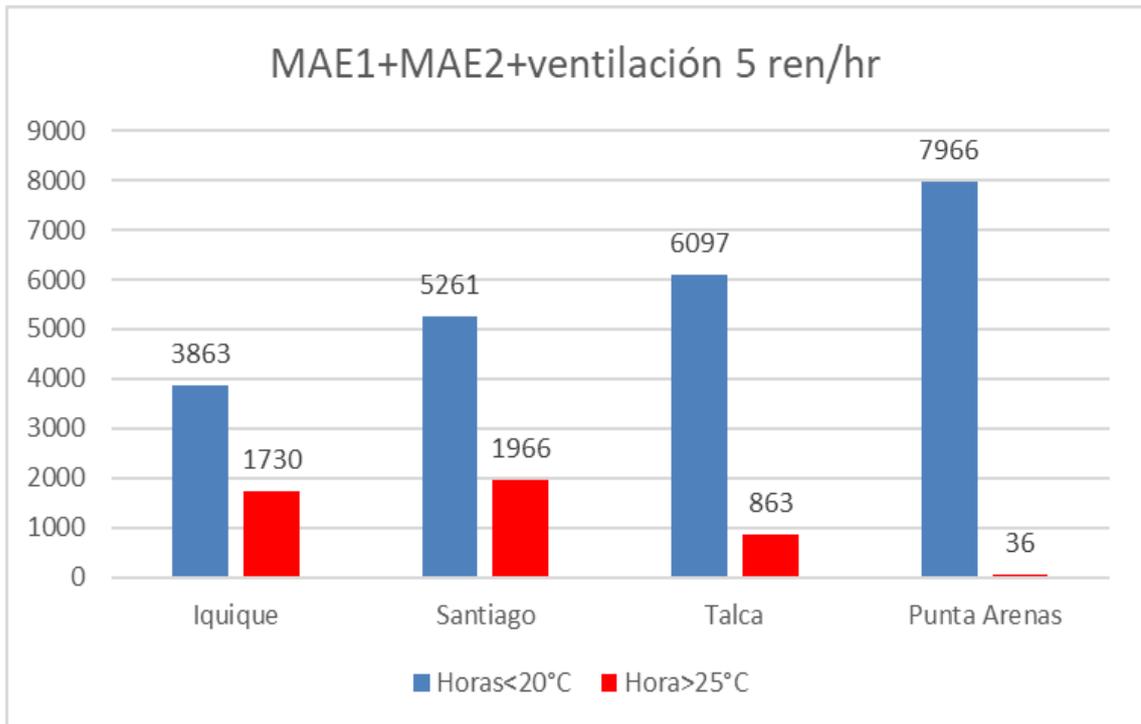


Gráfico nº10: Cantidad de horas MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia

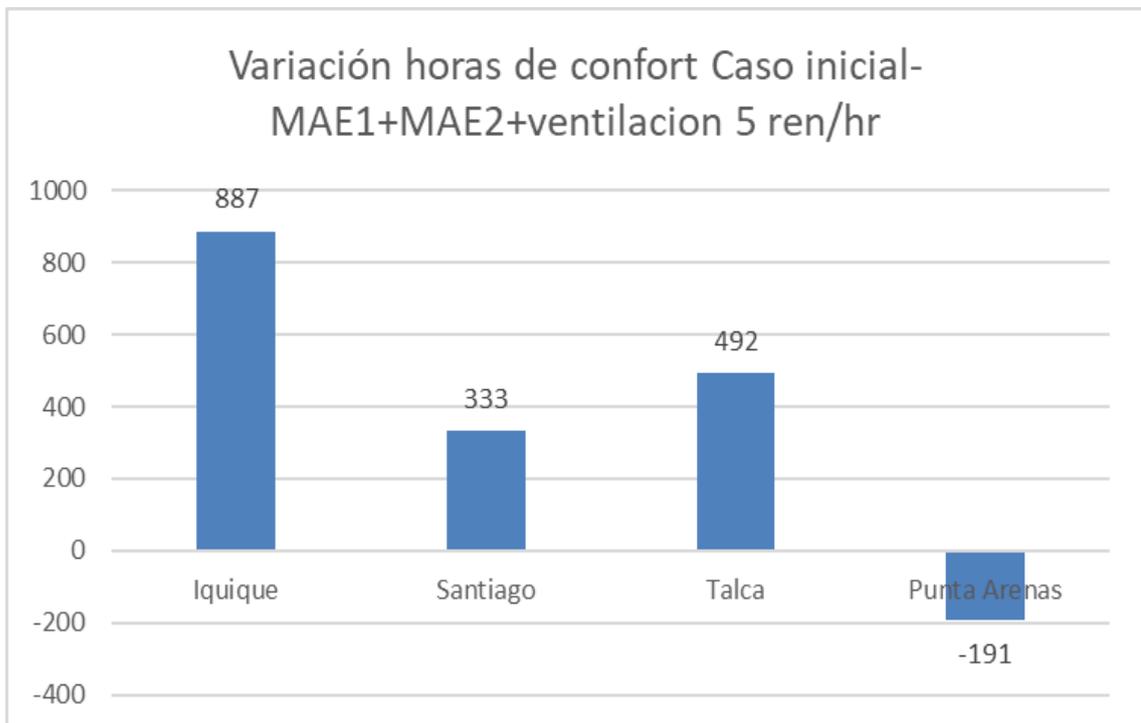


Gráfico nº11: Variación de horas de confort entre Caso inicial MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr. Fuente: Elaboración Propia

En la ciudad de Iquique se logran 3167 horas de confort lo que equivalen a 36,15% del total. En cuanto a las horas por debajo de los 20°C se tienen 3863 lo cual significa un 44,10% y por sobre los 25°C se tienen 1730 horas más de la mitad del total con un 19,75%. Al implementar esta medida en Iquique significa un aumento de 887 horas de confort a lo largo del año.



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**

Felipe Riquelme Bórquez

En la ciudad de Santiago se alcanzan 1533 horas de confort correspondientes a 17,5%. En lo que respecta a las horas con temperaturas bajo los 20°C se obtienen 5261 horas que es un 60,06% de las horas y similar ocurre con las horas por sobre los 25°C en donde se alcanzan un total de 1966 horas correspondiente a 22,44% del total. La implementación de esta medida significa un aumento de 333 horas de confort en un año.

En Talca al realizar la simulación se obtienen 1800 horas de confort que equivalen al 20,55%. En cuanto a las horas bajo los 20°C se alcanzan 6097 que es el 69,60% y las horas por sobre los 25°C son 863 que corresponden al 9,85%. La utilización de esta medida en Talca significa un aumento de 492 horas de confort en total.

Por último, para el caso de Punta Arenas, con la implementación de dicha solución se logran 758 horas de confort correspondiente al 8,65% del total. Para las horas por debajo de los 20°C se obtienen 7966 que es un 90,94% y las horas con temperaturas por sobre los 25°C 36 lo que significa un 0,41% del total. Con la incorporación de esta medida en Punta Arenas las horas de confort disminuyeron en 191 horas en total al año.

#### 7.2.4 Resultados ventilación mecánica

Se ha utilizado el método de ventilación por zona (Design Flow Rate) que según el manual de Desing builder, la modelación mecánica es mediante EnergyPlus Zone Ventilation:DesignFlowRate, de manera independiente al sistema principal de HVAC. Con esta opción el consumo de energía y los aportes de calor de los ventiladores se pueden incluir en los balances térmicos de la zona. Ante esto se han obtenido los siguientes resultados:

- Ventilación mecánica 1 (ren/hr)

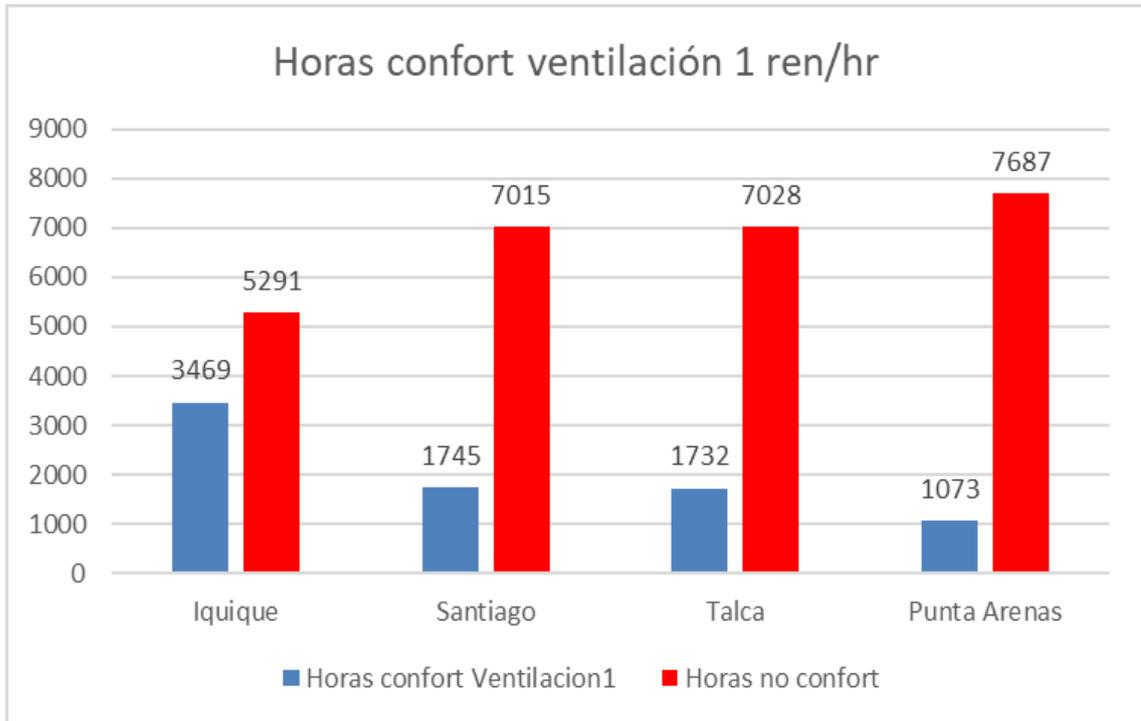


Gráfico nº12: Horas de confort Ventilación mecánica 1 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia

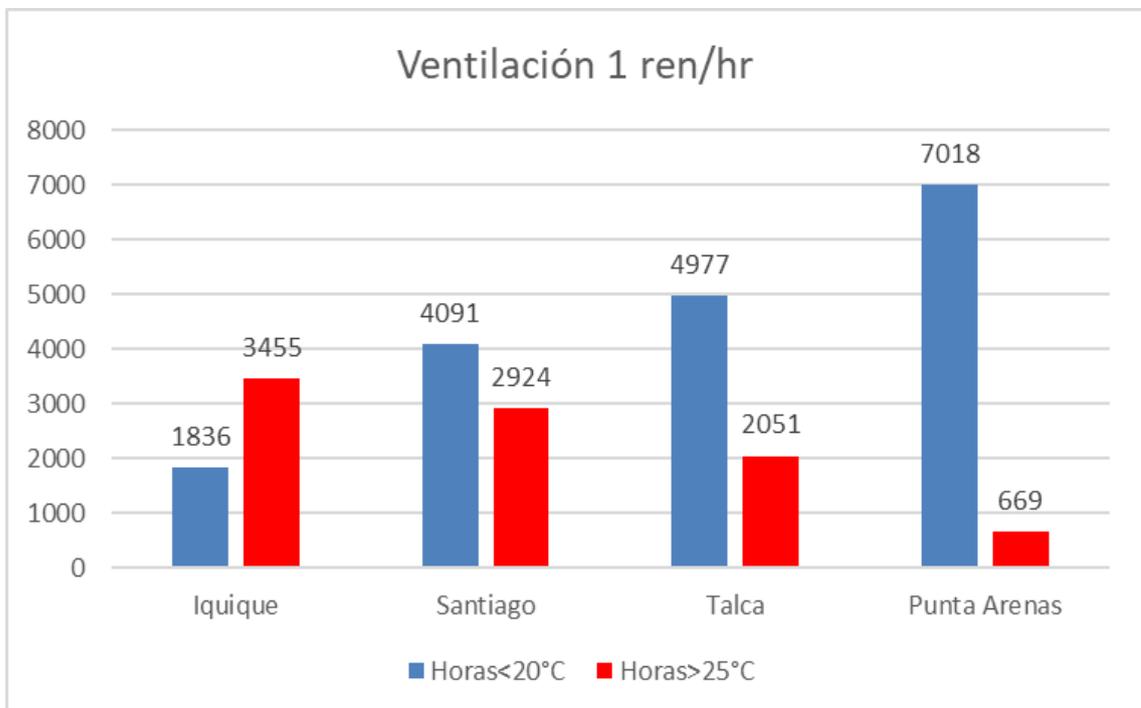


Gráfico nº13: Cantidad de Ventilación mecánica 1 (ren/hr) bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia

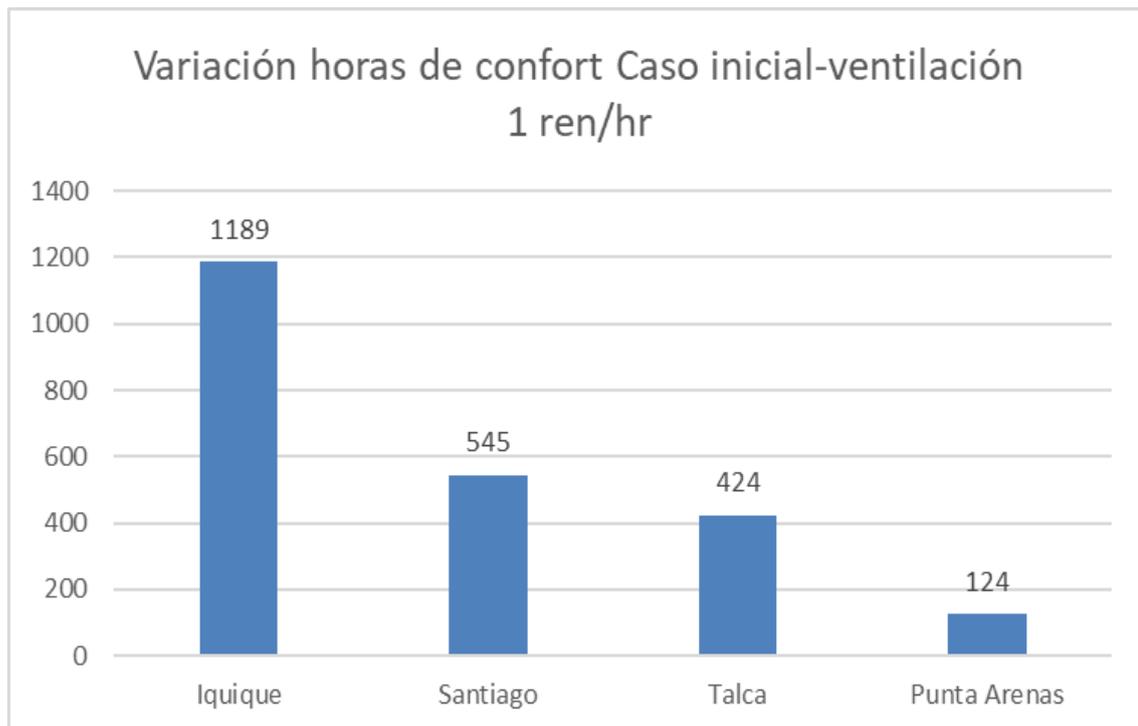


Gráfico nº14: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 1 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia

En la ciudad de Iquique utilizando ventilación mecánica 1 ren/hr significó alcanzar 3469 horas de confort correspondiente al 39,60%. Las temperaturas por debajo de los 20°C alcanzaron las 1836 horas que es un 20,96% y las que están por sobre los 25°C 39,44% que corresponden a 3455 horas. Con la utilización de esta ventilación mecánica se logró incrementar 1189 horas de confort.

En Santiago las horas de confort alcanzan las 1745 horas correspondientes al 19,92%. Las temperaturas por debajo de los 20°C se obtienen 4091 que es un 46,70% y por sobre los 25°C 2924 horas que significa un 33,38% del total. En Santiago se logra un incremento de 545 horas de confort.

En la ciudad de Talca se logró 1732 horas de confort lo que equivale a 19,77%. En lo que respecta a las horas por debajo de los 20°C se alcanzaron 4977 horas que es un 56,82% y por sobre los 25°C se obtuvo 2051 horas que es un 23,41%. Ante esto la aplicación de esta medida se logró incrementar 424 horas de confort a lo largo del año.

Finalmente, en Punta Arenas con esta medida se obtuvo 1073 horas de confort equivalente al 12,25%. En cuanto a las temperaturas bajo los 20°C se alcanzaron 7018 horas que corresponden al 80,11% y por sobre los 25°C se obtuvo un total de 669 horas que es un 7,64%. La utilización de esta medida significó un aumento de 124 horas de confort en total.

- **Ventilación mecánica 4 (ren/hr)**

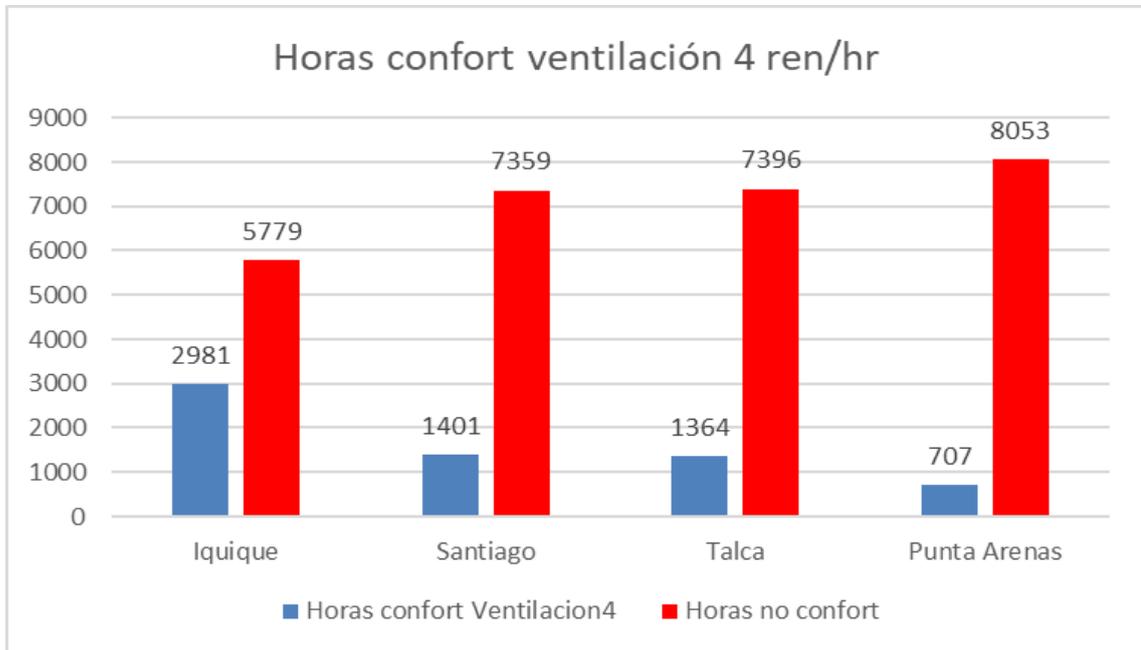


Gráfico nº15: Horas de confort con ventilación mecánica 5 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia.

Ante los resultados se puede observar que para la ciudad de Iquique las horas de confort con el uso de ventilación mecánica son de 2981 lo que equivale a un 34,03%, por otro lado, la ciudad de Santiago se tiene 1401 horas entre los rangos establecidos para el confort lo que equivale a un 15,99%. En la ciudad de Talca se alcanzan 1364 horas correspondiente al 15,56% del total y por último en Punta Arenas solo se obtienen 707 horas que significa un 8,07% de un total de 8760 horas anuales.

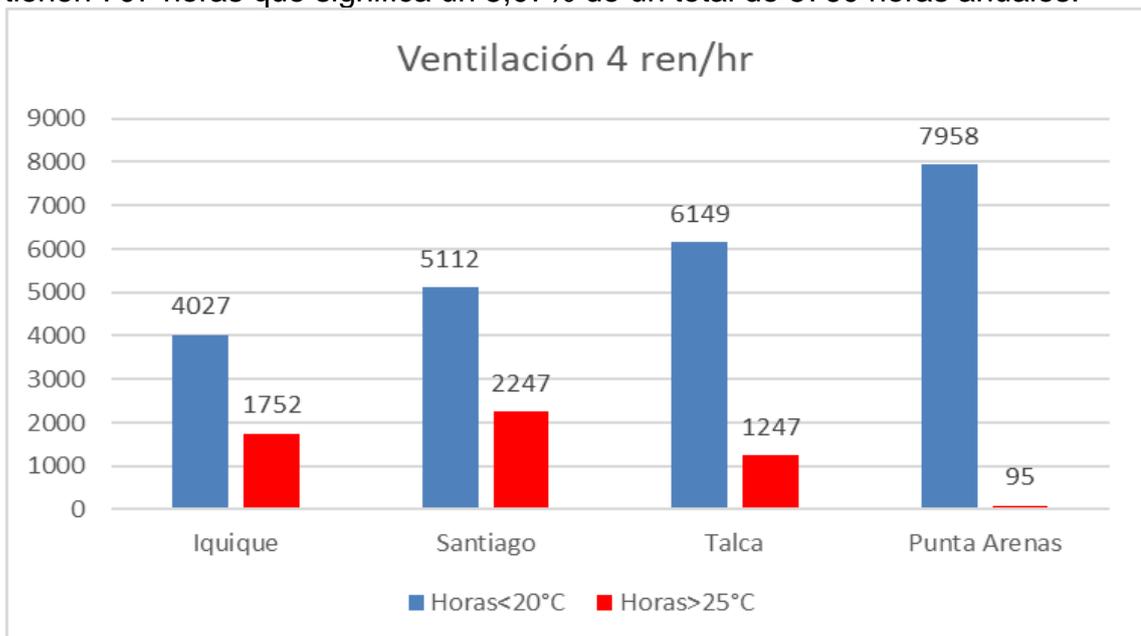


Gráfico nº16: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 5 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia.

Con la implementación de ventilación mecánica en las distintas ciudades, dentro de los análisis es determinar las horas por debajo y por sobre las temperaturas de confort que se han establecido en la investigación, por lo que se obtienen los siguientes resultados:

En la ciudad de Iquique se alcanzan 4027 horas por debajo de los 20°C que corresponde a un 45,97% y 1752 horas por sobre los 25°C que significa 20,0% del total de las horas anuales.

En el caso de Santiago se obtienen 5112 horas por debajo de los 20°C y 2247 horas por sobre los 25°C lo que se traducen en 58,36% y 25,65 del total de horas respectivamente.

Talca alcanza 6149 horas por debajo de los 20°C que equivalen a un 70,19% y 1247 horas por sobre los 25°C que es un 14,24% del total.

Finalmente, en el caso de la ciudad de Punta Arenas es la que posee un mayor número de horas por debajo de los 20°C llegando a un 90,84% del total de las horas anuales y solo un 1,08% de horas por sobre los 25°C.

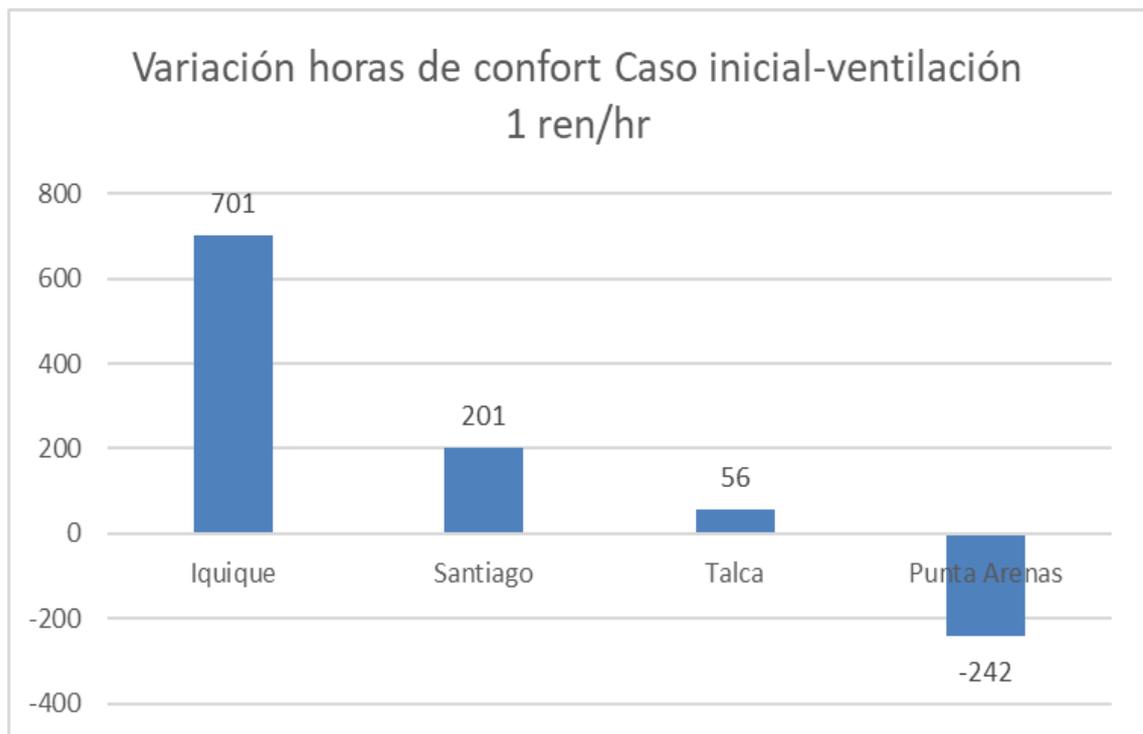


Gráfico nº17: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 4 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia

Con la implementación de esta medida se obtiene los siguientes resultados:

En la ciudad de Iquique se logra un incremento de 701 horas anuales, en Santiago 201 horas más con una ventilación de 4 ren/hr, por otro lado, en Talca a penas se incrementan 56 horas de confort, y en Punta Arenas caso contrario a las otras

ciudades las horas de confort disminuyen 242 horas, obteniendo así menos horas de confort.

- **Ventilación mecánica 10 (ren/hr)**

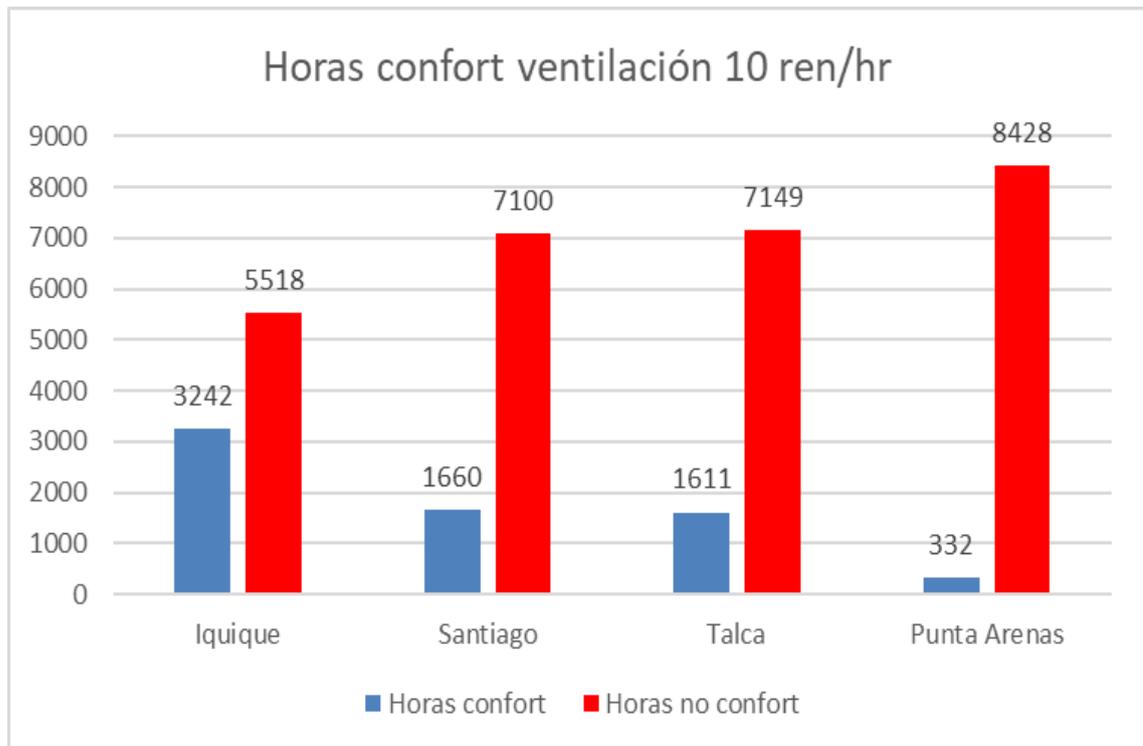


Gráfico nº18: Horas de confort con ventilación mecánica 10 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia.

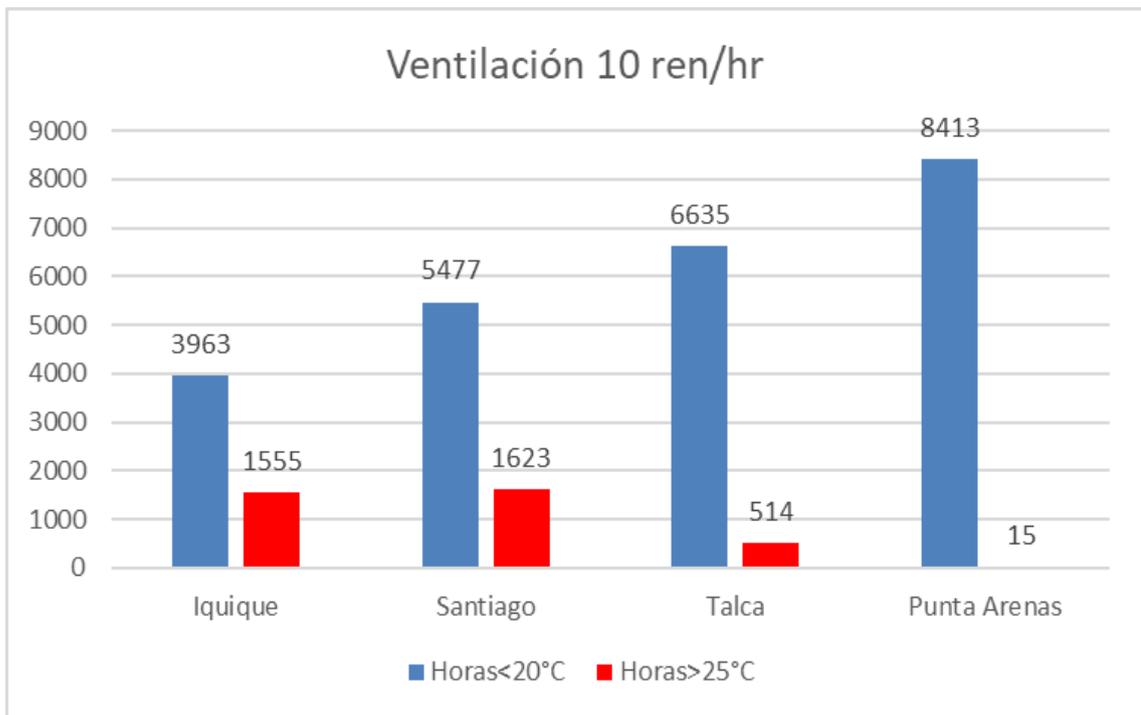


Gráfico nº19: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 10 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia.

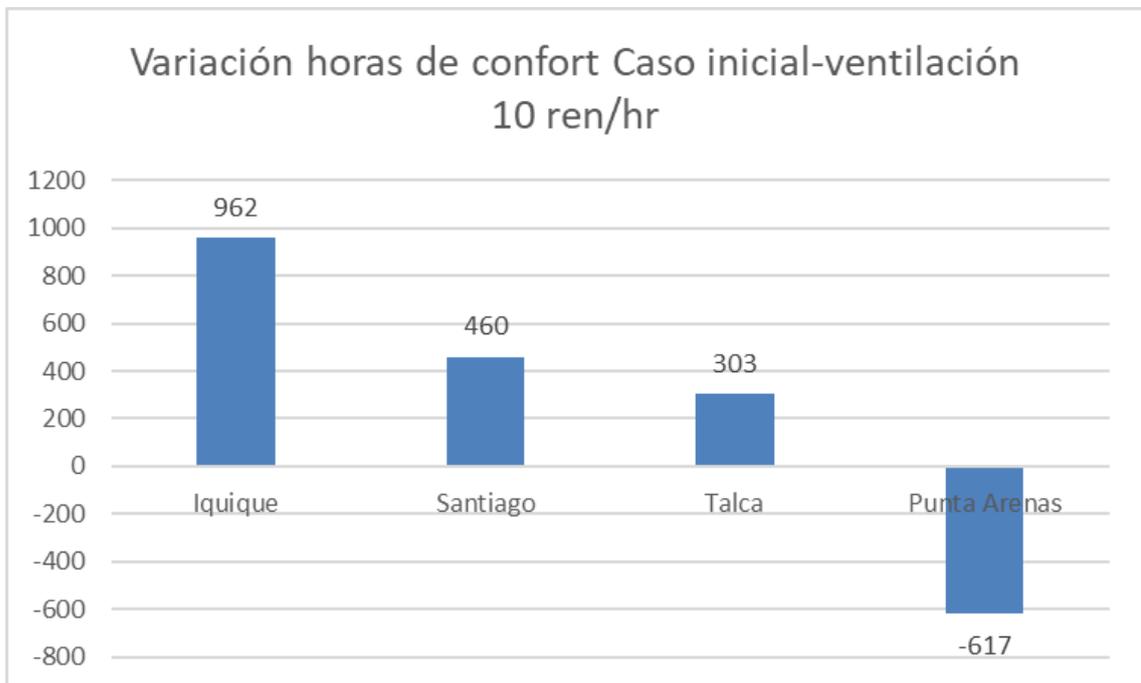


Gráfico nº20: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 10 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia

En la ciudad de Iquique se logran 3242 horas de confort lo que equivalen a 37,0% del total. En cuanto a las horas por debajo de los 20°C se tienen 3963 lo cual significa un 45,24% y por sobre los 25°C se tienen 1555 horas más de la mitad del total con un 17,75%. Al implementar esta medida en Iquique significa un aumento de 962 horas de confort a lo largo del año.



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**

Felipe Riquelme Bórquez

En la ciudad de Santiago se alcanzan 1660 horas de confort correspondientes a 18,95%. En lo que respecta a las horas con temperaturas bajo los 20°C se obtienen 5477 horas que es un 62,52% de las horas y similar ocurre con las horas por sobre los 25°C en donde se alcanzan un total de 1623 horas correspondiente a 18,53% del total. La implementación de esta medida significa un aumento de 460 horas de confort en un año.

En Talca al realizar la simulación se obtienen 1611 horas de confort que equivalen al 18,39%. En cuanto a las horas bajo los 20°C se alcanzan 6635 que es el 75,74% y las horas por sobre los 25°C son 514 que corresponden al 5,87%. Con la medida implementada se logra un aumento de 303 horas de confort en total.

Por último, para el caso de Punta Arenas se logran 332 horas de confort correspondiente al 7,79% del total. Para las horas por debajo de los 20°C se obtienen 8413 que es un 96,04% y las horas con temperaturas por sobre los 25°C 15 lo que significa un 0,17% del total. En este caso las horas de confort disminuyen generando así 617 horas menos entre los rangos establecido.

#### 7.2.5 Resultados ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito

Se ha utilizado la ventilación mecánica con 5 ren/hr, con enfriamiento gratuito (economizador) esta medida es útil en edificios que requieren enfriamiento aun cuando la temperatura exterior es más baja que la interior. Un economizador es básicamente una compuerta que permite ingresar hasta el 100% de aire exterior cuando este tiene una temperatura inferior a la del interior del edificio, proporcionando enfriamiento gratuito. Los economizadores pueden reducir el uso de energía en un 15% o más, y suelen ser exigidos por los códigos energéticos para los sistemas HVAC grandes, con esto se han obtenido los siguientes resultados:

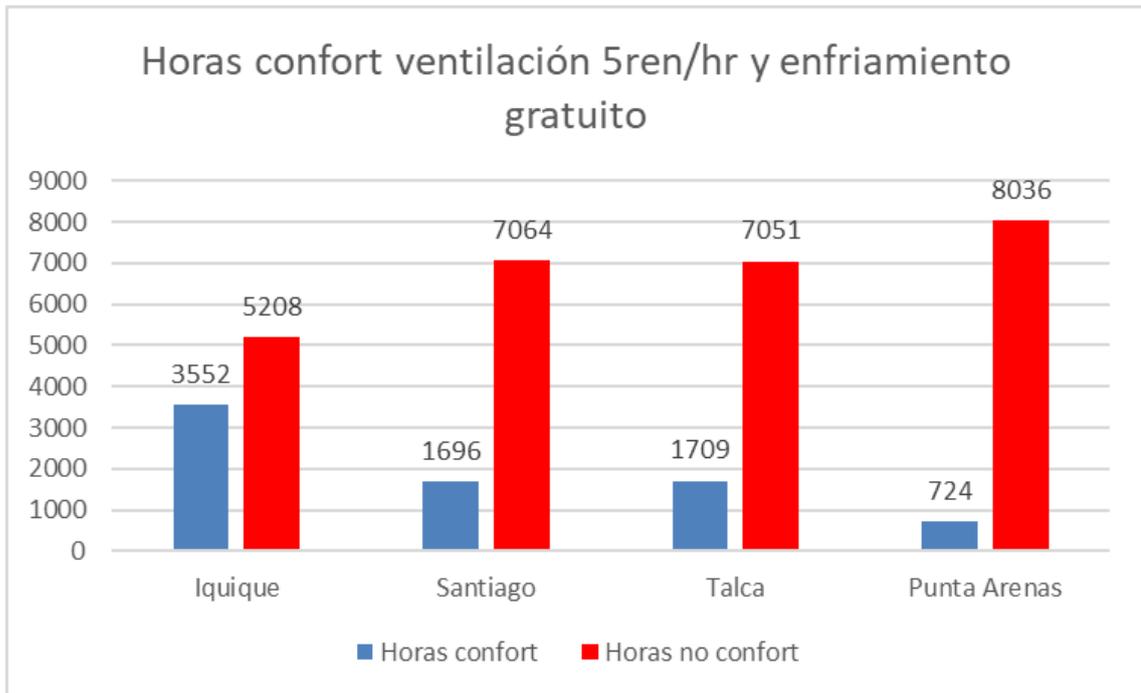


Gráfico nº21: Horas de confort con ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia.

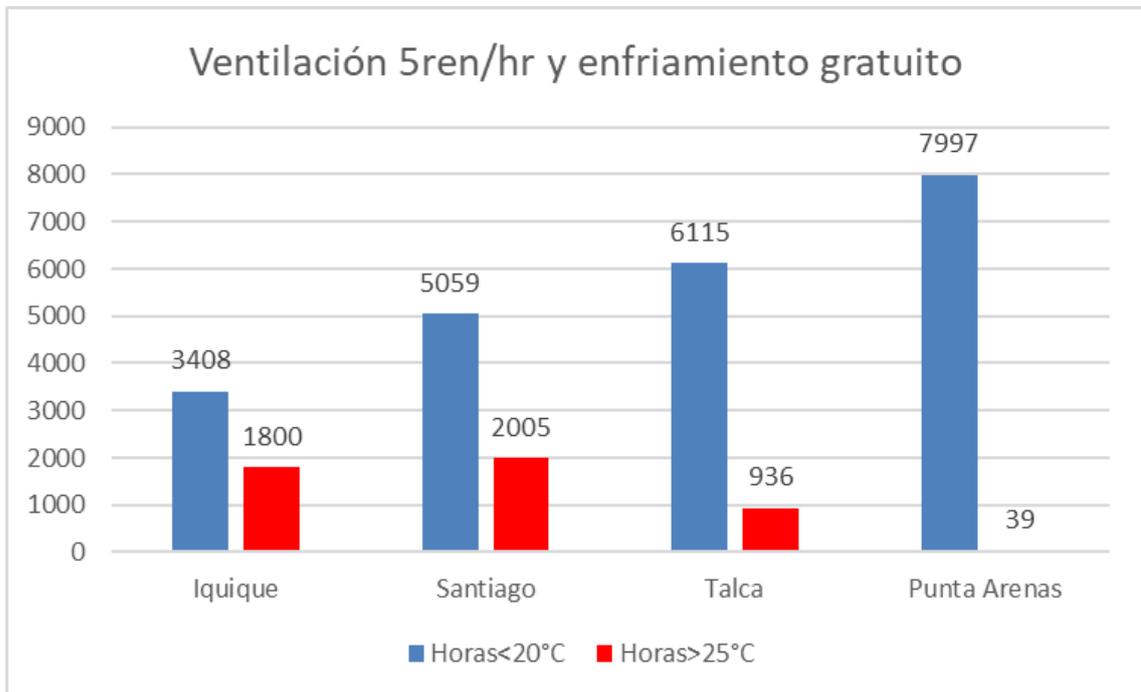


Gráfico nº22: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia.

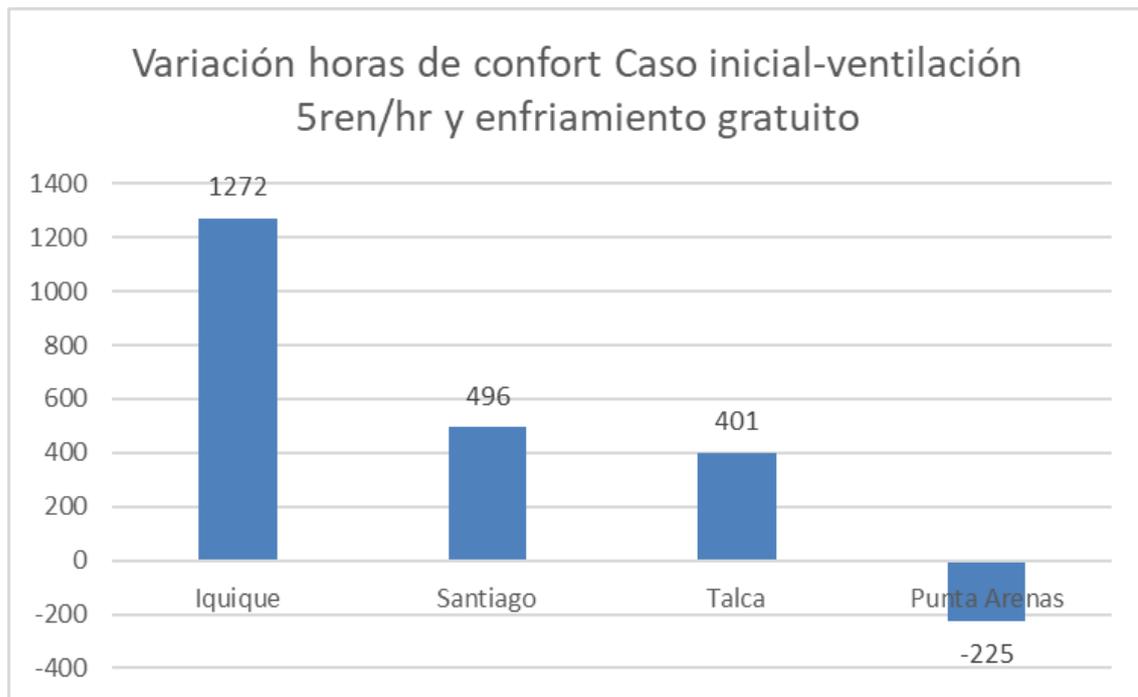


Gráfico n°23: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia

Ante los resultados obtenidos en la simulación se obtienen los siguientes resultados:

Para la ciudad de Iquique se logran 3552 horas de confort correspondiente al 40,55% del total. En cuanto a las horas por debajo de los 20°C se tienen 3408 horas equivalentes al 38,90%, por sobre los 25°C se alcanzaron 1800 horas que es un 20,55%. Al utilizar esta medida se logró incrementar 1272 horas de confort durante un año

En la ciudad de Santiago se alcanzan 1696 horas de confort correspondientes a 19,36%. En lo que respecta a las horas con temperaturas bajo los 20°C se obtienen 5059 horas que es un 57,75% de las horas y similar ocurre con las horas por sobre los 25°C en donde se alcanzan un total de 2005 horas correspondiente a 22,89% del total. La implementación de esta medida significa un aumento de 496 horas de confort en un año.

En la ciudad de Talca se logró 1709 horas de confort lo que equivale a 19,51%. En lo que respecta a las horas por debajo de los 20°C se alcanzaron 6115 horas que es un 69,81% y por sobre los 25°C se obtuvo 936 horas que es un 10,68%. Ante esto la aplicación de esta medida se logró incrementar 401 horas de confort a lo largo del año.

Finalmente, en Punta Arenas con esta medida se obtuvo 724 horas de confort equivalente al 8,26%. En cuanto a las temperaturas bajo los 20°C se alcanzaron 7997 horas que corresponden al 91,29% y por sobre los 25°C se obtuvo un total de 39 horas que es un 0,45%. La utilización de esta medida significó una disminución en las horas de confort, teniendo así 225 horas menos en total al año.

### 7.2.6 Resultados incorporación de calefacción y aire acondicionado

Se ha utilizado el modo HVAC Simple, en donde no se modelan sistemas de climatización “reales” con todos sus componentes y controles específicos. En su lugar se modela sistemas “ideales” que suministran la energía calentamiento/enfriamiento y los caudales de ventilación necesarios para mantener el confort en los edificios. Esta opción es especialmente adecuada en las etapas iniciales de diseño, así como para evaluar el dimensionando de los sistemas de climatización. También es una excelente alternativa para evaluar estrategias de diseño arquitectónico orientadas a la optimización ambiental y energética de los edificios, cuando no se requieren modelar sistemas HVAC detallados. Con esto se han logrado los siguientes resultados:

- **Calefacción (CoP 2,2) y aire acondicionado (CoP 2,0)**

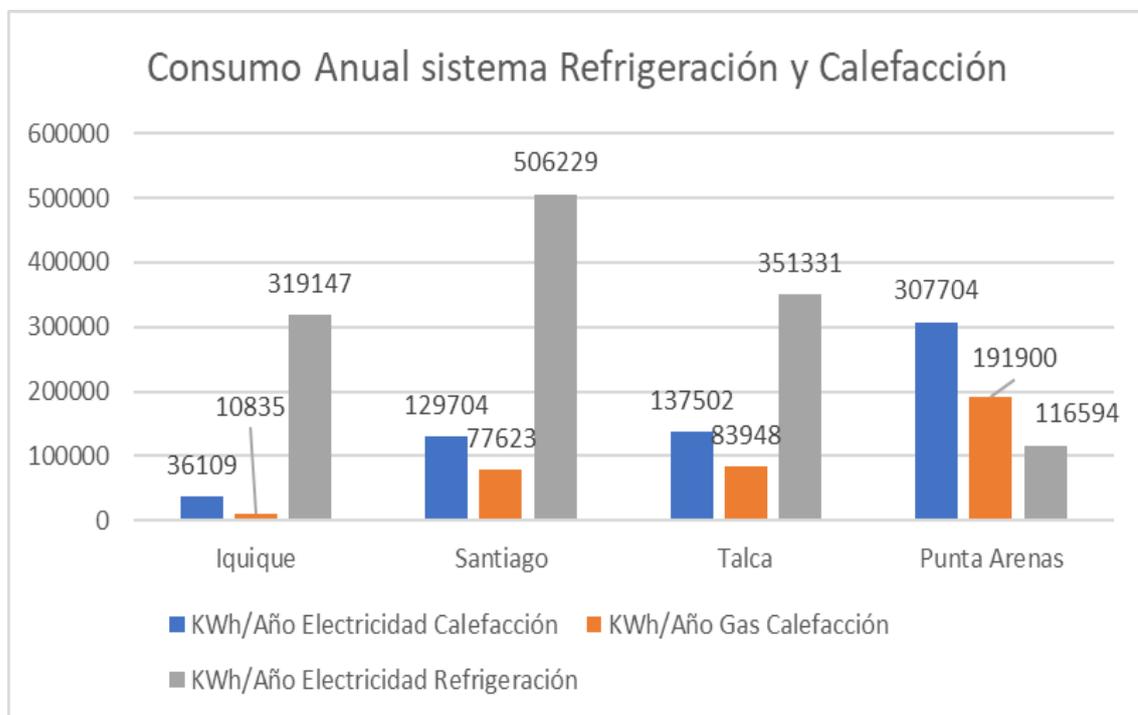


Gráfico nº24: Consumo anual sistemas de Refrigeración (CoP 2,2) y Calefacción (CoP 2,0). Fuente: Elaboración Propia

La utilización de estos sistemas y teniendo en consideración los valores de electricidad de 0,14 €/Kwh y de 0,057 €/KWh de gas y las 64 viviendas que posee el conjunto habitacional y suponiendo el mismo consumo para cada hogar se tienen los siguientes valores.

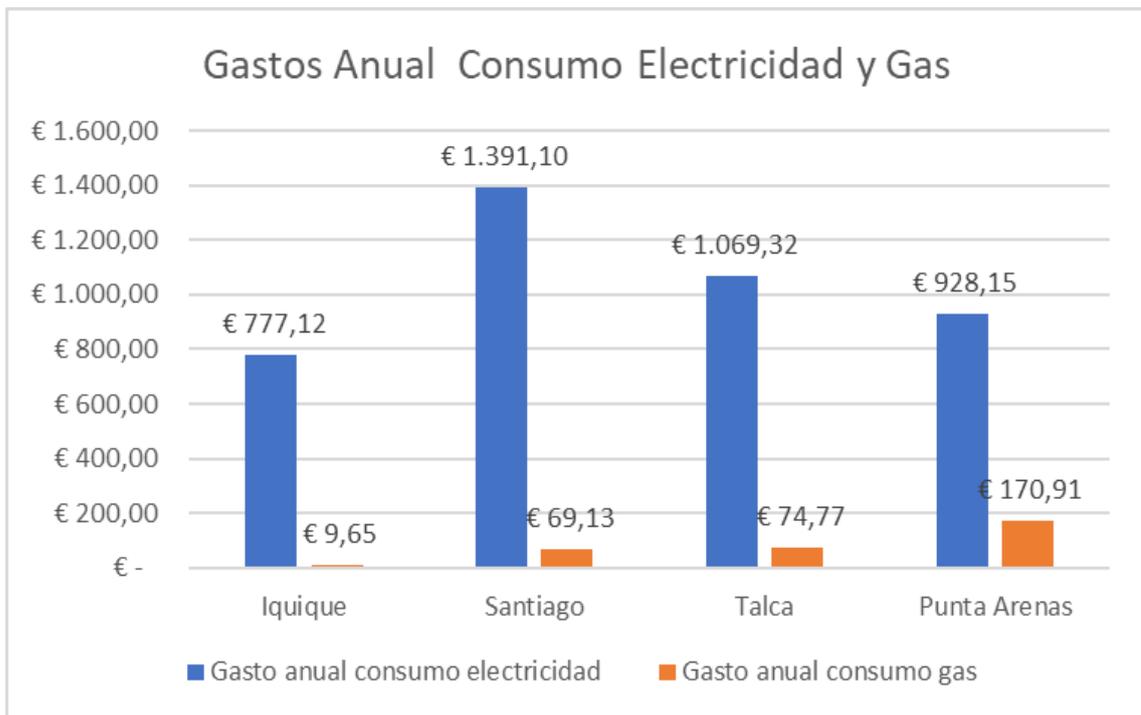


Gráfico nº25: Gastos anual con sistema Refrigeración y Calefacción. Fuente: Elaboración Propia

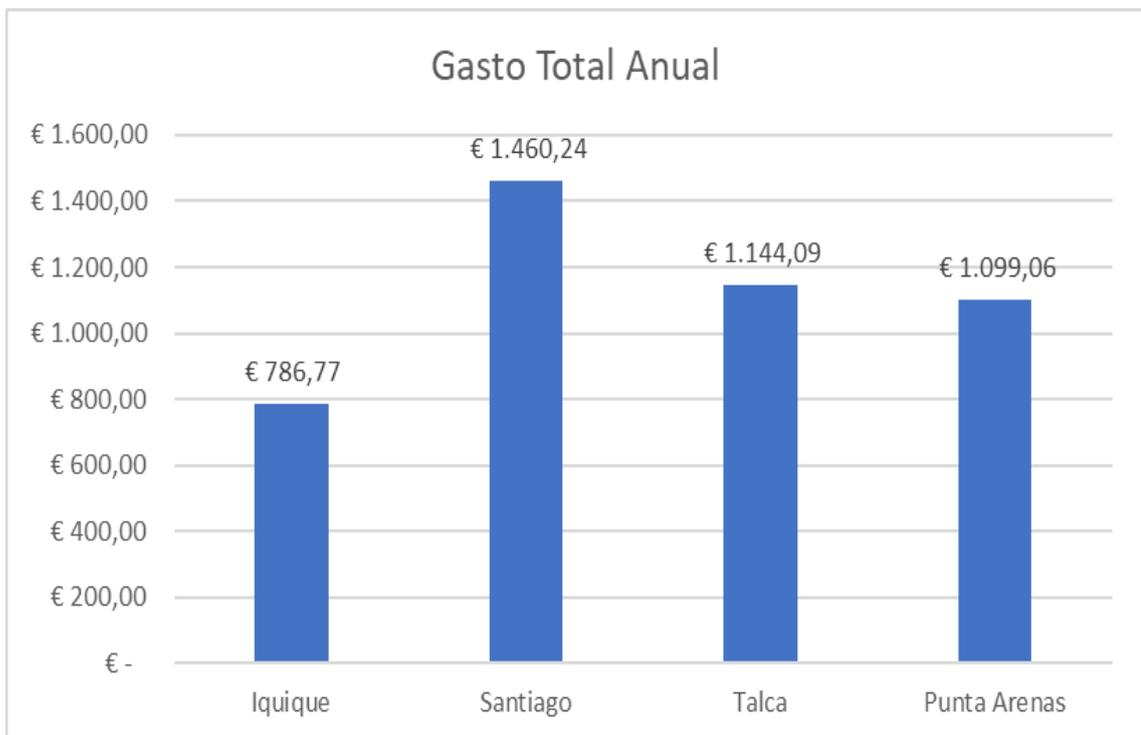


Gráfico nº26: Gasto Total Anual. Fuente: Elaboración Propia

Ante los resultados obtenidos se puede considerar que, si prorrateamos los gastos, se tiene que para la ciudad de Iquique en promedio cada mes un costo de 65,56 €/mes, mientras que la ciudad de Santiago 121,69 €/mes, la ciudad de Talca 95,34 €/mes y por último la ciudad de Punta Arenas 91,56 €/mes.

- **Calefacción (CoP 3,4) y aire acondicionado (CoP 3,4)**

Al igual que en el caso 7.3.1, se ha considerado los valores de electricidad de 0,14 €/Kwh y de 0,057 €/KWh de gas y las 64 viviendas que posee el conjunto habitacional y suponiendo el mismo consumo para cada hogar se tienen los siguientes valores.

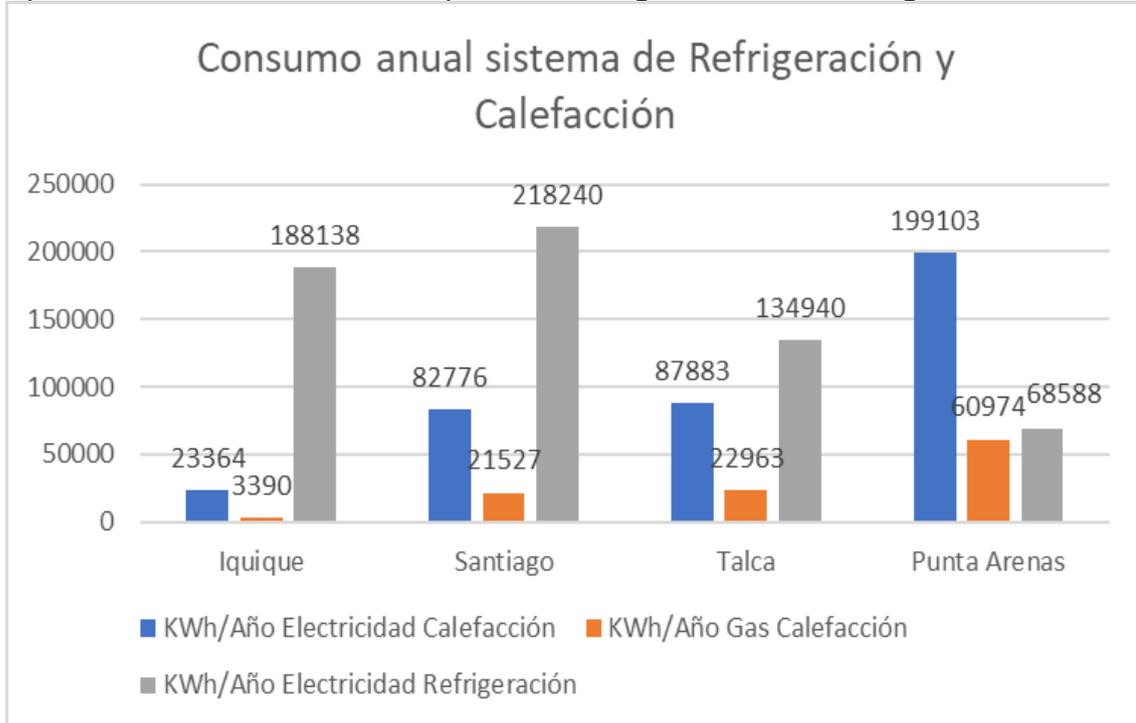


Gráfico nº27: Consumo anual sistemas de Refrigeración (CoP 3,4) y Calefacción (CoP 3,4). Fuente: Elaboración Propia

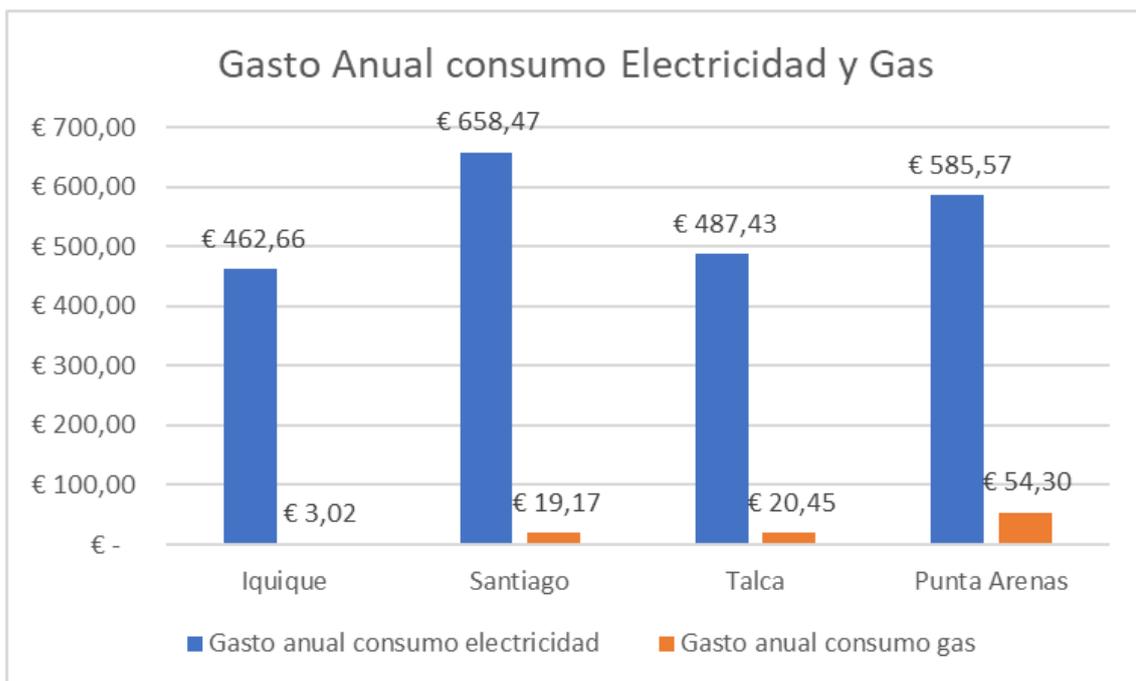


Gráfico nº28: Gasto anual en electricidad y gas. Fuente: Elaboración Propia

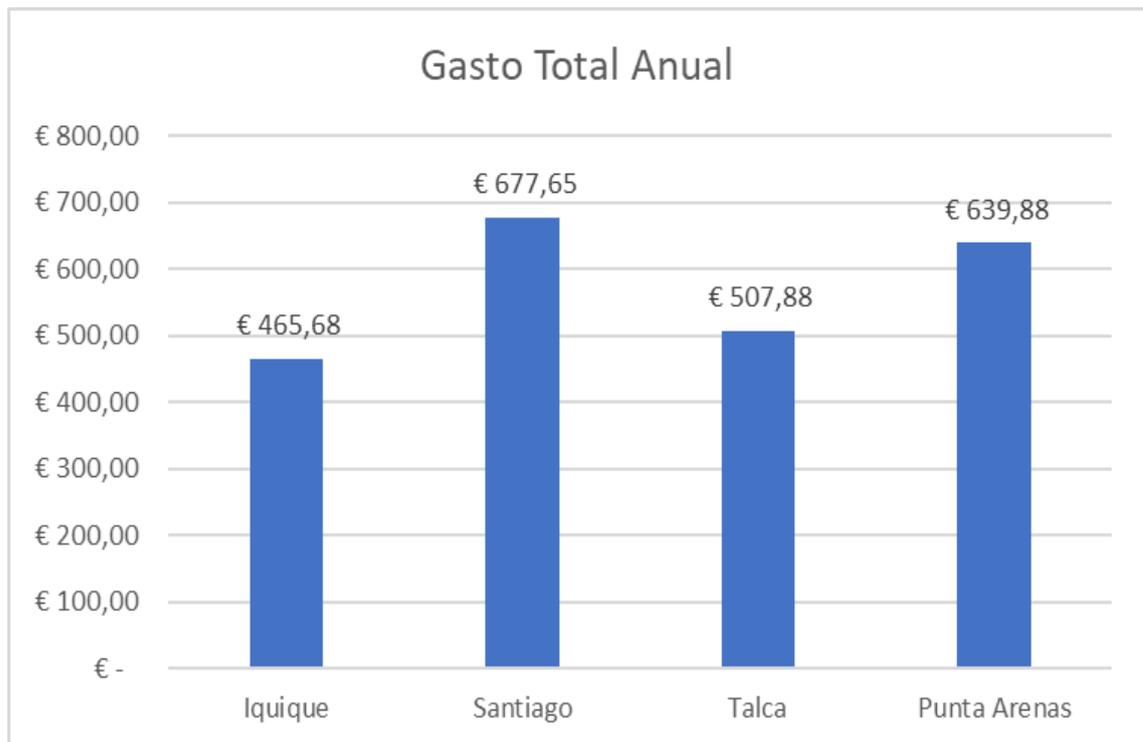


Gráfico nº29: Gasto total anual. Fuente: Elaboración Propia

Ante los resultados obtenidos se puede considerar que, se tiene que para la ciudad de Iquique en promedio cada mes tendrá un costo de € 38,81/mes, mientras que la ciudad de Santiago 56,47 € /mes, la ciudad de Talca 42,32 € /mes y por último la ciudad de Punta Arenas 53,32 € /mes.

## 8. RESUMEN DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS

### 8.1 RESUMEN DE PROPUESTAS IQUIQUE

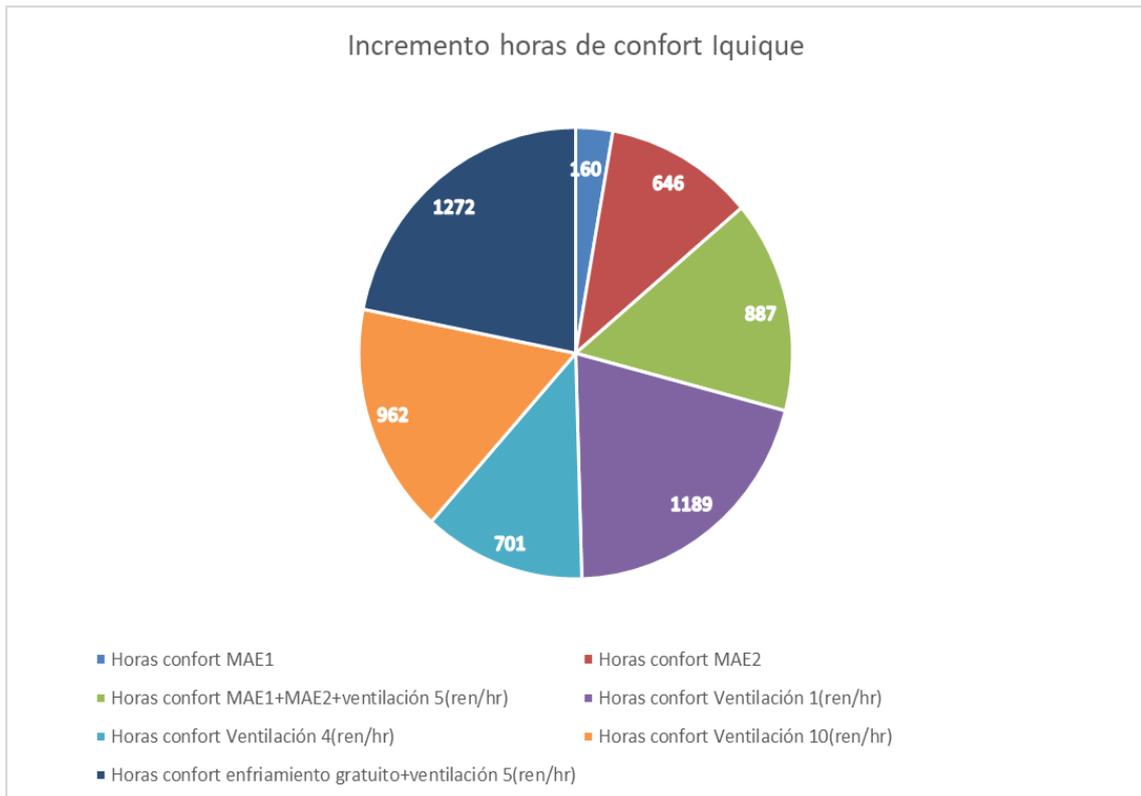


Gráfico nº30: Incremento horas de confort Iquique. Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la simulación en Design Builder, la ciudad de Iquique presenta los siguientes resultados, los cuales se basan en el análisis de las horas operativas que alcanzan las horas de confort, dichas horas deben estar entre el rango de 20°C a 25°C.

Producto de esto la simulación con enfriamiento gratuito y ventilación de 5 (ren/hr) ha presentado 3552 horas de confort siendo la propuesta que más horas de confort alcanza lo que significó un incremento de 1272 horas, siendo la más eficiente en cuanto a la generación de horas de confort y la que se recomienda implementar para lograr un mayor confort en los usuarios de la vivienda.

De igual forma, y no menos eficiente le sigue la ventilación mecánica de 1 (ren/hr) sumando anualmente 1189 horas extras. Posteriormente ventilación mecánica 10 (ren/hr) el cual aumentó 962 horas al total. La implementación en conjunto de la MAE1+MAE2 y ventilación mecánica 5 (ren/hr) solo logró incrementar 867 horas. Las medidas con la ventilación mecánica 4 (ren/hr) y MAE2 no presentan una diferencia

tan significativa en donde se alcanzó a sumar 701 y 646 horas extras de confort respectivamente.

La modificación de la envolvente implementando ventana doble con marco de PVC (MAE1) no presentó mejoras significantes logrando solo 160 horas extras de confort, la cual dado a sus bajos resultados es la medida que se descarta por completo dado a su poca eficiencia en el logro de mejorar el confort térmico.

Ante esto y de acuerdo con la ubicación geográfica y clima de la ciudad de Iquique es recomendable de acuerdo a los resultados obtenidos la utilización de soluciones basadas en la ventilación mecánica, el cual ofrece un mayor confort sin tener que realizar modificaciones en la envolvente de la estructura del proyecto.

## 8.2 RESUMEN DE PROPUESTA SANTIAGO

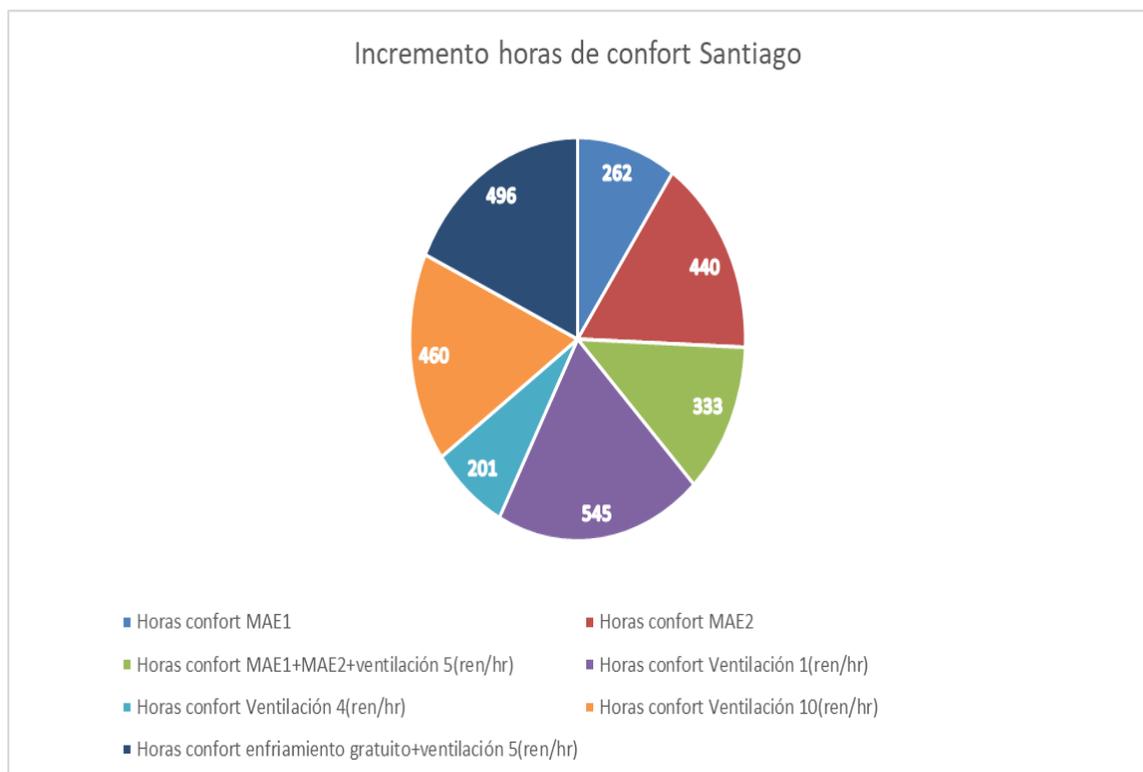


Gráfico nº31: Incremento horas de confort Santiago. Fuente: Elaboración Propia

En cuando a la ciudad de Santiago el incremento de las horas de confort en cada una de las medidas la variación entre una y otra no fue significativa. La utilización de ventilación mecánica en sus distintas propuestas no presentó mayores diferencias unas con otras en donde las horas de confort otorgadas si bien tuvieron un aumento, no fue lo esperado para dicha ciudad en donde no se logró superar las 1000 horas de confort extras al implementar estas medidas.

Por otra parte, la utilización de la MAE1 y la ventilación mecánica 4 (ren/hr) se puede concluir que se pueden descartar dado al bajo resultado en las horas de confort otorgadas lo cual no mejora en la calidad térmica para los usuarios de la vivienda.

Con la utilización de ventilación mecánica 1(ren/hr) se alcanzó a incrementar 545 horas de confort, le sigue a ella la implementación de enfriamiento gratuito con ventilación mecánica 5 (ren/hr) con un aumento de 496 horas, posteriormente el uso de ventilación mecánica 10(ren/hr) con 460 horas, similar ocurre con la utilización de la MAE2 en donde solo se suman 440 horas. Ya con menos efectividad se tienen 333 horas más de confort con la implementación en conjunto de la MAE1+MAE2 y ventilación mecánica 5 (ren/hr).

Finalmente, con la MAE1 y con ventilación mecánica 4(ren/hr) solo se incrementó 262 y 201 horas de confort extras respectivamente.

De esta forma se aprecia que las medidas propuestas, no logró los objetivos planteados, dado a que, si bien hubo una variación positiva en las horas de confort, en donde ni la modificación de la envolvente cambiando los cerramientos y espesor de EIFS no lograron tener un impacto mayor en cuanto a la variación de horas de confort favorables para la habitabilidad de los usuarios.

### 8.3 RESUMEN DE PROPUESTA TALCA

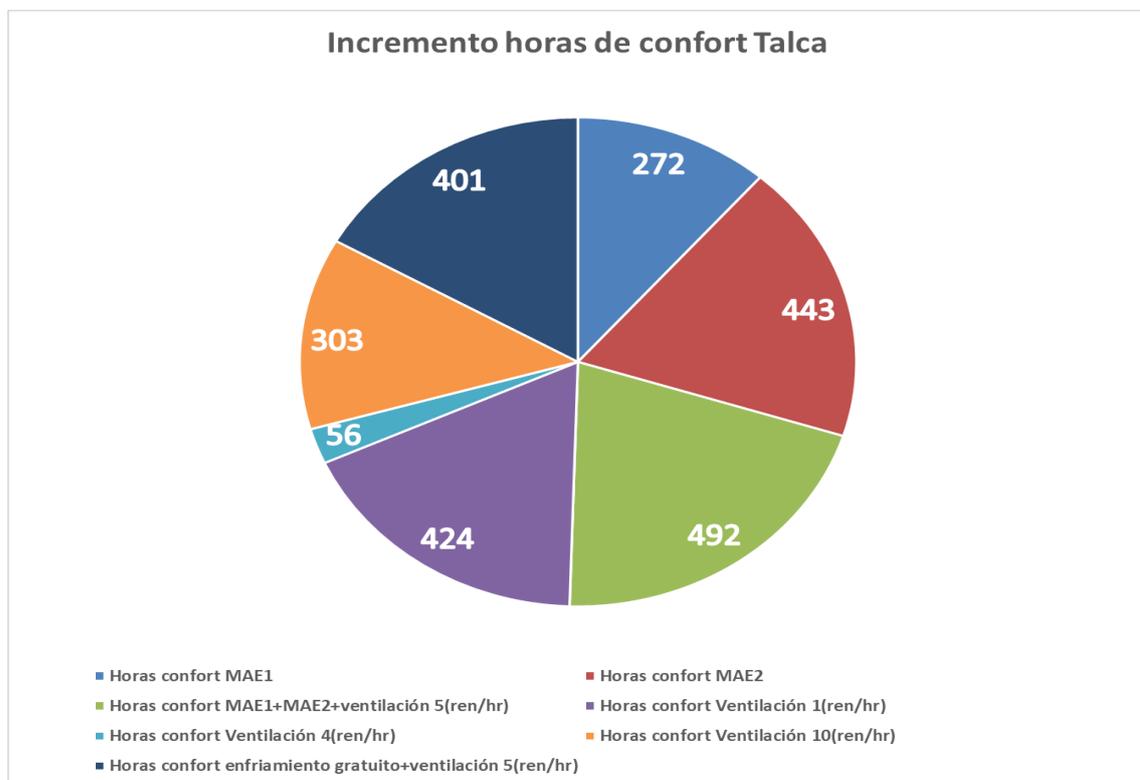


Gráfico nº32: Incremento horas de confort Talca. Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la ciudad de Talca como se puede apreciar en el gráfico nº32 con la medida MAE1+MAE2 y ventilación mecánica 5 (ren/hr) se consiguió incrementar 492 horas de confort extras, por otra parte, y casi de igual forma las propuestas MAE2, ventilación mecánica 1(ren/hr) y enfriamiento gratuito con ventilación mecánica 5(ren/hr) se consiguió un aumento de 443, 424 y 401 horas de confort respectivamente.

Muy contrariamente con la ventilación mecánica 10(ren/hr) se alcanzó 303 horas extras de confort, con la MA1 272 horas más y por último y de manera menos efectiva con ventilación mecánica 4(ren/hr) apenas se logra incrementar 56 horas de confort.

Cada una de las propuestas otorgadas no han dado los resultados esperados, los cuales no han sido significativamente relevantes en el momento de cuantificar el total de horas de confort que ha variado positivamente con respecto al casi inicial.

Si bien la variación de horas aportadas no fue significante, la propuesta en la cual se aplicaba la modificación de la envolvente sumándole ventilación mecánica ha sido la más favorables en este caso, aun así, los resultados obtenidos han carecido de un aumento significativo en las horas de confort los cuales no han sido superiores a las 500 horas extras en total al año, en donde la ventilación mecánica 4(ren/hr) teniendo resultados bajos.

#### 8.4 RESUMEN DE PROPUESTA PUNTA ARENAS

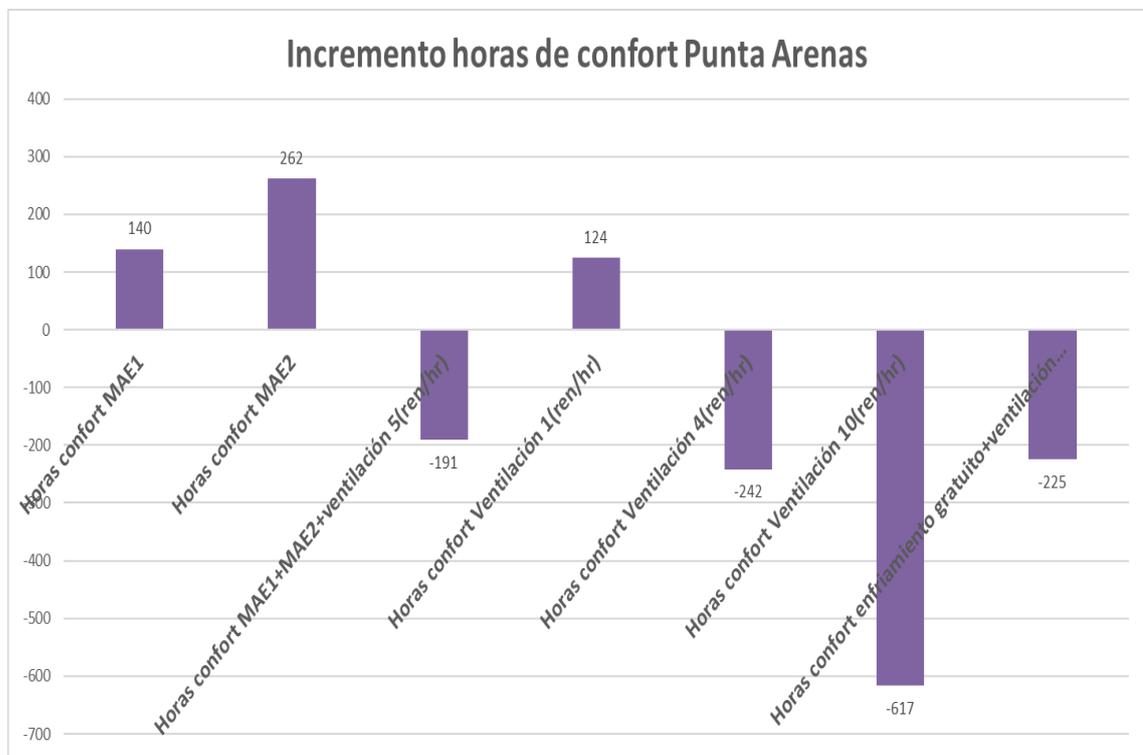


Gráfico nº33: Incremento horas de confort Punta Arenas. Fuente: Elaboración Propia



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**

**Felipe Riquelme Bórquez**

Contrario a los casos anteriores en la ciudad de Punta Arenas los resultados obtenidos en su mayoría han sido negativos, lo cual ha significado una disminución en las horas de confort con la utilización de ciertas medidas implementadas.

En el mayor de los casos con la utilización de la ventilación mecánica a excepción de la ventilación mecánica 1(ren/hr) se ha obtenido resultados negativos lo cual han quedado descartado la utilización de esta propuesta para la ciudad de Punta Arenas y para este tipo de climas.

En el caso de Punta Arenas la implementación de la MAE2 que consistía en la instalación de EIFS de 8cm ha sido la propuesta más favorable en relación a las otras, pero aun así ha sido insuficiente en cuanto a la mejora de las horas de confort a lo largo del año, caso similar ocurre con la modificación de las ventanas en donde la MAE 1 también ha arrojado resultados positivos pero al realizar el análisis de cuantificación de horas estas ni siquiera alcanzan las 200 horas extras de confort anual. Por lo tanto, cada una de las medidas adoptadas en la investigación no han sido suficientes ni eficaces en el aumento de las horas de confort por lo que se puede considerar descartar cada una de ellas por el bajo resultado obtenido.

De lo anterior se desglosa lo siguiente, para el caso de la implementación de ventilación 10(ren/hr) se han disminuido en 617 horas de confort, con ventilación mecánica 4(ren/hr) las horas de confort disminuyen 242 horas en total al año. A este le sigue la medida enfriamiento gratuito con ventilación mecánica 5(ren/hr) el cual las horas de confort caen 225 horas y finalmente la implementación de las medidas en su conjunto MAE1, MAE2 y ventilación mecánica 5(ren/hr) las horas de confort se ven afectas en 191 horas menos en total al año.

Por el contrario, a lo mencionado anteriormente la medida que más horas de confort proporcionó al proyecto fue la MAE2 con 262 horas de confort extras. Posteriormente implementando la MAE1 esta suma 140 horas más y finalmente con ventilación mecánica 1(ren/hr) solo suman 124 horas de confort.

## 9. CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha llevado a cabo la evaluación de las horas de confort en un proyecto inmobiliario residencial en el cual se han evaluado una serie de posibles mejoras situando el proyecto en 4 ciudades distintas a lo largo de Chile, cuya finalidad ha sido determinar cuál de todas estas es más eficiente para así mejorar las condiciones de habitabilidad y confort térmico de los usuarios de las viviendas.

Ante esto y de acuerdo a los resultados obtenidos para lograr las horas de confort propuestas entre los rangos de 20°C a 25°C ha sido necesaria la incorporación de sistemas de aire acondicionado y calefacción en las 4 ciudades analizadas, en donde se recomienda la implementación de un sistema que tenga un COP de 3,4 tanto para aire acondicionado como para calefacción, dado a su eficiencia y rendimiento el cual logra generar un menor consumo de electricidad para aire acondicionado y gas en calefacción ya que al comparar con el sistema con un COP de 2,4 genera un ahorro del 59,0% en el caso de Iquique, un 43,11% en Santiago, un 38,41% en Talca y un 58,83% en la ciudad de Punta Arenas en los gastos de consumos energéticos de las viviendas, logrando de este modo ser la propuesta que mayor confort térmico otorga a los usuarios de forma eficiente y más económica posible.

De la investigación realizada también se ha podido concluir que para climas del tipo desértico costero característico en la ciudad de Iquique, si no se desea implementar sistemas de aire acondicionado y calefacción, la alternativa que entrega mejores valores en la cantidad de horas de confort es implementar la ventilación mecánica incorporando enfriamiento gratuito y recuperación de calor, en dicho análisis se utilizó una ventilación mecánica con 5 (ren/hr) llegando de este modo a las 3552 horas de confort lo cual ha significado un aumento del 14,52% de las horas entre los rangos establecidos. Para este tipo de climas la modificación de la envolvente ha significado contraproducente ya que no se ha logrado incrementar las horas de confort de forma significativa como también ha ocurrido con la modificación de las aberturas en donde la aplicación de un buen sistema de ventilación logra mejorar las temperaturas operativas de la vivienda.

La incorporación de enfriamiento gratuito y de recuperación de calor es una excelente alternativa a la hora de cuantificar el ahorro energético ya que esto significa la reutilización del aire lo cual no genera costos adicionales para el consumo del hogar.

En el caso de la ciudad de Santiago, la mejor alternativa sin considerar aire acondicionado y calefacción fue la incorporación de la ventilación mecánica de 1 (ren/hr), si bien los resultados no fueron los esperados con esta medida solo se logró incrementar 545 horas de confort, lo cual se ha podido concluir que cada una de las propuestas analizadas para esta ciudad y clima del tipo mediterráneo continental no fueron suficientes en lo que respecta a la eficiencia y ahorro energético esperado en



## MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

el estudio en donde al igual que en el caso anterior la modificación de la envolvente tampoco genera mejoras significantes.

Caso similar ocurre con la ciudad de Talca, la cual cuenta con el mismo tipo de clima de Santiago. En este caso se logran horas de confort más bajas que Santiago en donde la alternativa combinada de incorporar MAE1+MAE2 y ventilación mecánica 5(ren/hr) solo logró incrementar 492 horas de confort extras, siendo la mejor alternativa.

Para los casos de Santiago y Talca, teniendo un clima mediterráneo continental, y según las propuestas analizadas no son recomendables para este tipo de clima debido al poco aporte en la cuantificación de las horas de confort, en donde queda demostrado que la incorporación de ventilación no logra mejorar las temperaturas por sobre los 25°C y la modificación de la envolvente no logra aumentar las temperaturas por sobre los 20°C manteniéndolas entre los rangos establecidos en el estudio, por lo que es indispensable la incorporación de sistemas activos eficientes.

Finalmente, en el caso de Punta Arenas la incorporación de la MAE2 ha significado un aumento de 262 horas de confort extras anuales siendo la propuesta con mejores resultados, lo cual nos ha demostrado que todas las alternativas propuestas en la investigación deben ser descartadas para ciudades con climas del tipo estepárico frío, ya que se han obtenido pérdidas en horas de confort. Dado lo austral y extremo del tipo de clima en la ciudad es importante recalcar que para este caso es indispensable la incorporación de sistemas activos para lograr las condiciones de confort térmico establecidas, en donde es fundamental que estos sean eficientes.

Ante los resultados de la investigación se ha podido establecer que la mejora de la envolvente no necesariamente logra un mayor aumento en las horas de confort de las viviendas al menos con las propuestas establecidas en el estudio, aunque si mejora la transmitancia térmica.

De todas las propuestas analizadas la que mejores ha dado resultados ha sido la incorporación de ventilación mecánica, en donde es fundamental un estudio más preciso en la determinación de que ren/hr utilizar para cada caso, ya que de esta forma se podría obtener mejores resultados de acuerdo al tipo de clima a analizar en donde los más cálidos son los más favorecidos con la incorporación de este sistema, para que de esta forma se puedan lograr sistemas más eficientes y con una mayor cantidad de horas de confort de acuerdo al clima en que se emplaza el proyecto.

En cuanto al contexto de la eficiencia energética en Chile y sus normativas, si bien se ha propuesto y publicado el Manual de construcción sustentable para viviendas en Chile, es importante que como gobierno se establezcan políticas públicas para avanzar de manera significativa en la reducción del consumo de energía primaria. Dado esto es imperativo que este manual se tome como normativa el cual no sea de carácter voluntario sino más bien una obligación para así poder reducir las metas establecidas en el manual, incorporando mejores estándares de eficiencia energética en la edificación y así implementar el uso de energías renovables en las viviendas y de este modo mejor la calidad térmica en las viviendas.



Por lo que ha quedado en evidencia encontrar la propuesta más eficiente en lo que respecta a energía en edificios residenciales por medio del uso de energía sostenible y eficiente, en base a la cuantificación de las horas de confort anual como también la influencia de la envolvente en las horas de confort y el comportamiento de ésta en los distintos casos planeados.

## **9.1 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Para futuras investigaciones, se recomienda el estudio de la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que pueden significar las medidas analizadas en el estudio. Como también la factibilidad económica de cada una de ellas generando la relación eficiencia v/s costos, con el respectivo estudio de retorno económico incluyendo en este punto los costos y años de mantenimiento que se debe incurrir en cada propuesta.

También es importante el estudio del tipo de energía a utilizar para los sistemas activos de acuerdo con la zona geográfica del país, para así lograr resultados más eficientes y sostenibles.

Otra de las medidas que se pueden establecer para futuras investigaciones es como la orientación del edificio según la ubicación geográfica del edificio puede influir en la cuantificación de las horas de confort.

Importante también a analizar es el estudio de manera detallada según los distintos puntos que se describen en el Manual de Construcción Sustentable para viviendas en Chile, cuya finalidad es otorgar mayores conocimientos y una posible propuesta de mejora al manual con mira a futuro en lo que respecta al mejoramiento de la normativa en Chile en lo que se refiere a eficiencia y confort térmico.



## 10. REFERENCIAS

### LIBROS, MANUALES Y DOCUMENTOS

- Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile.
- Agencia de Sostenibilidad Energética (2019). Eficiencia energética: Una Oportunidad de asumir un nuevo liderazgo para Chile.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Estándares de Construcción Sustentable para viviendas en Chile.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara chilena de la construcción. (2008). Aislación Térmica Exterior – Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones, Chile.
- Agencia de Sostenibilidad Energética. (2014). Manual del Gestor Energético, Sector Construcción.
- Sustainability Alexis Pérez-Fargallo, Carlos Rubio-Bellido. (2018). Influencia de los modelos de confort adaptativo, en la mejora de la energía para viviendas en zonas frías.
- Sustainability Alexis Pérez-Fargallo, Carlos Rubio-Bellido. (2018). Influencia de los modelos de confort adaptativos en la ejecución. mejoras de costos para la envolvente térmica en viviendas de Concepción, Chile.
- Sustainability Carlos Rubio-Bellido, Alexis Pérez-Fargallo. (2017). Aplicación de comportamiento adaptativo en las normas de vivienda social chilena bajo la influencia del cambio climático.
- Attia, S.; Carlucci, S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. Energy Build. 2015

### NORMATIVAS

- D.S. N°47, de 1992, actualizada a 22 de febrero 2018. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.



# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

- NCh853.Of2007 Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Instituto Nacional de Normalización.
- NCh1079.Of.2008 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Instituto Nacional de Normalización.
- Documento Básico HE: Ahorro de Energía [Documento]. DB-HE <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.

## PFG CONSULTADOS

- Hidalgo Pérez, Estibe. Gestión Energética de planta baja del Hospital Universitario Virgen Macarena. Proyecto Fin de Grado, ETSIE, US, 2018.
- Brito González, Joan Eldrin. Gestión Energética. Gimnasio municipal de tomares. Low gym (Sevilla). Proyecto Fin de Grado, ETSIE, US, 2017.
- Del Pozo Carmona, Laura. Mejora de la Eficiencia Energética del Ala B del Hospital Universitario Virgen Macarena. Proyecto Fin de Grado, ETSIE, US, 2018.

## PÁGINAS WEB

- Ecología UNAM. Ciclo de vida de la edificación. Disponible en <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-anteriores/53-edificios-verdes> Consultado el 20 de mayo del 2019.
- Umacon. Construcción sustentable. Disponible en <http://www.umacon.com/noticia.php/es/la-importancia-de-la-construccion-sostenible/424> Consultado el 21 de mayo del 2019.
- Plataforma Arquitectura. Detalle constructivo muros exteriores. Disponible en <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/893327/que-es-eifs-o-como-disenar-un-sistema-de-aislacion-termica-exterior> Consultado el 10 de junio del 2019.
- Google Maps. Imagen territorio de Chile. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Chile/@-30.1818535,-73.0761837,4.07z/data=!4m5!3m4!1s0x9662c5410425af2f:0x505e1131102b91d!8m2!3d-35.675147!4d-71.542969> Consultado 20 diciembre 2018.

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen nº1: Factores de confort. Fuente: <a href="http://confortarq.blogspot.com/2017/06/el-confort-termico-variables-de.html">http://confortarq.blogspot.com/2017/06/el-confort-termico-variables-de.html</a>.....</i>	5
<i>Imagen nº2: Consumo de energía en Chile. Fuente Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile. ....</i>	9
<i>Imagen nº3: Ciclo de vida de la edificación. Fuente: <a href="http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-antiores/53-edificios-verdes">http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-antiores/53-edificios-verdes</a> .....</i>	10
<i>Imagen nº4: Construcción sustentable. Fuente: <a href="http://www.umacon.com/noticia.php/es/la-importancia-de-la-construccion-sostenible/424">http://www.umacon.com/noticia.php/es/la-importancia-de-la-construccion-sostenible/424</a>.....</i>	11
<i>Imagen nº5: Ubicación geográfica proyecto Vista San Miguel. Fuente: Google Maps .....</i>	14
<i>Imagen nº6: Edificio tipo del proyecto Vista San Miguel, Talca, Chile. Fuente: Constructora Pacal, proyecto de arquitectura.....</i>	15
<i>Imagen nº7: Procesos involucrados en el ciclo de vida de un edificio. Fuente: Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile .....</i>	16
<i>Imagen nº8: Valores transmitancia y resistencia térmica. Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción .....</i>	17
<i>Imagen nº9: valores de transmitancia y resistencia térmica. Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción .....</i>	18
<i>Imagen nº10 exigencia para ventanas. Fuente: Exigencias de acondicionamiento térmico OGUC .....</i>	18
<i>Imagen nº11 exigencia para ventanas. Fuente: Exigencias de acondicionamiento térmico OGUC .....</i>	18
<i>Imagen nº12: valores y factor correctos de demanda energética de calefacción. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía.....</i>	20
<i>Imagen nº13: Valores de transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía.....</i>	20
<i>Imagen nº14: valores de transmitancia térmica límite en particiones interiores. Fuente: Documento Básico de Ahorro de Energía.....</i>	21
<i>Imagen nº15: confort térmico. Fuente: Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago, Chile .....</i>	21
<i>Imagen nº16: Detalle de capas de aislación. Fuente: Aislación térmica exterior manual diseño soluciones edificaciones, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción.....</i>	22
<i>Imagen nº17: Balance térmico en la edificación. Fuente: Manual del Gestor Energético, Agencia chilena de eficiencia de energía.....</i>	23
<i>Imagen nº18: Modelación proyecto inmobiliario en Design Builder Fuente: Elaboración propia mediante Design Builder .....</i>	26
<i>Imagen nº19: Ubicación geográfica Iquique. Fuente: Google Maps .....</i>	29
<i>Imagen nº20: Ubicación geográfica Santiago. Fuente: Google Maps.....</i>	30
<i>Imagen nº21: Ubicación geográfica Talca. Fuente: Google Maps .....</i>	31
<i>Imagen nº22: Ubicación geográfica Punta Arenas. Fuente: Google Maps .....</i>	32
<i>Imagen nº23: Muro exterior. Fuente: Elaboración propia Design Builder.....</i>	33
<i>Imagen nº24: Muro interior. Fuente: Elaboración propia Design Builder .....</i>	34
<i>Imagen nº25: Solución térmica en cubierta. Fuente: Fuente: Elaboración propia Design Builder .....</i>	35
<i>Imagen nº26: Ventana hoja simple con marco de aluminio. Fuente: <a href="https://www.wintec.cl/portcat/ventana-aluminio-basico/">https://www.wintec.cl/portcat/ventana-aluminio-basico/</a>.....</i>	36
<i>Imagen nº27: Detalle constructivo muros exteriores. Fuente: <a href="http://www.plataformaarquitectura.cl">www.plataformaarquitectura.cl</a> .....</i>	36
<i>Gráfico nº3: Cantidad de horas bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia .....</i>	38
<i>Imagen nº32: Análisis térmicos de elementos constructivos. Fuente: Elaboración propia mediante Design Builder .....</i>	39

Imagen nº33: Detalle ventana doble con marco PVC. Fuente: <https://www.wintec.cl/portcat/ventana-pvc-americano-es-es/>..... 40

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico nº1: Horas de confort térmico inicial. Fuente Elaboración Propia .....	6
Gráfico nº1: Horas de confort térmico inicial. Fuente Elaboración Propia .....	8
Gráfico nº2: Horas de confort iniciales según EETT de proyecto. Fuente: Elaboración propia .....	37
Gráfico nº3: Horas de confort MAE1. Fuente: Elaboración Propia .....	44
Gráfico nº4: Cantidad de horas MAE1 bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia .....	45
Gráfico nº5: Variación de horas de confort entre Caso inicial y MAE1. Fuente: Elaboración Propia .....	45
Gráfico nº6: Horas de confort MAE2. Fuente: Elaboración Propia .....	46
Gráfico nº7: Cantidad de horas MAE1 bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia .....	47
Gráfico nº8: Variación de horas de confort entre Caso inicial y MAE2. Fuente: Elaboración Propia .....	47
Gráfico nº9: Horas de confort MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr. Fuente: Elaboración Propia .....	48
Gráfico nº10: Cantidad de horas MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia .....	49
Gráfico nº11: Variación de horas de confort entre Caso inicial MAE1+MAE2+ventilación 5ren/hr. Fuente: Elaboración Propia .....	49
Gráfico nº12: Horas de confort Ventilación mecánica 1 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia .....	51
Gráfico nº13: Cantidad de Ventilación mecánica 1 (ren/hr) bajo 20°C y sobre 25°C. Fuente: Elaboración Propia .....	51
Gráfico nº14: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 1 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia .....	52
Gráfico nº15: Horas de confort con ventilación mecánica 5 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia .....	53
Gráfico nº16: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 5 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia. ....	53
Gráfico nº17: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 4 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia .....	54
Gráfico nº18: Horas de confort con ventilación mecánica 10 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia .....	55
.....	56
Gráfico nº19: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 10 (ren/hr). Fuente: Elaboración Propia. ....	56
Gráfico nº20: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 10 (ren/hr) Fuente: Elaboración Propia .....	56
Gráfico nº21: Horas de confort con ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia. ....	58
Gráfico nº22: Cantidad de horas bajo los 20°C y sobre los 25°C con ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia .....	58
Gráfico nº23: Variación de horas de confort entre Caso inicial Ventilación mecánica 5 (ren/hr) y enfriamiento gratuito. Fuente: Elaboración Propia .....	59
Gráfico nº24: Consumo anual sistemas de Refrigeración (CoP 2,2) y Calefacción (CoP 2,0). Fuente: Elaboración Propia .....	60
Gráfico nº25: Gastos anual con sistema Refrigeración y Calefacción. Fuente: Elaboración Propia .....	61
Gráfico nº26: Gasto Total Anual. Fuente: Elaboración Propia .....	61
Gráfico nº27: Consumo anual sistemas de Refrigeración (CoP 3,4) y Calefacción (CoP 3,4). Fuente: Elaboración Propia .....	62
Gráfico nº28: Gasto anual en electricidad y gas. Fuente: Elaboración Propia .....	62



**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**  
Felipe Riquelme Bórquez

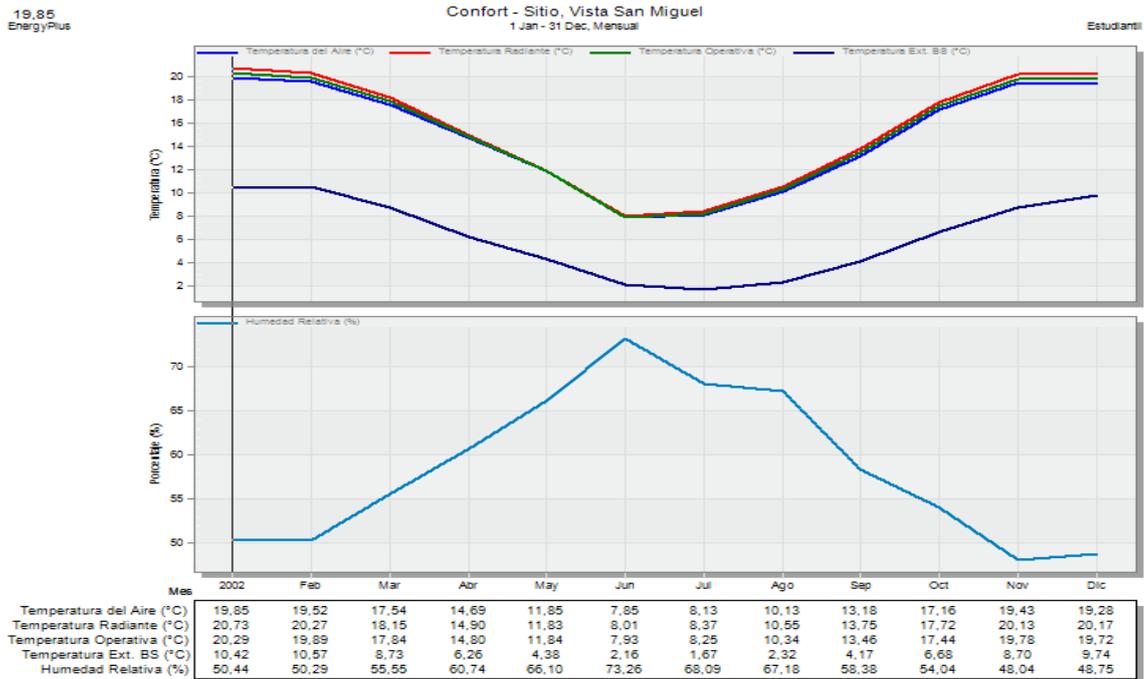
Gráfico nº29: Gasto total anual. Fuente: Elaboración Propia .....	63
Gráfico nº30: Incremento horas de confort Iquique. Fuente: Elaboración Propia.....	64
Gráfico nº31: Incremento horas de confort Santiago. Fuente: Elaboración Propia .....	65
Gráfico nº32: Incremento horas de confort Talca. Fuente: Elaboración Propia .....	66
Gráfico nº33: Incremento horas de confort Punta Arenas. Fuente: Elaboración Propia .....	67



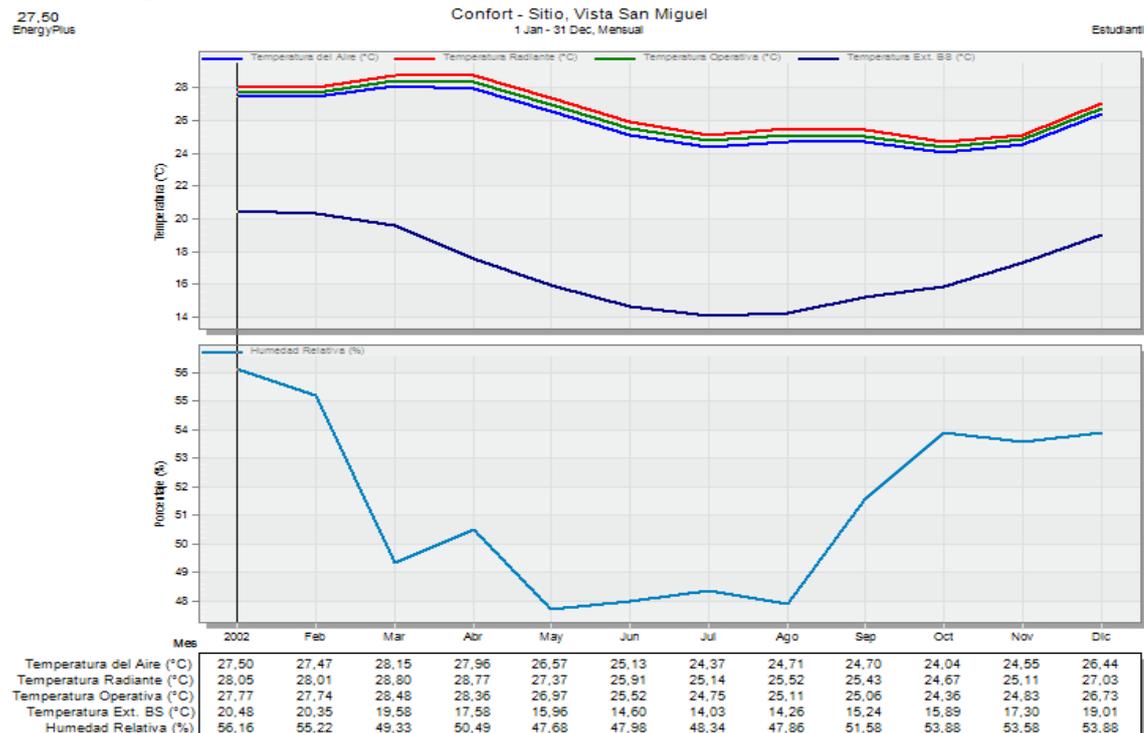
## ANEXOS

### ANEXO I: CONFORT TÉRMICO CASO INICIAL

- Iquique



- Santiago

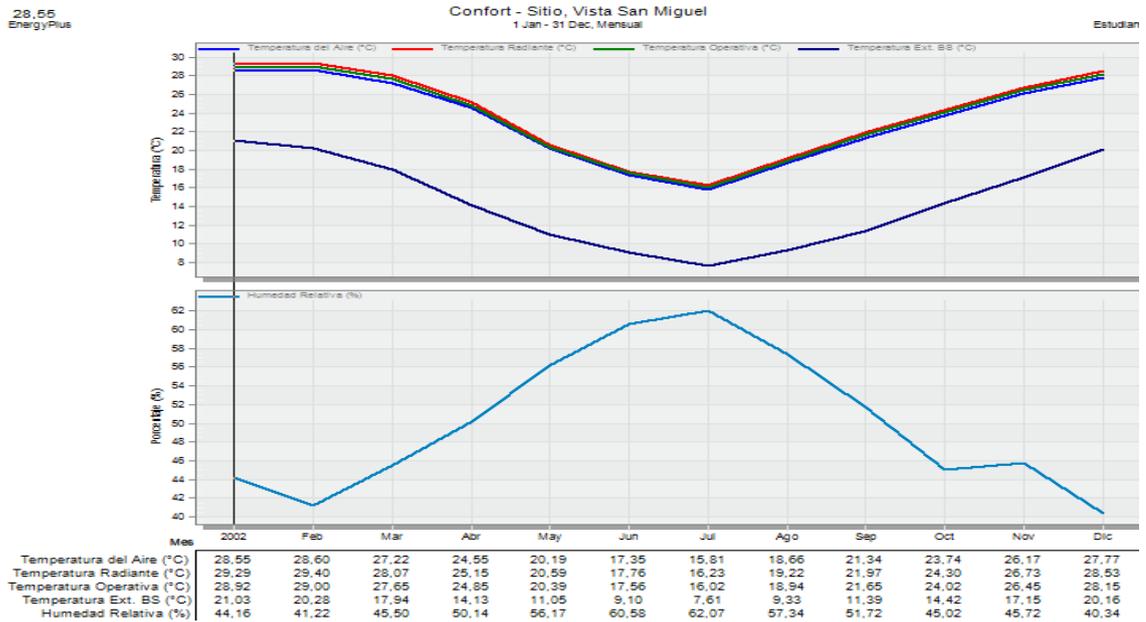




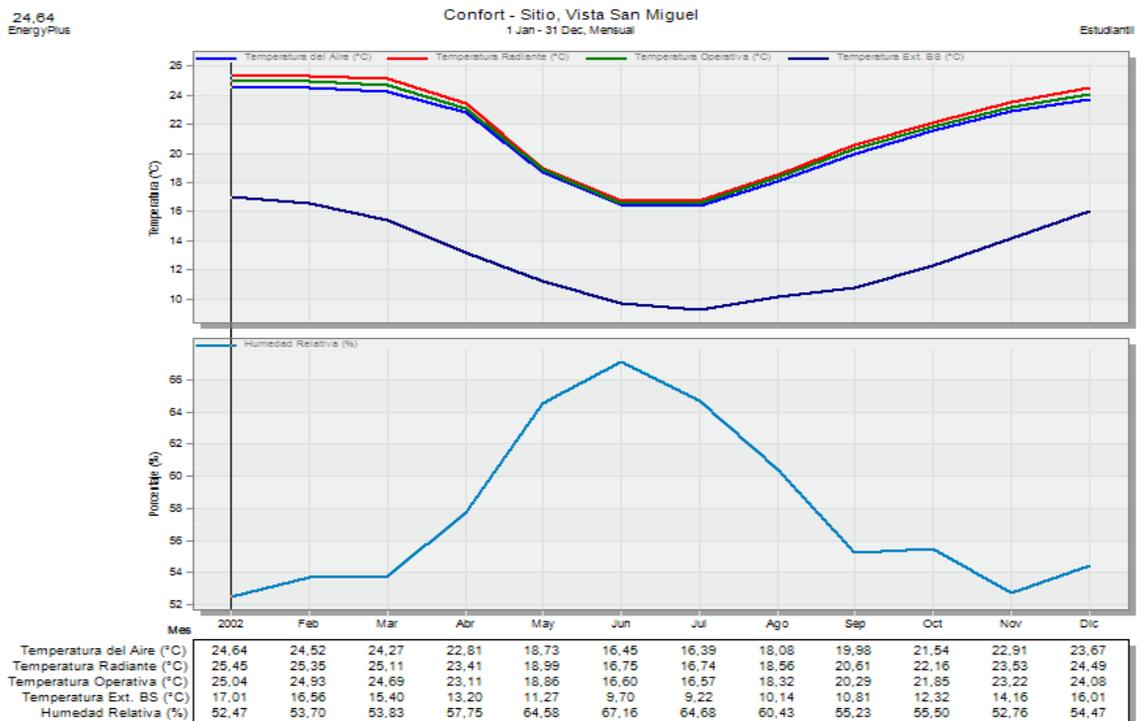
# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

- Talca

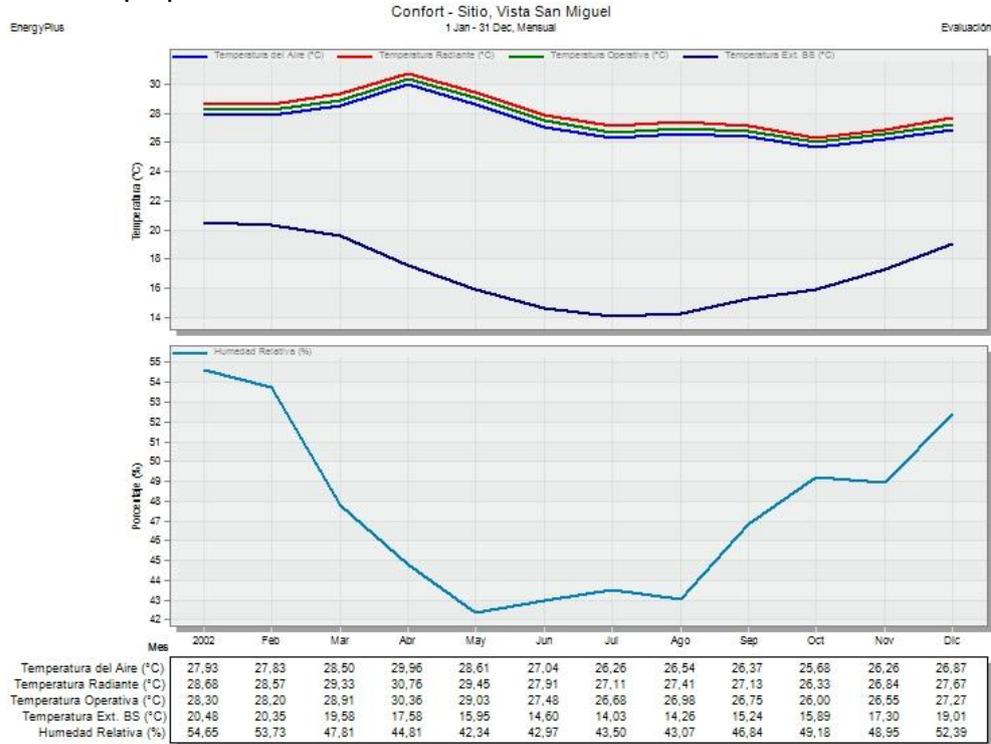


- Punta arenas

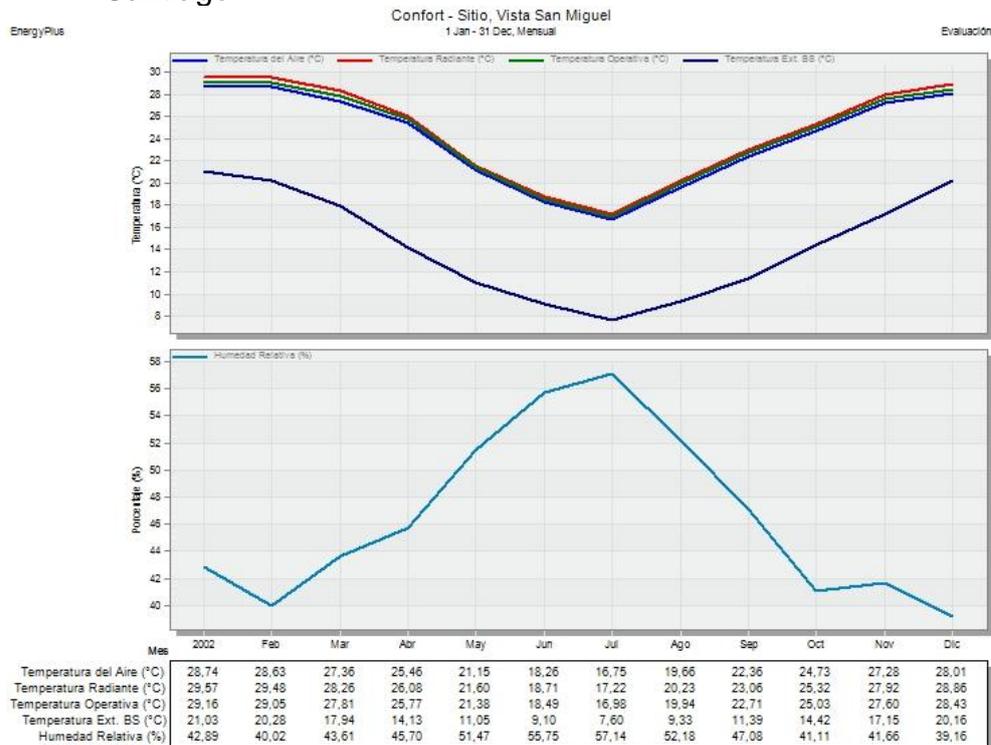


**ANEXO II: MAE1**

- Iquique



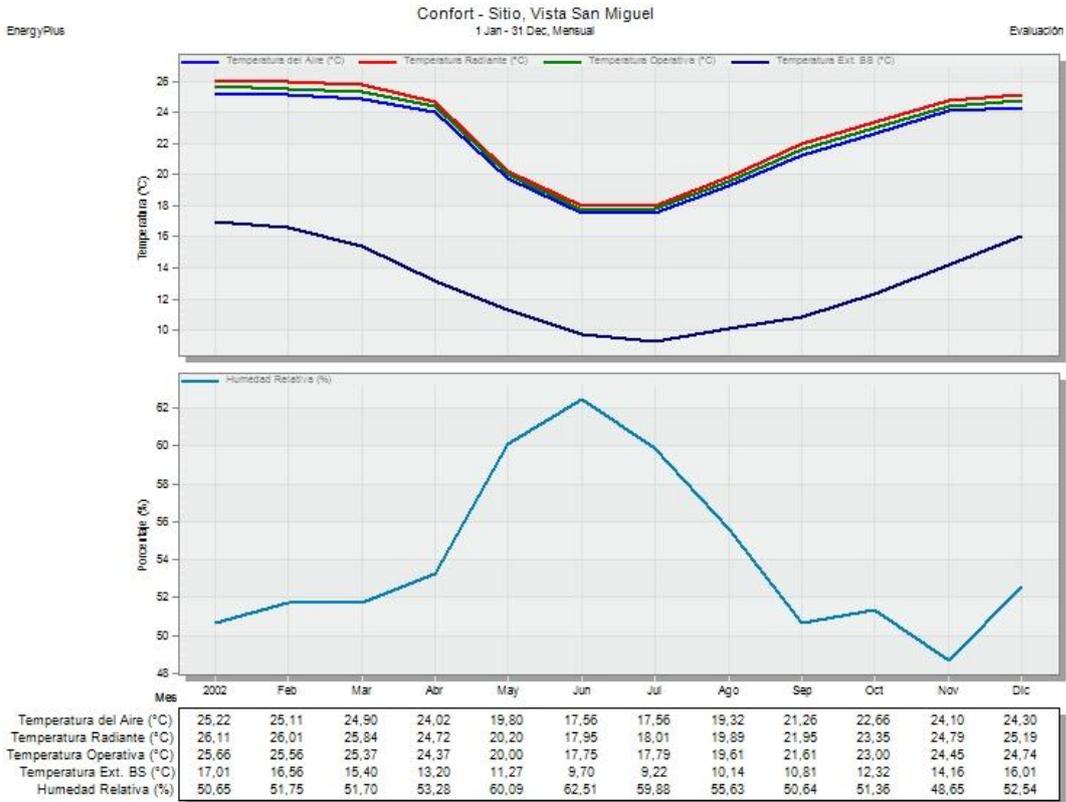
- Santiago



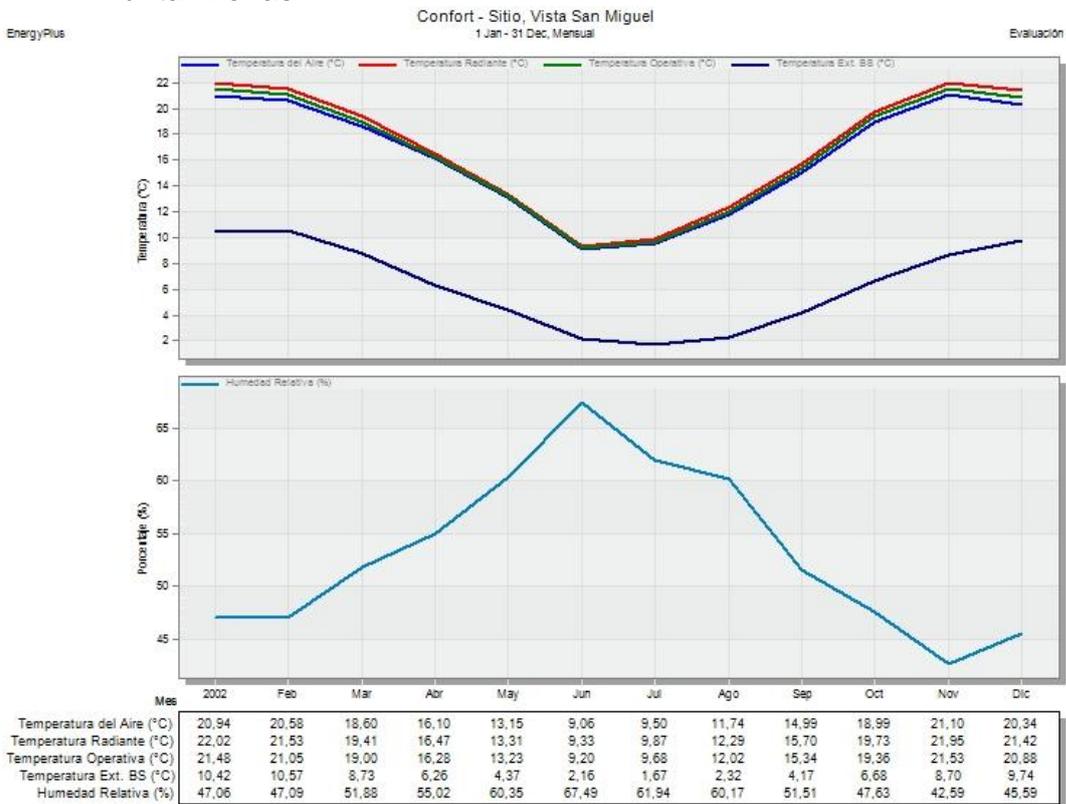


# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES Felipe Riquelme Bórquez

- Talca

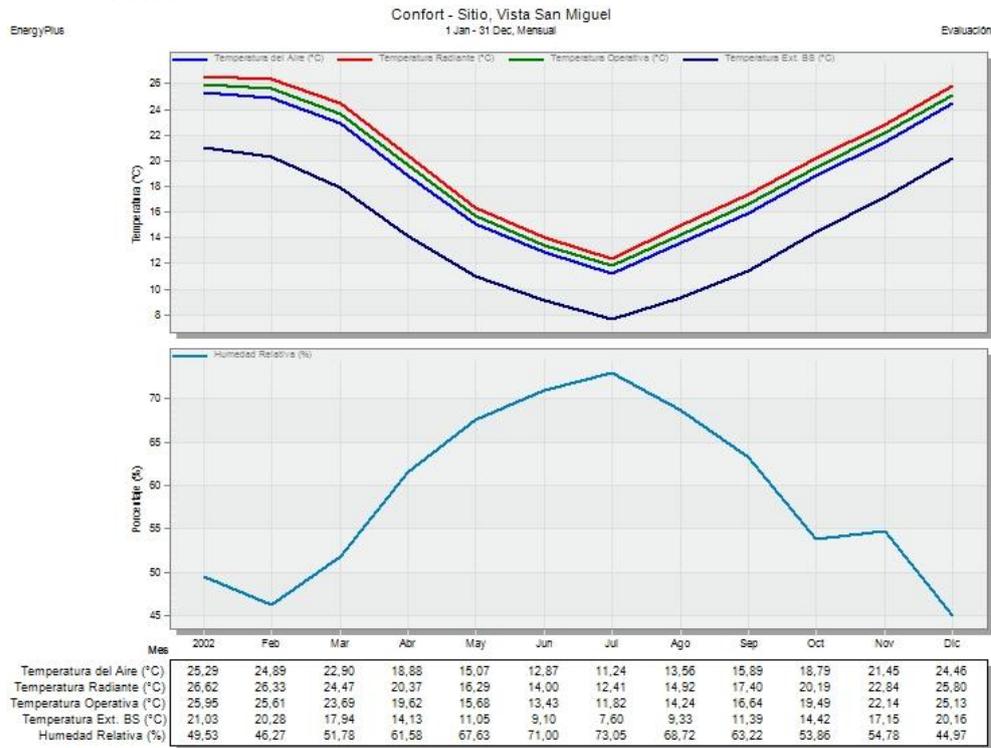


- Punta Arenas

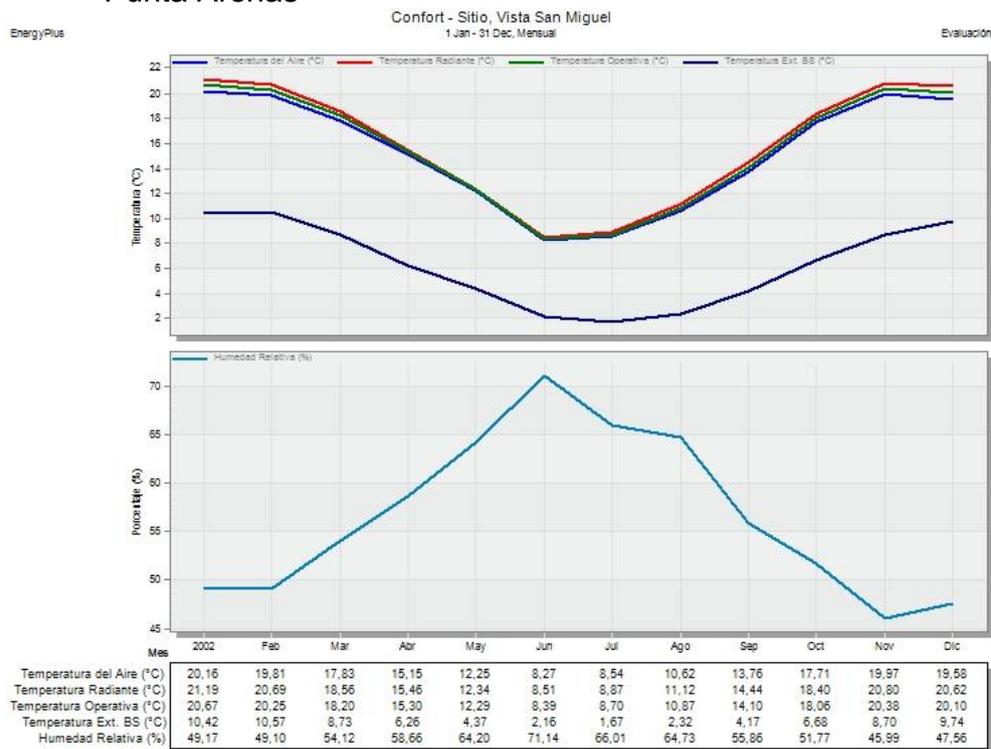


**ANEXO III: MAE2**

- Talca

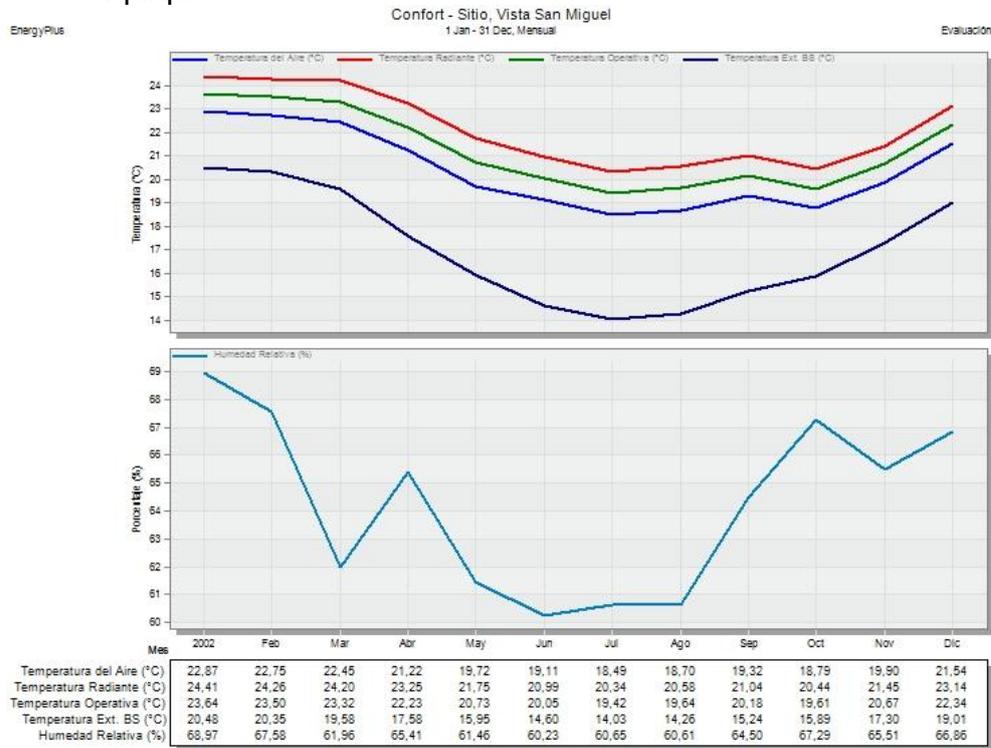


- Punta Arenas

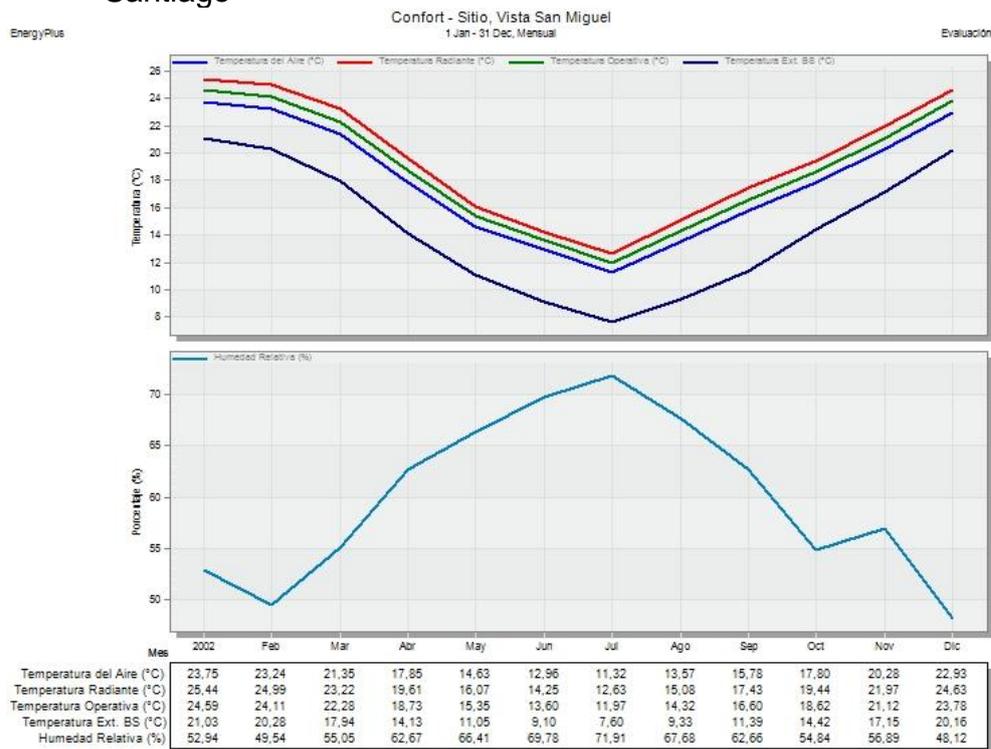


**ANEXO IV: MAE3**

- Iquique**



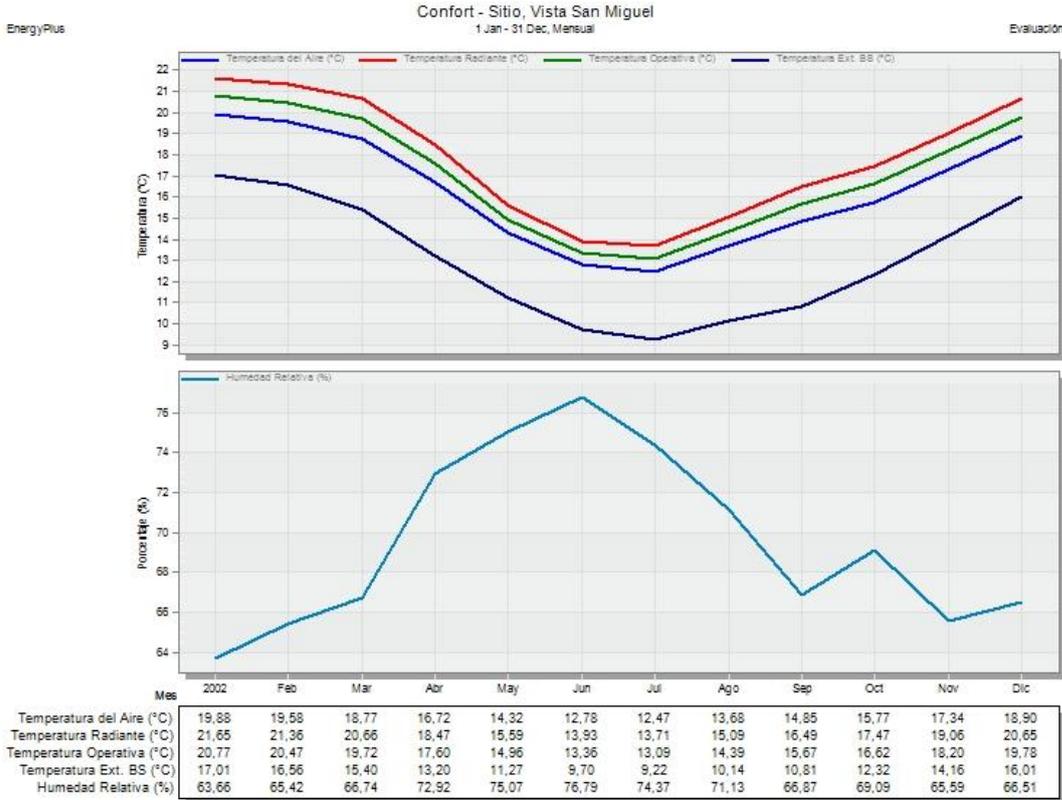
- Santiago**



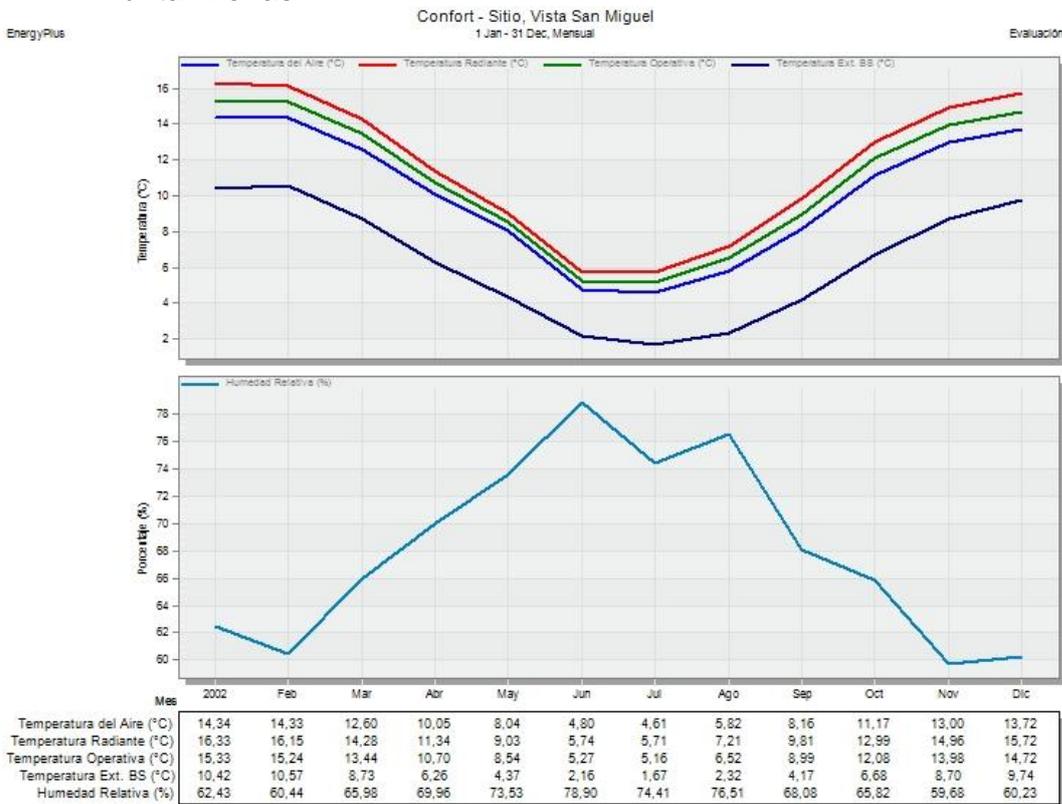


# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES Felipe Riquelme Bórquez

- Talca



- Punta Arenas

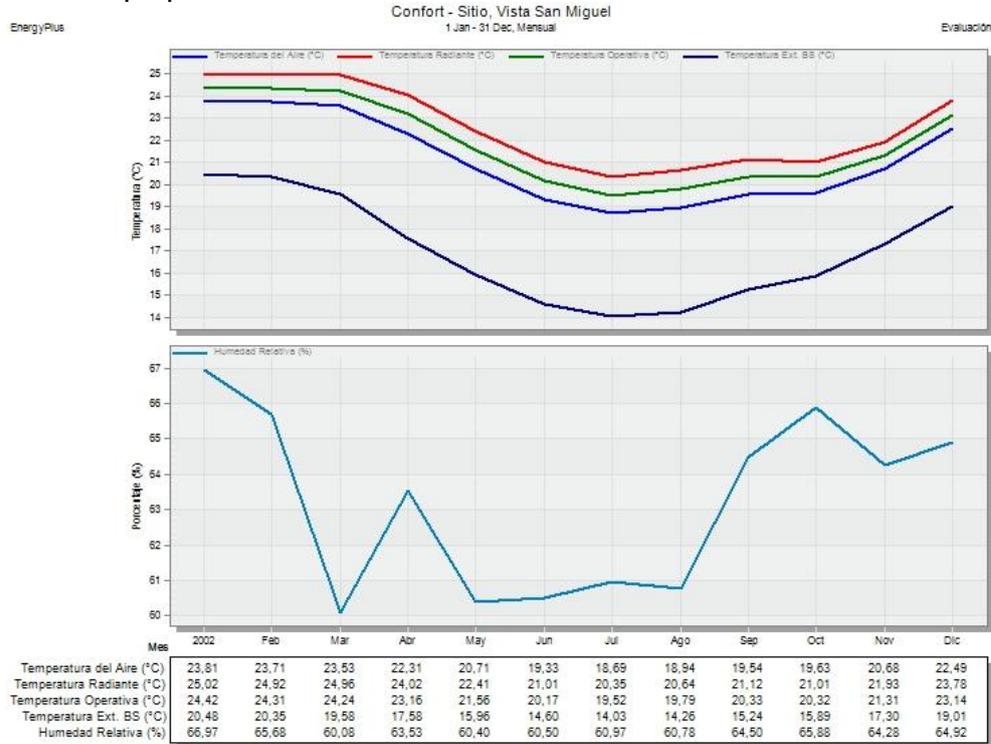




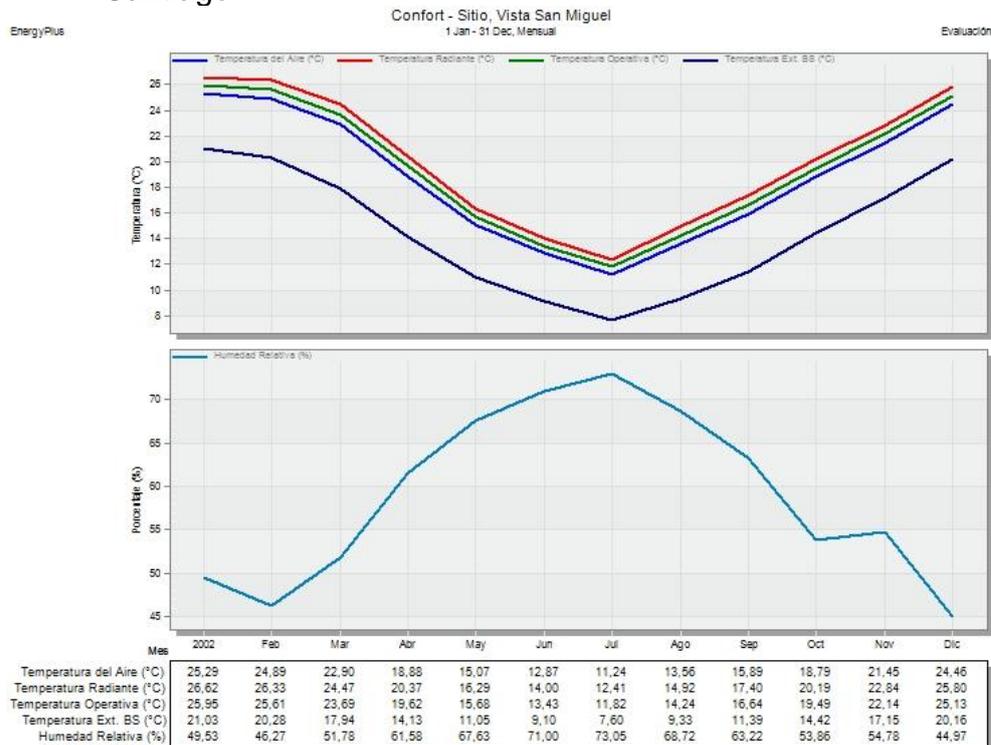
**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**  
Felipe Riquelme Bórquez

**ANEXO V: MAE4**

- Iquique



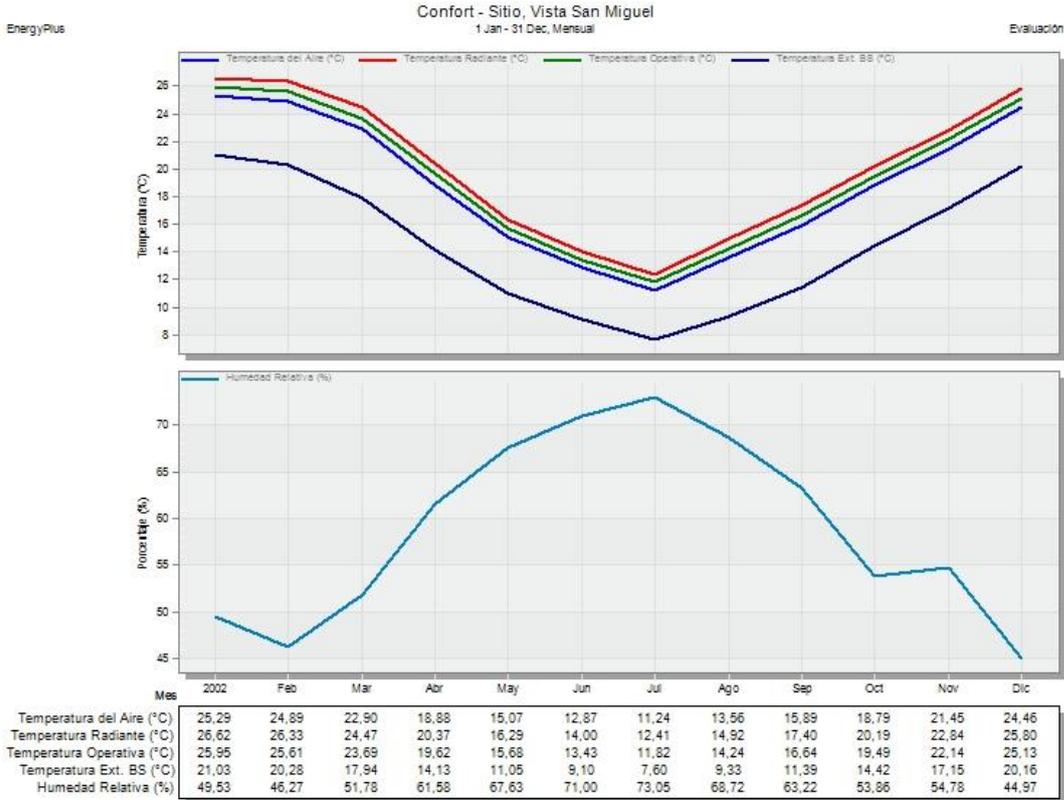
- Santiago



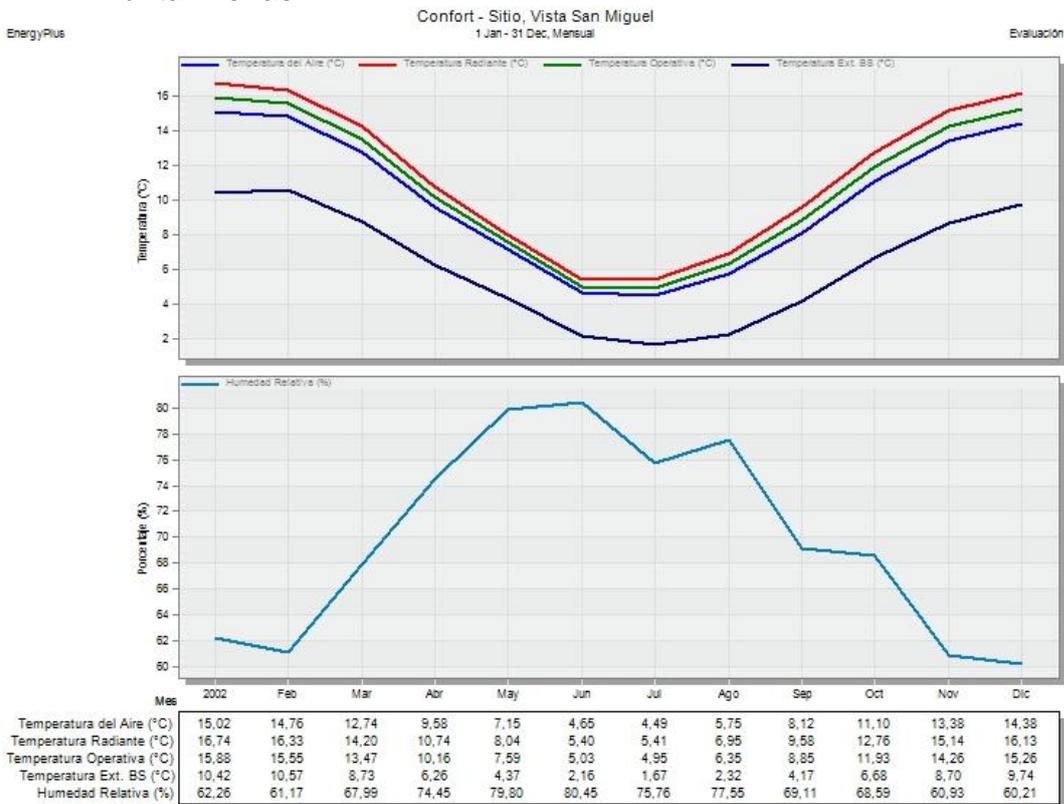


# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES Felipe Riquelme Bórquez

- Talca



- Punta Arenas

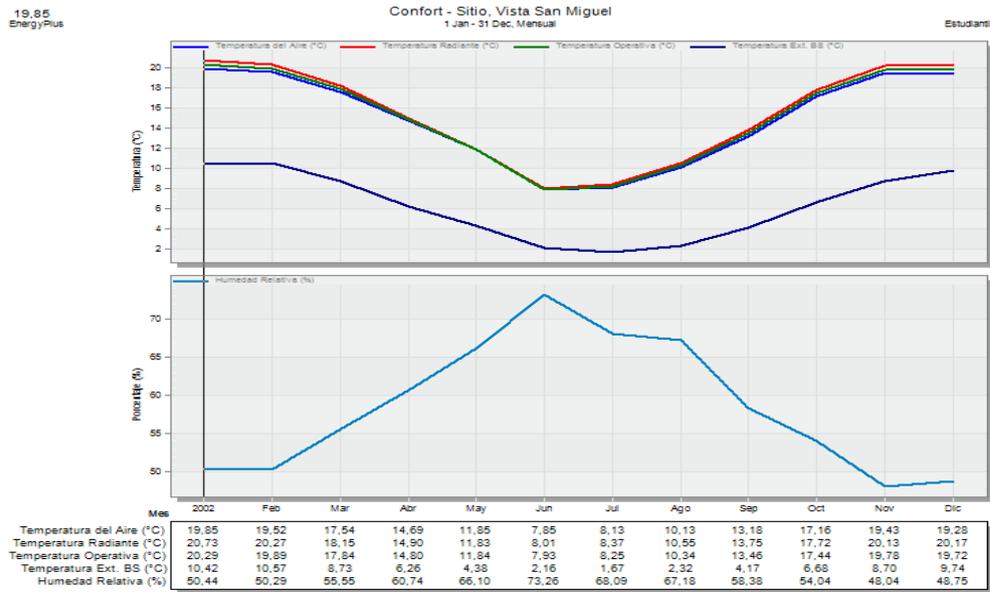




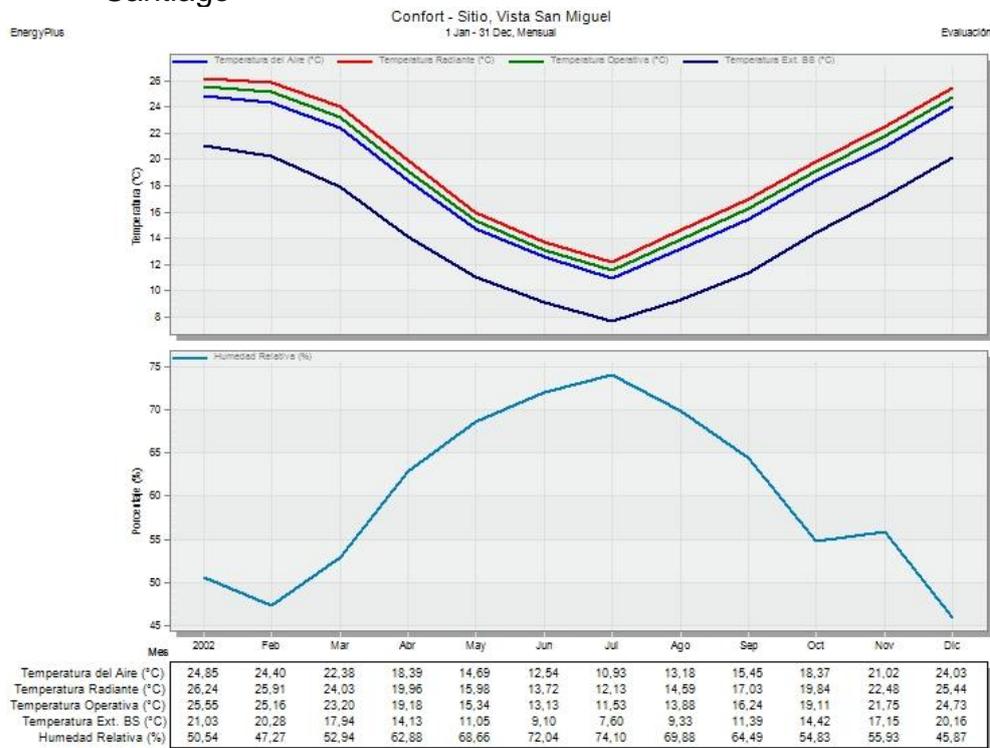
**MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN  
MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO  
HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES**  
Felipe Riquelme Bórquez

**ANEXO VI: MAE5**

- Iquique



- Santiago

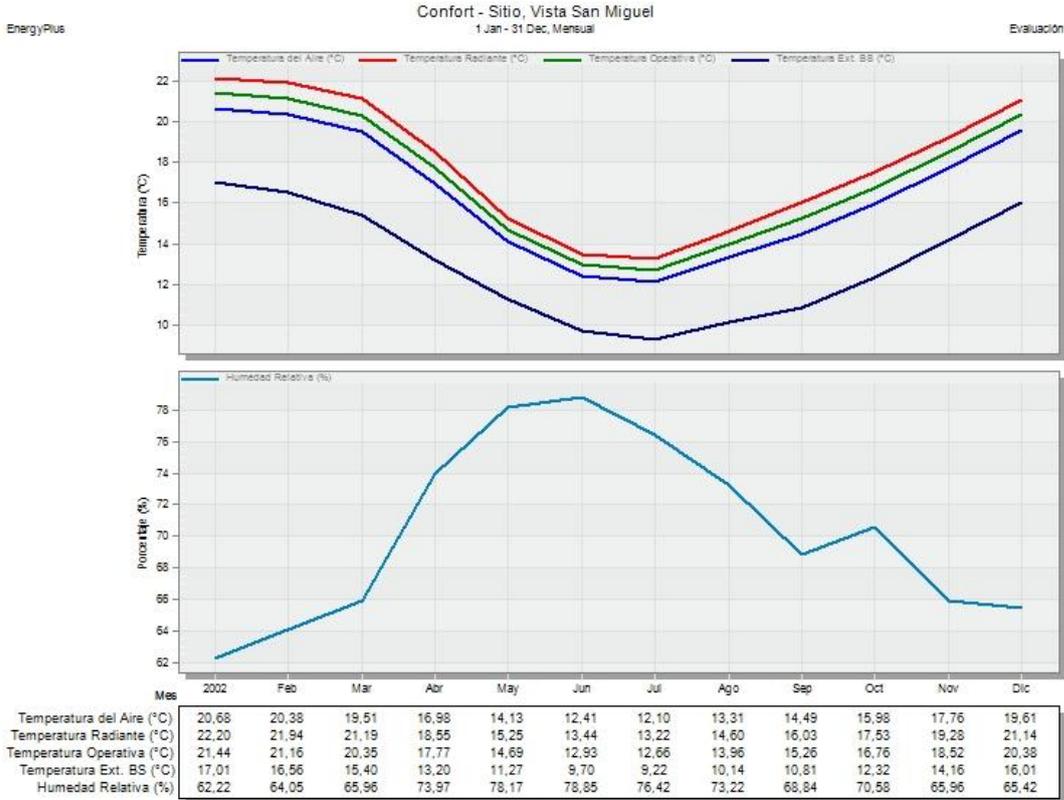




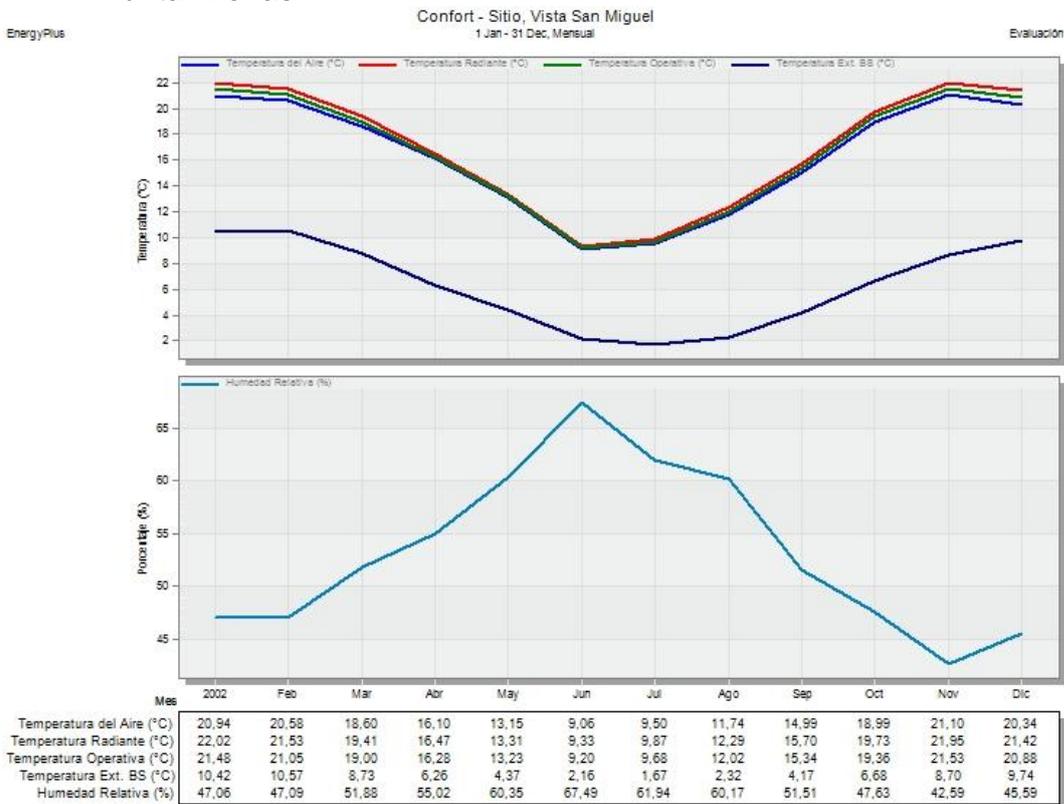
# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES

Felipe Riquelme Bórquez

- Talca

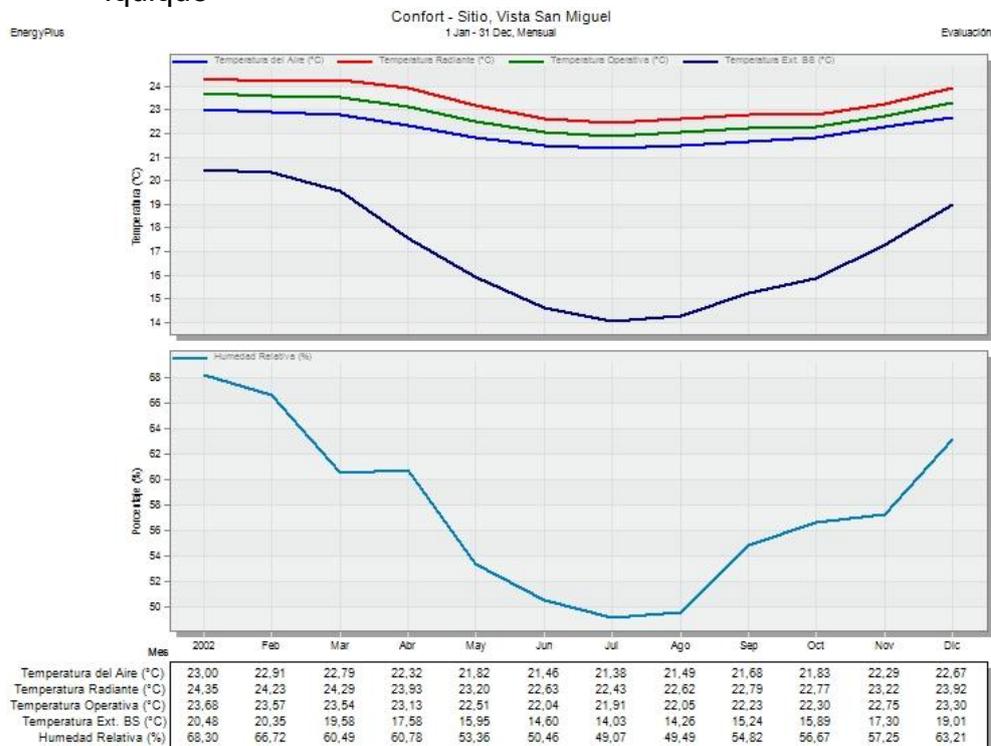


- Punta Arenas

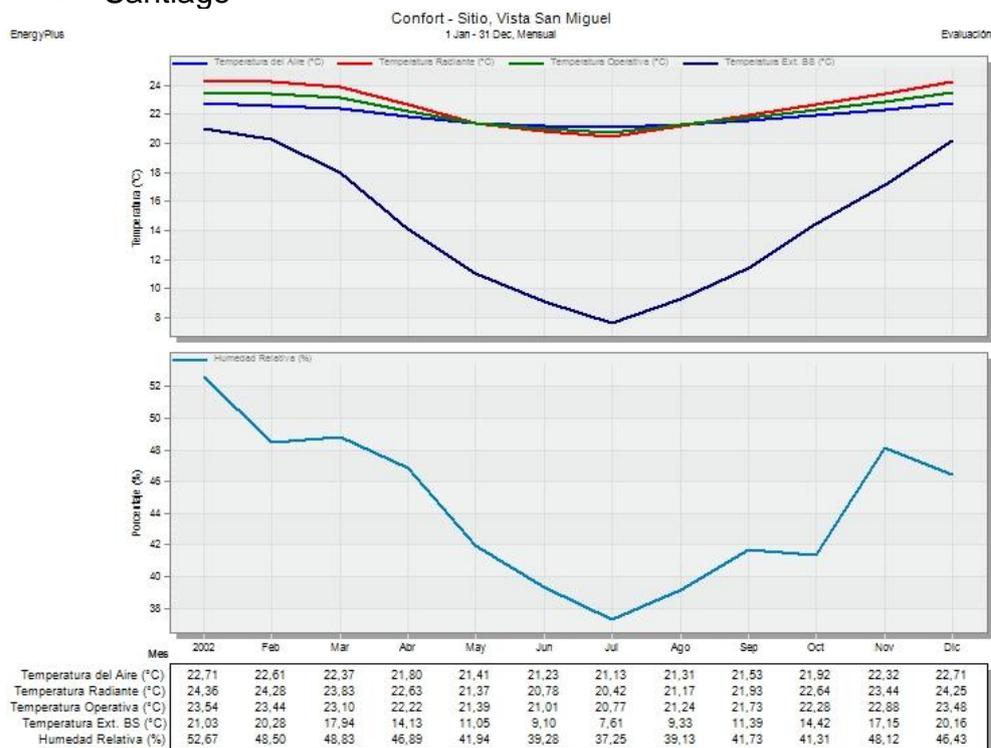


## ANEXO VII: INCORPORACIÓN HVAC

- Iquique



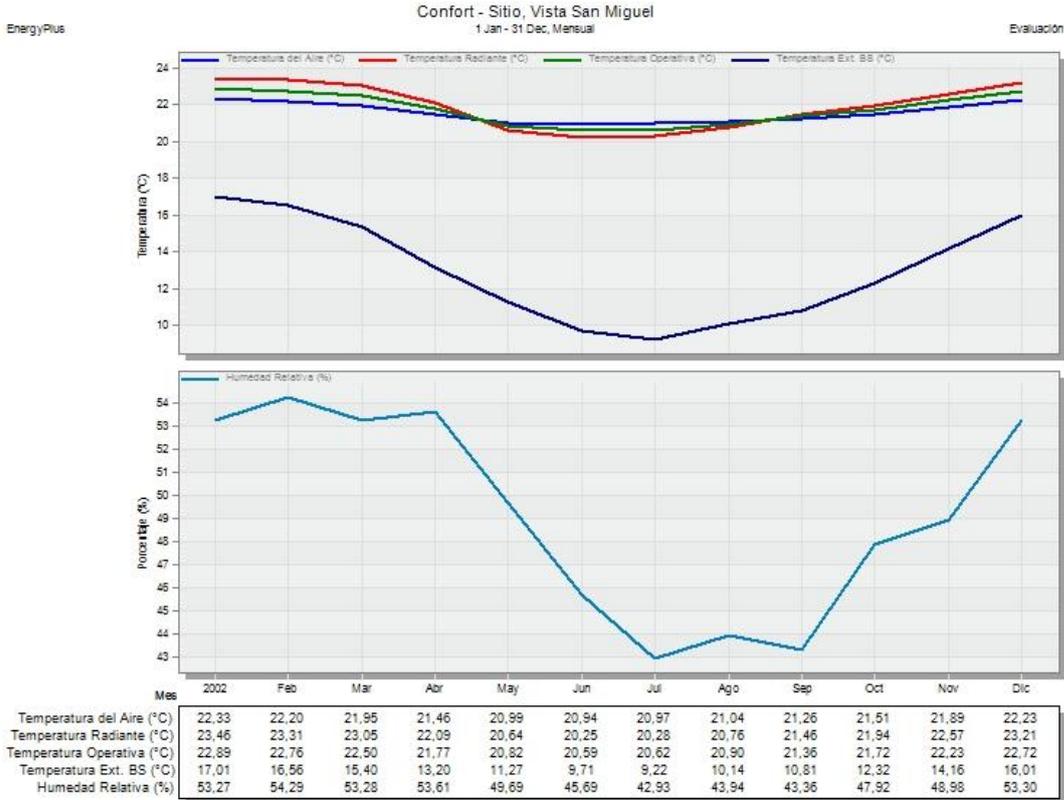
- Santiago



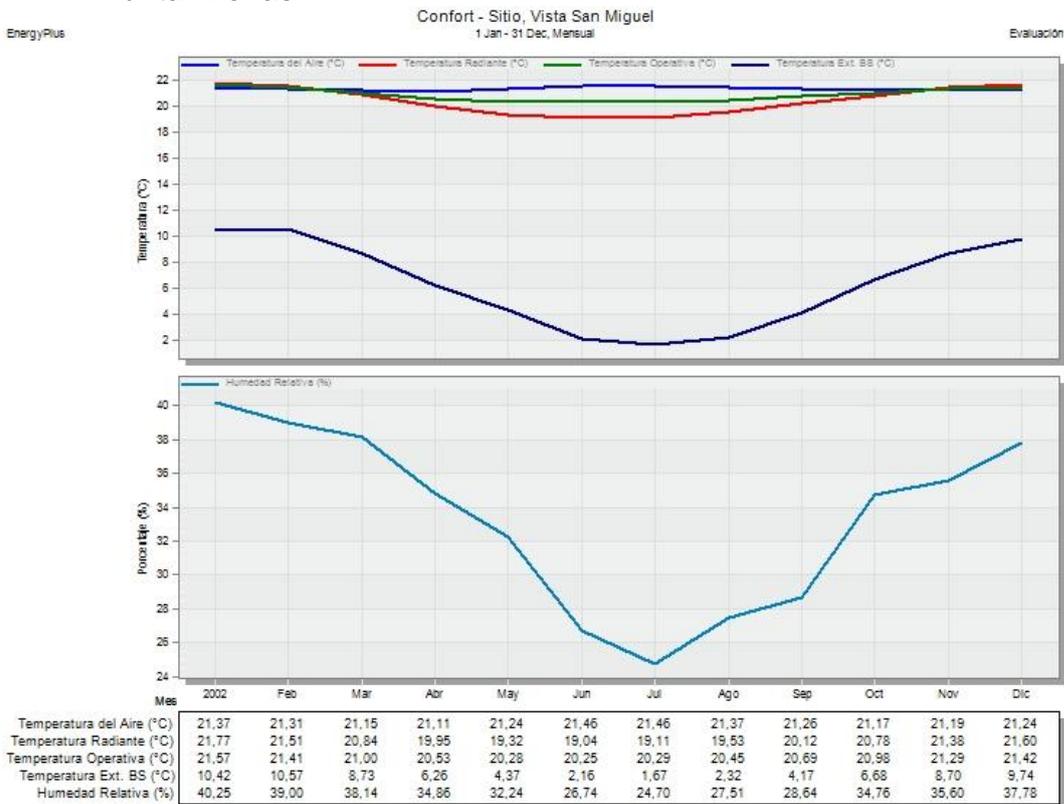


# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES Felipe Riquelme Bórquez

- Talca

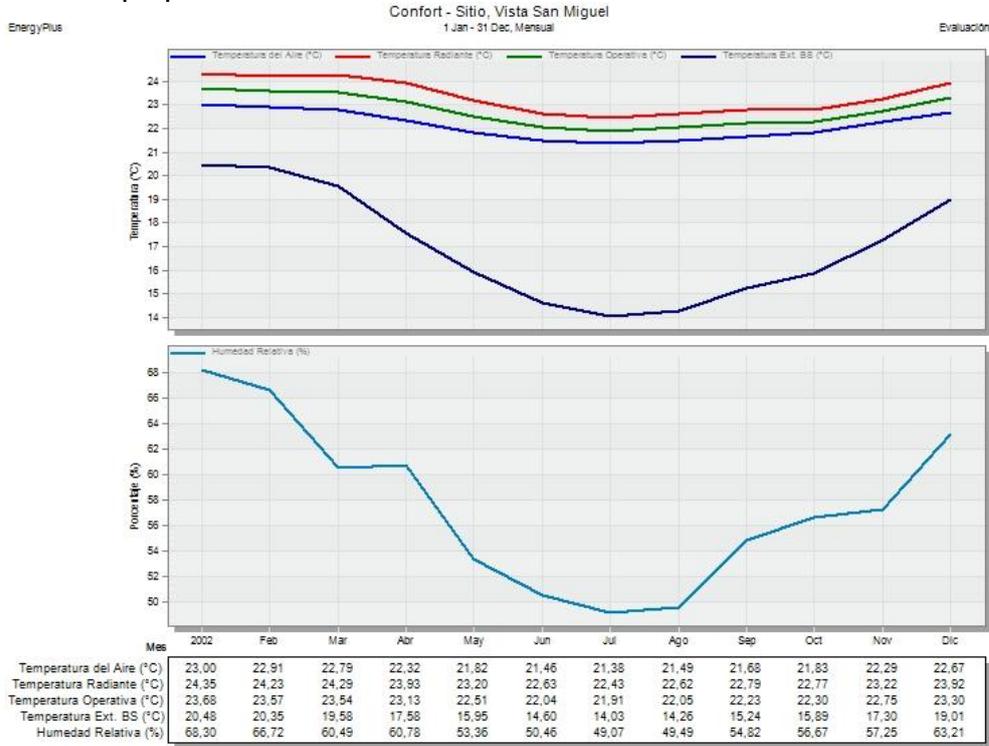


- Punta Arenas

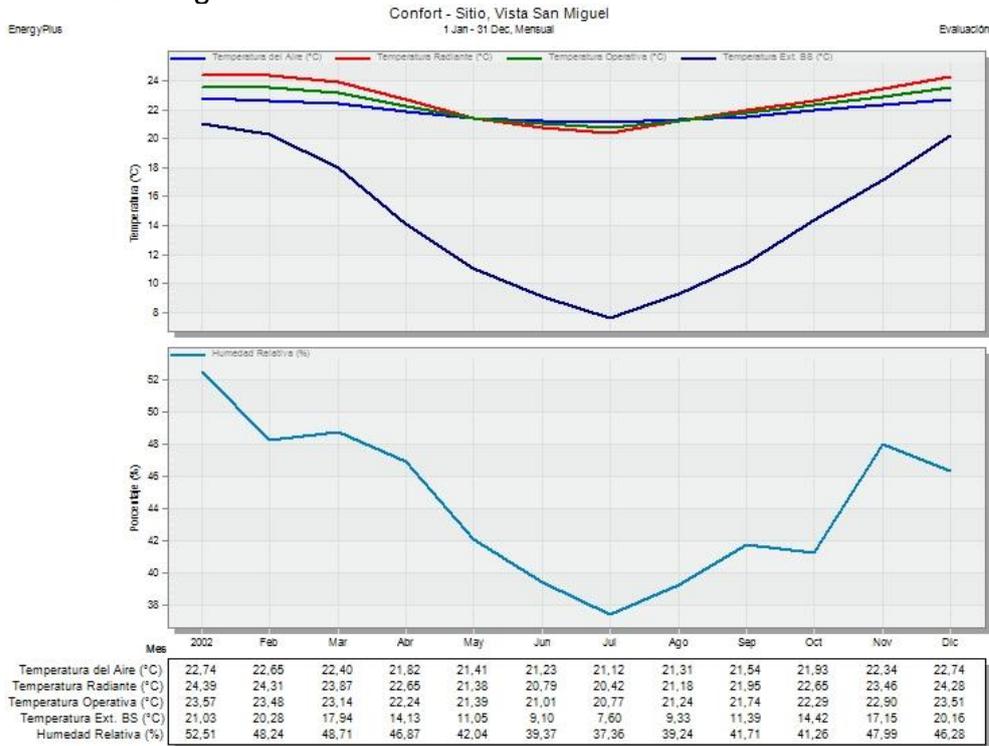


**ANEXO VIII: INCORPORACION HVAC 3,4 COP**

- Iquique



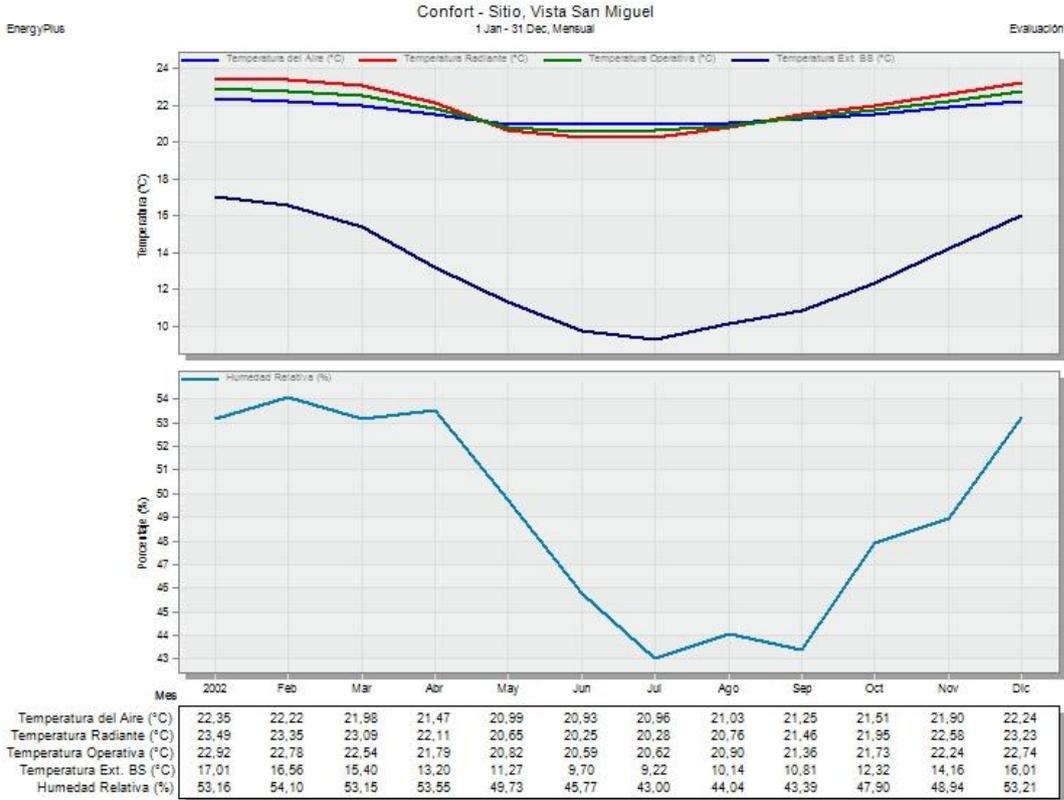
- Santiago





# MÁSTER UNIVERSITARIO GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONJUNTO HABITACIONAL MEDIANTE PROPUESTAS PASIVAS Y EFICIENTES Felipe Riquelme Bórquez

- Talca



- Punta Arenas

